
Arbeitshilfe zum Einsatz von Monitoring

Fachveröffentlichung der
Bundesanstalt für
Straßen- und Verkehrswesen

Arbeitshilfe zum Einsatz von Monitoring

Zusammenstellung der Ergebnisse des Projekts „Leitfaden – strategischer Einsatz von Monitoring bei Ingenieurbauwerken“

von

Frederik Wedel
Sarah Pitters
MKP

Falk Hille
Ralf Herrmann
Ronald Schneider
BAM

Unter Mitarbeit von

Iris Hindersmann
Lydia Puttkamer
BAST

Arbeitsgruppe “Strategie des Monitoring in der Bauwerkserhaltung” des Koordinierungsausschusses Erhaltung

Fachveröffentlichung
Berichte der Bundesanstalt
für Straßen- und Verkehrswesen

Impressum

Referat: B2 Stahlbau, Brückenausstattung
Sicherheitskonzeptionen, Sicherheitskommunikation

Herausgeber:
Bundesanstalt für Straßen- und Verkehrswesen
Brüderstraße 53, D-51427 Bergisch Gladbach
Telefon: (0 22 04) 43 - 0

Gestaltungskonzept:
MedienMélange:Kommunikation

Bergisch Gladbach, Juni 2025

Inhalt

1	Vorwort des KoA Erhaltung	7
2	Einleitung	8
3	Grundlagen	9
3.1	Richtlinien und Regelwerke	9
3.2	Begriffserläuterungen	10
4	Das Bauwerksmonitoring	12
4.1	Einordnung in die Erhaltungsstrategie	12
4.2	Potentiale und Anwendungsfälle	13
4.3	Die Akteure	15
4.4	Der Monitoringprozess inkl. Phasen	16
5	Wirtschaftlichkeit	21
5.1	Grundlegendes zur Bewertung der Wirtschaftlichkeit	21
5.2	Möglichkeiten zur Bewertung der Wirtschaftlichkeit	22
6	Ausschreibung, Vergabe und Vertragsgestaltung	23
6.1	Ausschreibung von Monitoringleistungen	23
6.2	Vergabekriterien	23
6.3	Vertragsgestaltung und Abrechnung	24
6.4	Rechtliche Grundlagen / Haftung	25
7	Datenmanagement	27
7.1	Bedeutung des Datenmanagements	27
7.2	Auftraggeber-Daten-Anforderung (ADA)	28
7.3	Beispiel-ADA	29

8	Checklisten	35
8.1	Einleitung	35
8.2	Ausschreibung und Vergabe: Monitoringkonzepte (Phase 2)	35
8.3	Vertragsgestaltung und Haftung: Monitoringkonzepte (Phase 2)	37
8.4	Ausschreibung und Vergabe: Monitoringausführung (Phasen 3-5)	38
8.5	Vertragsgestaltung und Haftung: Monitoringausführung (Phasen 3-5)	40
9	Literatur	42
10	Bilder	44
11	Tabellen	45

1 Vorwort des KoA Erhaltung

Der Einsatz von Monitoring kann bei der Erhaltung von Brückenbauwerken eine gute Unterstützungsleistung sein. Jedoch ist der Einsatz von Monitoring aktuell nicht stark verbreitet, was sich u.a. auf die nicht vorhandene Standardisierung der Anwendung zurückführen lässt. Jede Anwendung von Monitoring stellt eine Einzelfallentscheidung dar. Um die Anwendung von Monitoring zielführend zu erweitern und die teilnehmenden Personen im gesamten Prozess des Monitorings von der Planung bis zur Bewertung der Ergebnisse zu unterstützen, wurde diese „Arbeitshilfe zum Einsatz von Monitoring“ erstellt.

Die Arbeitshilfe dient der Unterstützung im gesamten Prozess, sie hat keine bindende Wirkung, d.h. die Nutzung der Arbeitshilfe ist nicht vorgeschrieben.

Die Arbeitshilfe wurde im Auftrag der Bundesanstalt für Straßenwesen und inhaltlicher Unterstützung der AG „Strategie des Monitorings in der Bauwerkserhaltung“ als Arbeitsgruppe des Koordinierungsausschuss Erhaltung vom Ingenieurbüro Marx Krontal Partner (MKP GmbH) und der Bundesanstalt für Materialforschung und -prüfung (BAM) erstellt. Neben der „Arbeitshilfe zum Einsatz von Monitoring“ ist ein ausführlicher Leitfaden mit dem Titel „Leitfaden – Strategischer Einsatz von Monitoring bei Brückenbauwerken“ erhältlich¹. Dieser Leitfaden beschreibt den gesamten Prozess des Monitorings inkl. der Prozessbeteiligten und verschiedenen weiteren Aspekten, wie beispielsweise das Datenmanagement. Der Leitfaden ist kostenlos als Download auf der BAST Homepage bzw. zukünftig als Bericht in der BAST Schriftenreihe B verfügbar.

¹ Die Arbeitshilfe wird im Leitfaden als Broschüre betitelt.

2 Einleitung

Im Zuge des fortschreitenden technologischen Wandels und der steigenden Anforderungen an die Infrastruktur wie erhöhte Verkehrslasten, alternde Infrastruktur aber gleichzeitig ressourcenschonender Umgang mit dem Bestand, stehen die Infrastrukturbetreiber vor neuen Herausforderungen. Das Bauwerksmonitoring bietet für die Bauwerkserhaltung ein großes Potential. Besonders Bauwerksverantwortliche, die am Anfang ihrer beruflichen Laufbahn stehen oder noch keine Erfahrung im Umgang mit Monitoring haben, müssen sich mit komplexen Themen wie der Definition der Frage- und Zielstellung, Messkonzepten, Ausschreibung und Vergabe von Monitoringprojekten auseinandersetzen. Dieses Dokument dient als praxisnahe Arbeitshilfe, die speziell auf die Bedürfnisse von Bauherren im Zusammenhang mit Monitoring zugeschnitten ist.

Die Arbeitshilfe entstand im Rahmen des Forschungsprojekts „Leitfaden – Strategischer Einsatz von Monitoring für Ingenieurbauwerke“ [1] unter aktiver Mitwirkung von Bauherrenvertretern der Länder und des Bundes, der Bundesanstalt für Straßen- und Verkehrswesen (BASt) und dem Bundesverkehrsministerium (BMV) sowie verschiedener Forschungseinrichtungen und behandelt die grundlegenden Aspekte des Monitorings von Brückenbauwerken, darunter:

- Grundlagen des Monitorings inkl. der zugrundeliegenden Regelwerke und Begriffsdefinitionen
- Potentiale und Anwendungsfälle des Monitorings, um die Bandbreite des Themas aufzuzeigen mit dem Fokus der Arbeitshilfe auf aktuell häufig zum Einsatz kommenden Anwendungsfällen
- Der Monitoringprozess, um einen Überblick über den Prozess, seiner Phasen und Akteure zu erhalten
- Wirtschaftlichkeitsbetrachtungen und Aspekte zur Bewertung der Wirtschaftlichkeit zur Abschätzung, wann der Nutzen eines Monitorings die eingesetzten Ressourcen rechtfertigt.
- Hinweise zur Ausschreibung und Vergabe von Monitoringleistungen, um diese Prozessschritte effizient und zielführend zu gestalten
- Hinweise zum Datenmanagement, um auf die Wichtigkeit der Datenhaltung hinzuweisen und eine Option aufzuzeigen, wie diese Daten entgegengenommen werden können

Die Arbeitshilfe fasst die wesentlichen Inhalte des o.g. Leitfadens [1] zusammen und geht dabei auf die Bedürfnisse von Bauherren im Umgang mit Brückenmonitoring ein. Der Leitfaden selbst beleuchtet darüber hinaus weitere Standpunkte und Sichtweisen. Dem interessierten Leser ist der Leitfaden als Endbericht des Forschungsprojektes empfohlen [1].

Für die Themen Ausschreibung und Vergabe sowie Vertragsgestaltung und Haftung sind in der Arbeitshilfe Checklisten erstellt worden, die den Bauherrn bei diesen Punkten unterstützen sollen.

3 Grundlagen

3.1 Richtlinien und Regelwerke

DBV-Merkblatt „Brückenmonitoring“

Im DBV-Merkblatt "Brückenmonitoring" [2] werden Handlungsanweisungen für die Planung und Ausschreibung von Monitoringmaßnahmen gegeben. Dabei wird Monitoring als ein ganzheitlicher Prozess betrachtet und definiert, der die systematische Überwachung von Bauwerksreaktionen und/oder Einwirkungen einschließt. Dieser Prozess mit geregelten Schritten und definierten Akteuren basiert auf einem auf die Aufgabe zugeschnittenen Monitoringkonzept und zielt auf die Erfassung der zeitlichen Entwicklung aussagekräftiger physikalischer Größen ab.

DGZfP-Heft 09 „Dauerüberwachung von Ingenieurbauwerken“

Das von der Deutschen Gesellschaft für Zerstörungsfreie Prüfung (DGZfP) im Jahr 2022 veröffentlichte Merkblatt B 09 „Dauerüberwachungen von Ingenieurbauwerken“ [3] dient als Hilfestellung für die Planung und technische Umsetzung von Monitoringmaßnahmen. Das Merkblatt beschreibt die praktische Planung und Realisierung von Monitoringsystemen an Bauwerken und Bauteilen des Ingenieurbaus, wobei der Fokus auf Brückenbauwerken liegt. Es unterstützt den Auftraggeber von Monitoringmaßnahmen dabei, im Rahmen seiner Verantwortlichkeit die Konzeptionierung, sowie Planung, Installation und Betrieb von Monitoringsystemen optimal zu beauftragen bzw. angebotene Monitoringlösungen fachlich zu bewerten.

Das Merkblatt bietet einen Überblick über technische Systeme und Sensoren, die im oder am Bauwerk befestigt werden können, um ausgewählte Parameter über den geforderten Zeitraum zu überwachen. Außerdem beinhaltet das Merkblatt eine Sammlung zahlreicher aktuell oder kürzlich realisierter Monitoringmaßnahmen. Dabei werden je Praxisbeispiel Bauwerk, Aufgabenstellung, Monitoringsystem und Ergebnisse strukturiert vorgestellt.

DIN 1076 (vorläufige Neufassung)

Die DIN 1076 regelt die Prüfung und Überwachung von Ingenieurbauwerken im Zuge von Straßen und Wegen hinsichtlich ihrer Standsicherheit, Verkehrssicherheit und Dauerhaftigkeit mit dem Ziel der Erkennung und Beurteilung des Istzustandes. Die aktuelle Fassung aus dem Jahr 1999 wird zurzeit überarbeitet [4].

Die Norm legt die Inhalte, technischen Regelungen und Untersuchungszyklen der Bauwerksprüfungen fest. Auch in der Überarbeitung gilt die zentrale und grundlegende Verpflichtung zur handnahen Prüfung bei den Hauptprüfungen. Es werden jedoch definierte Fälle aufgeführt, bei denen unter strengen Bedingungen von der handnahen Prüfung abgewichen werden darf. Die Norm regelt nach der Überarbeitung erstmalig den Einsatz von Monitoring an Ingenieurbauwerken.

Es wird unterschieden zwischen „Monitoring zur kontinuierlichen Zustandsüberwachung“ und „Monitoring aus besonderem Anlass“.

„Monitoring zur kontinuierlichen Zustandsüberwachung“ beinhaltet die kontinuierliche Überwachung des Bauwerks, um notwendige Daten zu erfassen und zu verarbeiten, so dass eine laufende Zustandsbewertung ermöglicht wird.

Demgegenüber steht das „Monitoring aus besonderem Anlass“, hier wird Monitoring in besonderen Fällen, wie beispielsweise am Ende der Nutzungsdauer oder im Zuge von Baumaßnahmen eingesetzt. Ziel ist die Gewährleistung einer ausreichenden Stand- und Verkehrssicherheit sowie Dauerhaftigkeit. Hierbei sind u.a. Warn- oder Grenzwerte, sowie eindeutige Handlungsanweisungen für den verantwortlichen Personenkreis festzulegen.

3.2 Begriffserläuterungen

Baulastträger (BLT): Juristische Person, die im Rahmen des öffentlichen Baurechts öffentliche Lasten auf einem Grundstück übernimmt und dafür verantwortlich ist, diese zu tragen und zu erfüllen. Auch: Infrastrukturbetreiber (insbesondere für Brücken), Bauherr.

Bauwerksprüfung: Eine nach DIN 1076 sachkundige und regelmäßige Prüfung eines Ingenieurbauwerks zur Erfassung des aktuellen Zustands und dessen Bewertung unter den Kriterien der Standsicherheit, Verkehrssicherheit und Dauerhaftigkeit [5].

Dauermonitoring: permanente Überwachung über die gesamte (Rest)Nutzungsdauer des Bauwerks ohne geplantes Ende, z. B. Windmessung auf Großbrücken

Dynamische Daten: siehe Messdaten

Erfassen: zeitlich diskrete Aufnahme von Daten

Kurzzeitmonitoring: Datenerfassung über mehrere Minuten bis Tage, z. B. während Probelastungen oder kritischer Zustände in Bauphasen

Langzeitmonitoring: Datenerfassung über mehrere Wochen, Monate oder Jahre, z. B. für die Ermittlung von Kriechverformungen oder zur Schadensüberwachung, Last- bzw. Beanspruchungsermittlung für Restnutzungsdaueranalysen

Messaufnehmer / Sensor: Messaufnehmer / Sensoren sind technische Einheiten, die Messgrößen erfassen.

Messdaten: Während die gemessenen Größen mit einer hohen Abtastfrequenz erfasst werden, erfolgt die Speicherung dieser Daten nur zu bestimmten Zeitpunkten. Dabei wird unterschieden in statische (Langzeit-) Daten und dynamische (hochfrequente) Daten. Die statischen Daten bilden die langzeitlichen Entwicklungen der gemessenen Größen ab und werden bspw. in Intervallen von 10 Minuten gespeichert und ohne besonderen Auslöser erfasst. Dynamische (hochfrequente) Daten hingegen werden mit erhöhten Frequenzen (bspw. 20 Hz oder höher) gespeichert, um besondere Ereignisse zu erfassen. Die Erfassung von dynamischen Daten wird i. d. R. durch ein Ereignis (Trigger) ausgelöst.

Messen: Beobachten einer physikalischen Größe ggf. zum quantitativen Vergleich mit einer Einheit

Messziel: Zweck zur Durchführung der Messungen

Monitoring: Gesamtprozess zur Planung, Erfassung, Analyse und Bewertung einer systematischen Überwachung von Bauwerksreaktionen und/oder einwirkenden Größen über einen repräsentativen Zeitraum mit dem Ziel der Erfassung der zeitlichen Entwicklung

einer physikalischen Größe. Die dazugehörige Messung kann kontinuierlich, periodisch oder ereignisbasiert erfolgen. Abhängig vom Überwachungszeitraum wird weiterhin unterschieden in: Kurzzeitmonitoring, Langzeitmonitoring, Dauermonitoring. In Abgrenzung zu (zerstörungsfreien) Bauwerksprüfungen, Vermessungen oder visuellen Inspektionen basiert Monitoring auf fest installierter Messtechnik und automatisierter elektronischer Datenerfassung mit Fokus auf zukünftig auftretenden Systemänderungen [3].

Monitoringkonzept: Siehe Phase 2 in Kapitel 4.4.

Monitoringmaßnahme: Als Monitoringmaßnahme wird eine konkrete Anwendung von Monitoring zur Erreichung einer vorab definierten Zielstellung bezeichnet. Innerhalb einer Monitoringanwendung können mehrere Monitoringmaßnahmen stattfinden, bspw. das lokale Überwachen von Rissbreiten und die globale Überwachung des Schwingverhaltens einer Brücke.

Objektbezogene Schadensanalyse (OSA): Verfahren zur Erfassung, Auswertung und Bewertung von Schäden, die zusätzliche Untersuchungen erfordern, sowie für Empfehlungen von Maßnahmen einschließlich Kostenschätzungen [6].

Prädiktives Lebenszyklusmanagement (LZM): Im Rahmen der COST Action TU1406 wird in [7] folgende Definition von LZM erarbeitet: „Jede Brücke sollte sicher und tragfähig, für den Benutzer verfügbar, günstig hinsichtlich der Gesamtkosten über die Lebensdauer und umweltfreundlich sein.“ Das Ziel von LZM wird in [8] auf Grundlage der Definitionen als das ökologische, soziale und ökonomisch nachhaltige Verwalten von Bauwerksbeständen verstanden, das einen sicheren Verkehrsfluss ermöglicht und auch für die Zukunft gewährleistet.

Statische Daten: Siehe Messdaten

Überwachen: zielgerichteter Vergleich der erfassten Daten nach einer ggf. erforderlichen Umrechnung der Messwerte mit Erwartungs- oder Grenzwerten

4 Das Bauwerksmonitoring

4.1 Einordnung in die Erhaltungsstrategie

Monitoring wird in der aktuellen Praxis nur vereinzelt und primär anlassbezogen eingesetzt. D.h., es kommt vornehmlich dann zur Anwendung, wenn bereits Schäden durch die Bauwerksprüfung bekannt sind oder spezifische Bedenken hinsichtlich der Tragfähigkeit oder anderer kritischer Parameter eines Bauwerks als Folge einer Nachrechnung bestehen. Diese anlassbezogene Nutzung beschränkt sich auf die Überwachung bekannter Schäden oder Defizite, die durch Bauwerksprüfungen, Nachrechnungen oder konstruktionsbedingte Einschränkungen identifiziert wurden. Monitoring dient hierbei als Methode zur gezielten Überwachung und Bewertung der Zustandsentwicklung sowie zur Entscheidungsunterstützung bezüglich der Notwendigkeit weiterer Instandhaltungs- oder Sanierungsmaßnahmen. Weiterhin bietet Monitoring ein umfassendes Instrumentarium, um die Sicherheit, Zuverlässigkeit und Langlebigkeit von Ingenieurbauwerken zu gewährleisten. Es erlaubt eine kontinuierliche und präzise Beobachtung des Zustands eines Bauwerks. Nachfolgend sind Ansätze aufgeführt, in denen Monitoring innerhalb der Erhaltungsstrategie gewinnbringend eingesetzt werden kann bzw. bereits eingesetzt wird:

- **Lebensdauererläuterung und Ressourceneffizienz:** Monitoring kann wesentlich zur Verlängerung der Nutzungsdauer von Bauwerken beitragen. Durch die detaillierte Kenntnis des Zustands und der Leistungsfähigkeit eines Bauwerks können Bauwerkserhaltungsmaßnahmen gezielt und bedarfsorientiert durchgeführt werden. Durch die Verlängerung des Nutzungszeitraums einzelner Bauwerke, können finanzielle Ressourcen eingespart werden.
- **Entscheidungsunterstützung und Risikomanagement:** Die durch Monitoring gewonnenen Daten bieten eine Grundlage für Entscheidungsprozesse in der Bauwerkserhaltung. Sie ermöglichen eine objektive Bewertung des Bauwerkszustands und der Notwendigkeit von Instandhaltungsmaßnahmen. Des Weiteren trägt das Monitoring zu einem effektiven Risikomanagement bei, indem es hilft, potenzielle Gefahren frühzeitig zu erkennen und entsprechende Maßnahmen zu priorisieren.
- **Frühzeitige Schadenserfassung:** Durch die kontinuierliche Erfassung relevanter Daten können Trends und Anomalien identifiziert werden, bevor sie zu ernsthaften oder gar gefährlichen Zuständen führen. Dies ermöglicht es, rechtzeitig Gegenmaßnahmen einzuleiten und somit die Sicherheit zu erhöhen und mögliche Ausfallzeiten zu minimieren.
- **Digitales und prädiktives Lebenszyklusmanagement:** Das Monitoring ist eine Schlüsselkomponente für die Implementierung digitaler Technologien im Bauwesen, wie z.B. des Digitalen Zwillings. Es liefert die notwendigen Daten, um ein virtuelles Modell eines Bauwerks mit Echtzeitinformationen zu speisen. Dies ermöglicht ein prädiktives Management, bei dem auf Basis von Datenanalysen und -modellierungen Vorhersagen über die zukünftige Entwicklung des Bauwerkszustands getroffen und entsprechende Instandhaltungsstrategien entwickelt werden können. Für diesen Ansatz ist eine Wirtschaftlichkeitsbetrachtung innerhalb von Pilotvorhaben noch ausstehend.

Die im Rahmen des Leitfadens erarbeiteten Anwendungsfälle (AwF) mit ihren Praxisbeispielen, sowie die Zusammenstellung der Messtechnik (nur im Leitfaden enthalten) helfen, das breite Anwendungsspektrum von Monitoring näher zu bringen und die Nutzung zu intensivieren.

4.2 Potentiale und Anwendungsfälle

Grundsätzliches Ziel von Monitoring ist die Generierung zusätzlicher Informationen zum Zustand des Bauwerks. Ergänzend zu der turnusmäßigen Bauwerksprüfung, ergibt sich das Potential von Monitoring nach [8] aus der Möglichkeit der über lange Zeiträume kontinuierlichen oder oftmaligen und regelmäßigen Überwachung eines Bauwerks, sodass Veränderungen daran erkannt werden können. Während bei einem kontinuierlichen Dauermonitoring zwar auch Veränderungen innerhalb kurzer Zeiträume überwacht werden können, sollen langfristig vor allem Degradationsprozesse beobachtet werden. Auf dieser Grundlage kann die Entwicklung des Tragwerkszustandes in Form eines Trends identifiziert werden.

Für die aktuell vornehmlich anlassbezogen durchgeführten Maßnahmen (Monitoring von bereits vorhandenen Schäden, bekannten Defiziten aus Konstruktion oder Nachrechnung sowie zur Ermittlung von Einwirkungen) ergibt sich durch den Einsatz von Monitoring eine mögliche Aufrechterhaltung und Weiternutzung von Brücken, die ihre geplante Laufzeit überschritten oder ihre Tragreserven aufgrund theoretischer oder tatsächlicher Defizite bereits aufgebraucht haben. Es wird somit eine Verschlechterung der Verfügbarkeit durch Umleitungen, Verkehrsstaus usw. vermieden und Zeit für die Instandsetzung, die Ertüchtigung oder den Ersatzneubau gewonnen [9].

Es werden folgende Potentiale abgeleitet [8]:

- Die Ermittlung des Tragwerkszustandes und die Quantifizierung der Tragwerkssicherheit (Zuverlässigkeit) bzw. dessen Performance bezüglich maßgeblicher Anforderungen (Gebrauchstauglichkeit, Verkehrssicherheit und Dauerhaftigkeit) durch Aktualisierung von Last-/Beanspruchungsmodellen bzw. Tragwerksmodellen (Model Updating), welche die Grundlage für die Nachrechnung von Bestandstragwerken darstellen.
- Das „datenbasierte Begleiten“ der Nutzung des Bauwerks mit dem Ziel der *Charakterisierung des Bauwerksverhaltens und der Detektion von Schäden und Anomalien* (automatisch erkannte Veränderungen in den Messdaten) als Anlass für detailliertere Untersuchungen.
- Die Absicherung der Restnutzungsdauer nach der Erkennung wesentlicher Schädigungen, aber auch ggf. Aufhebung von auferlegten Einschränkungen. Typischerweise zur Überbrückung bis zur Durchführung von Bauwerkserhaltungsmaßnahmen bzw. der Realisierung eines Ersatzneubaus. Dieses Potential besteht insbesondere für Brücken mit entsprechend hohem Schadensgrad bzw. Tragfähigkeitsdefiziten.

Obleich Monitoring in vielerlei Fällen zu einem Informationsgewinn beiträgt, muss abhängig von den jeweiligen projektspezifischen Randbedingungen entschieden werden, ob der Einsatz von Messtechnik geeignet ist und die Voraussetzungen für eine erfolgreiche Umsetzung erfüllt sind. Der Informationsgewinn und das erforderliche Sicherheitsniveau stehen dem finanziellen und organisatorischen Aufwand gegenüber und müssen gegeneinander abgewogen werden [10]. Grundsätzlich lässt sich festhalten, dass der Mehrwert eines Monitorings nicht aus der reinen Erfassung der Messdaten besteht. Erst die Auswertung der rohen Messdaten und damit verbunden die Extraktion von Informationen sowie die Bewertung ebendieser ermöglicht eine Identifikation und Dokumentation von Veränderungen oder Schäden an einem Bauwerk und daraus abgeleitet eine Zustandsbewertung, die in der Folge zu fundierten Entscheidungen über ggf. notwendige Erhaltungsmaßnahmen führen.

Der nachfolgende Überblick zeigt die vielfältigen Einsatzmöglichkeiten von Monitoring in Form von Anwendungsfällen. Die projektspezifischen Anwendungsfälle können aus den

Projektzielen abgeleitet werden und stellen Prozesse dar, die zur Erreichung der festgelegten Ziele beitragen [11]. Die Zusammenstellung ergänzt aktuell bereits häufig eingesetzte Anwendungsfälle um weitere, die erste Einsätze in der Praxis gefunden haben.

Im Rahmen des Leitfadens Strategischer Einsatz von Monitoring für Ingenieurbauwerke werden diese verschiedenen Einsatzmöglichkeiten ausführlich aufbereitet, wobei zu jedem Anwendungsfall Ausgangssituation, Umsetzung sowie Nutzen beschrieben werden und anhand von konkreten Beispielen die Anwendung in der Praxis veranschaulicht wird.

010: Bekannte lokal verortete Schäden:

Überwiegend lokales Monitoring zur Überwachung des Schadensfortschrittes sowie die Abschätzung weiterer lokaler Entwicklungen.

020: Bekannte Defizite aus Nachrechnung und Konstruktion

Sowohl ein lokales Monitoring defizitärer Bereiche als auch die Überwachung globaler Systemparameter verfolgen das Ziel der Detektion plötzlicher Schadensereignisse ab Überwachungsbeginn mit dem übergeordneten Ziel der Aufrechterhaltung des Betriebs trotz dem Vorhandensein von Defiziten.

030: Ermittlung von Einwirkungen

Durch die Berücksichtigung der realen, gegenüber den normativ vorgegebenen günstigeren Lastansätzen für Einwirkungen erfolgt eine objektspezifische Nachweisführung.

040: Unterstützung der Bauwerksprüfung

Die Informationsdichte zur Interpretation des Bauwerkszustandes kann durch permanente Informationsgewinnung aus Monitoringdaten ergänzend zur regulären Bauwerksprüfung erhöht werden. Dabei können Bereiche identifiziert werden, die im Rahmen der Bauwerksprüfung näher zu untersuchen sind oder auch kann die Prüfung von nicht oder nur schwer zugänglichen Bereichen durch Monitoring ergänzt werden.

050: Begleitung bedeutender Bauwerke

Durch die permanente Überwachung des gesamten Bauwerks oder auch von Teilkomponenten und neuralgischen Punkten eines Tragwerks steht dem Bauwerkseigentümer zu jedem Zeitpunkt eine Einschätzung des Zustandes zur Verfügung. Hierdurch wird ein effizienteres zustandsabhängiges Bauwerkserhaltungsmanagement mit dem übergeordneten Ziel der größtmöglichen Verfügbarkeit (verkehrstechnisch oder baukulturell) bedeutender Bauwerke ermöglicht.

060: Instandsetzungs- und Verstärkungsmaßnahmen

Durch begleitende Messungen erfolgt die Überprüfung der Wirksamkeit von durchgeführten Maßnahmen.

070: Belastungsversuche / dynamische Versuche

Durch eine Verbesserung der rechnerischen Annahmen für Widerstände bzw. die Kalibrierung des Rechenmodells über die Erfassung des realen Lastabtrages bzw. des Systemverhaltens auch unter dynamischer oder ambienter Anregung können sich für Bestandstragwerke günstigere Ergebnisse im Rahmen einer Nachrechnung ergeben. Bei Neubauten werden die Annahmen aus der Planung überprüft. Es kann ebenfalls der direkte Nachweis einer ausreichenden Tragsicherheit eines Bestandsbauwerks über Belastungsversuche im Sinne einer Probelastung erbracht werden.

080: Prädiktives Lebenszyklusmanagement

Die kontinuierliche Überwachung eines Bauwerks über lange Zeiträume ermöglicht eine Früherkennung von Veränderungen im System. Hierdurch können Entscheidungen hinsichtlich Instandsetzungs-, Verstärkungs- oder Ersatzneubaumaßnahmen mit ausreichend zeitlichem Vorlauf geplant und die Erhaltungsmaßnahme auf Netzebene abgestimmt ausgeführt werden.

090: Referenzinformation

Durch die Erfassung eines globalen Referenzzustandes des Bauwerks im möglichst ungeschädigten, voll funktionstüchtigen Ausgangszustand werden die grundlegenden Systemparameter erfasst und bilden damit die Grundlage für die Bewertung zukünftiger Folge-messungen.

100: Bauzeitliche Messungen

Es erfolgt die Überprüfung und Absicherung kritischer Zustände während der Bauzustände sowohl im Neu- als auch im Rückbau. Im Fall von sicherheitsrelevanten Überwachungen kann durch den Abgleich der Messwerte mit zuvor definierten Grenzwerten kritischen Zuständen direkt entgegengesteuert werden, sodass ebendiese ausgeschlossen werden.

110: Schutz von Bauwerken bei umliegenden Baumaßnahmen

Durch die Überwachung globaler Parameter werden auffällige Zustandsentwicklungen, die Auswirkungen auf die Standsicherheit des Bestandsbauwerks haben können, direkt erkannt und es kann entsprechend reagiert werden, um die Aufrechterhaltung der Verfügbarkeit und Unversehrtheit des betrachteten Bauwerks durch eine frühe Detektion und Reaktion zu gewährleisten.

4.3 Die Akteure

Brückenmonitoring ist ein komplexes Feld, in dem Präzision und Zuverlässigkeit Hand in Hand gehen müssen, um die Sicherheit und Langlebigkeit dieser kritischen Infrastrukturbauwerke zu gewährleisten. Bei diesem sorgfältigen Prozess, der den Zustand und die Funktionalität von Brücken bewertet, ist eine Vielzahl von Fachleuten beteiligt:

Bauherr/Auftraggeber (AG): Eigentümer oder Betreiber des Bauwerks, verantwortlich für die Initiierung, Definition der Fragestellung und Finanzierung des Monitorings.

Fachplaner Monitoring (FPM): Bringt fachliche Expertise in die Planung und Durchführung des Monitorings ein und entwickelt das Monitoringkonzept. Der Fachplaner spielt eine zentrale Rolle im gesamten Prozess und kann dem Bauherrn / Baulastträger beratend zur Seite stehen. Er stellt sicher, dass die technischen Anforderungen und Ziele erreicht werden. Der Fachplaner besitzt Kenntnisse und Erfahrungen sowohl in der Tragwerksplanung als auch in der Messtechnik und in der Messdatenverarbeitung bis hin zur tragwerksplanerischen Bewertung von Messdaten.

Spezialdienstleister für Bauwerksmessungen (SDB): Ein Anbieter mit Fachwissen im Bereich der Messtechnik, der das Messsystem installiert, betreibt und die Datenverarbeitung und Auswertung durchführt. Er kann eng mit dem Fachplaner zusammenarbeiten und ist für die technische Umsetzung zuständig.

Fachtechnischer Prüfer (FP): Abhängig von der Komplexität des Projekts kann er hinzugezogen werden, um einzelne Phasen des Prozesses zu überprüfen und die

Qualitätssicherung zu gewährleisten. Dabei sollte er in Abhängigkeit der Prüfaufgabe ähnliche Kenntnisse wie der Fachplaner Monitoring besitzen oder vertiefte statisch konstruktive Kenntnisse vorweisen.

Es ist möglich, dass ein Akteur mehrere Rollen übernimmt, was zu einer effizienteren Projektabwicklung und stärkeren Kohärenz im Prozess führen kann. Diese Personalunion ist häufig zwischen Fachplaner Monitoring und Spezialdienstleister für Bauwerksmessungen gegeben. Ein solcher Ansatz minimiert Schnittstellenverluste – ein entscheidender Faktor für den Erfolg von Monitoringprojekten.

4.4 Der Monitoringprozess inkl. Phasen

Ein Monitoringprojekt ist ein mehrstufiger Prozess, der von der initialen Idee bis zur abschließenden Bewertung reicht. Bild 1 verdeutlicht das Vorgehen und die Zuständigkeiten. Grundsätzlich können alle Phasen einzeln oder in Kombination (Paket 1 und 2) von einem Bauherrn ausgeschrieben werden. Hinweise dazu sind in den jeweiligen Phasen enthalten. Nachfolgend wird dieser Prozess zusammengefasst, wobei auf die optionalen Prozessschritte aufgrund der Übersichtlichkeit nicht eingegangen wird, da sie in der Regel nur bei sehr großen und komplexen Projekten zum Einsatz kommen. Weitere Informationen zu den optionalen Prozessschritten können dem Leitfaden entnommen werden.

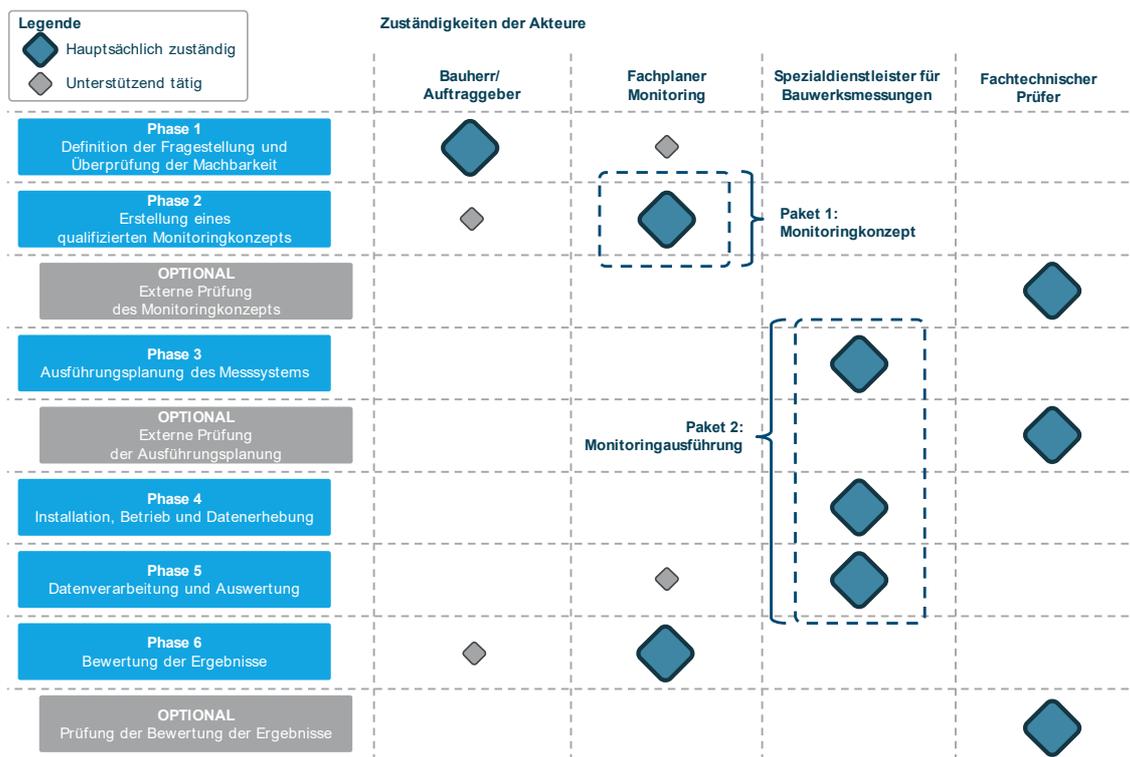


Bild 1: Der Monitoringprozess inkl. der üblichen Zuständigkeiten in Anlehnung an [2]

Phase 1: Definition der Fragestellung und Überprüfung der Machbarkeit

In diesem grundlegenden Schritt wird das Ziel des Monitorings definiert. Zu überwachende Aspekte wie etwa Verformungen, Rissbildungen oder Schwingungen werden identifiziert und eine Machbarkeitsstudie wird durchgeführt. Diese Studie beurteilt, ob das geplante Monitoring technisch umsetzbar ist und ob es im Verhältnis zu den erwarteten

Ergebnissen und Kosten steht, siehe auch Kapitel 5. Risiken und Herausforderungen werden identifiziert, um einen reibungslosen Ablauf des Projekts zu gewährleisten. Es kann dabei auf die Anwendungsfälle in Kapitel 4.2 zurückgegriffen werden.

Die Zuständigkeit liegt in der Regel beim Bauherrn. Er kann sich durch den Fachplaner Monitoring hinsichtlich des Bedarfs und der Definition der Fragestellung beraten lassen. In einigen Fällen unterstützt auch ein Bauwerksprüfer oder Aufsteller einer Nachrechnung, sofern vorhanden. Gerade letzterer ist häufig derjenige, der ein Monitoring als Kompensationsmaßnahme vorschlägt (AwF 020) und der damit die Aufgabenstellung für das Monitoring definiert. Je nach Anwendungsfall kann die Fragestellung auch aus bekannten Schäden (AwF 010) und somit aus der Bauwerksprüfung resultieren.

Eine detaillierte Auflistung der Leistungen in dieser Phase ist in [2] enthalten.

Phase 2: Erstellung eines qualifizierten Monitoringkonzeptes

Auf Basis der Aufgabenstellung aus Phase 1 wird ein detailliertes Monitoringkonzept erstellt. Dieses Konzept bildet die Grundlage für das gesamte Projekt und ist daher von besonderer Wichtigkeit. Die Aussagekraft eines Monitorings wird dadurch bestimmt, wie viel Informationsgehalt aus den Messungen extrahiert werden kann. Nach Definition der Messaufgabe unter Berücksichtigung aller objektspezifischen Randbedingungen (u. a. erwartetes Bauwerksverhalten, mögliche Risiken und Degradationsprozesse sowie Anforderungen an die Umgebungsbedingungen und Einsatzzeit) muss die Frage geklärt werden, welche Informationen zur Beantwortung der Messaufgabe benötigt werden. Im Konzept wird festgelegt, welche Daten gesammelt, wie sie erfasst und übertragen, und welche Methoden zur Datenanalyse und -bewertung angewendet werden. In dieser Phase werden auch die spezifischen Anforderungen an die Messtechnik und die Datenverarbeitung festgelegt. Dies umfasst die Entscheidung über die Art der Sensoren, ihre genaue Platzierung und die Häufigkeit der Messungen. Gerade die Datenbewertung muss in diesem Schritt bereits vorgedacht werden, da sie Einfluss auf das Sensorlayout und die Art der Sensoren hat. Der Detaillierungsgrad des Sensorlayouts ist im Gegensatz zur Ausführungsplanung des Monitorings noch nicht besonders hoch. Es wird schematisch gezeigt, an welchen Stellen des Bauwerks welche Messungen durchzuführen sind. Dabei sind auch Fragestellungen zur Ausfallsicherheit zu betrachten und ggf. in einer entsprechenden Redundanz im Messlayout zu berücksichtigen. Als Beispiel dient ein Ausschnitt aus einer Sensorübersicht in Bild 2.

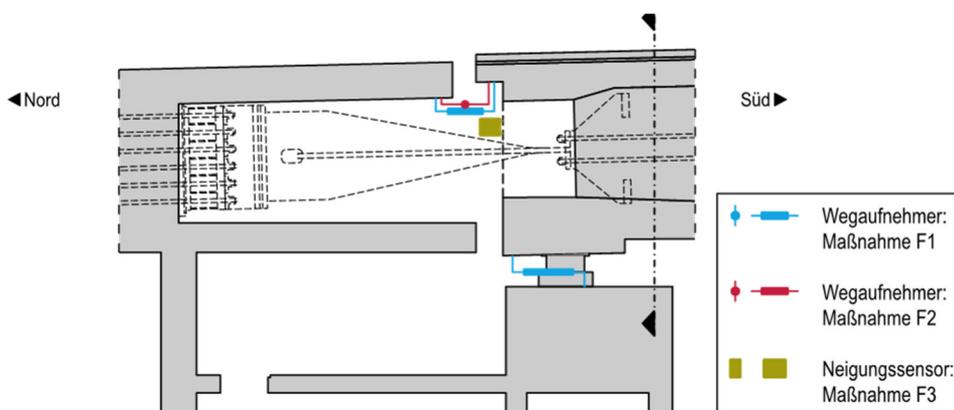


Bild 2: Beispiel für die Detailtiefe eines Monitoringkonzeptes hinsichtlich Sensorpositionen

Im Fall von Überwachung sicherheitsrelevanter Zustände ist es unerlässlich, dass eine genaue Kenntnis über den Grenzzustand vorliegt und die kritischen Entwicklungen sich als eindeutig messbare physikalische Größen äußern. Voraussetzung hierfür ist eine ausreichende Vorankündigung von Strukturveränderungen, die zu kritischen Zuständen führen. Hierfür müssen die Bauwerksreaktionen sowohl betrags- als auch zeitmäßig detektierbar sein. Auch müssen die Formänderungswerte ausreichend groß sein, um zwischen tatsächlichem Bauwerksverhalten und Betriebs- und Umwelteinflüssen oder Rauschen im Messsignal unterscheiden zu können. Die eingesetzte Sensorik muss verlässlich und robust sein und es sollten redundante Messungen eingeplant werden, um im Fall von Ausfall der Messtechnik Rückfallebenen zu haben. Da die Überwachung von sicherheitsrelevanten Zuständen mit der Auslösung von Folgehandlungen einhergeht, muss weiterhin eine ausreichende Reaktionszeit zwischen Messung/Auswertung der Messung und Umsetzung der entsprechenden Folgehandlungen vorhanden sein. Um im Fall des Eintretens kritischer Zustände sofort handeln bzw. Gegenmaßnahmen einleiten zu können, kommt der Festlegung von Schwellwerten (maximal zulässige Anzahl von Einzelereignissen oder Überschreitung eines vorher festgelegten Bereichs) und der Definition entsprechender Alarmpläne/Havariekonzepte eine besondere Rolle zu. Die Definition der Grenzwerte und die Erstellung entsprechender Notfall- bzw. Alarmpläne sollten im Vorfeld der Messungen, idealerweise bereits im Rahmen der Erstellung des Monitoringkonzeptes erfolgen, sofern möglich.

Die Zuständigkeit liegt in der Regel beim Fachplaner Monitoring. Die Prüfung des Konzepts erfolgt durch den Bauherrn oder ggf. durch einen extern Beauftragten.

Dieser Prozessschritt wird als eigenes Paket 1 „Monitoringkonzept“ üblicherweise separat ausgeschrieben. Eine kombinierte Ausschreibung zusammen mit der Umsetzung des Monitorings (Paket 2) ist nicht sinnvoll, weil das Konzept den Umfang der Messungen festlegt und somit noch keine seriöse Kalkulation für die Umsetzung erstellt werden kann.

Eventuelle Planungsfehler können zu Komplikationen in späteren Phasen führen. Eine detaillierte Auflistung der Leistungen in dieser Phase ist in [2] enthalten und sollte unbedingt beachtet werden.

Phase 3: Ausführungsplanung des Messsystems

Die dritte Phase konzentriert sich auf die operative Planung der Messungen. Hier werden die zuvor im Konzept festgelegten Aspekte in einen praktischen Plan umgesetzt. Die Auswahl der Sensoren und die Bestimmung ihrer Positionen sind entscheidend für die Genauigkeit und Effektivität des Monitorings. In dieser Phase wird auch die Infrastruktur für die Datenübertragung und -speicherung (siehe Kapitel 7), einschließlich der notwendigen Hardware und Software, detailliert geplant. Außerdem wird ein genauer Zeitplan für die Installation und die Durchführung der Messungen erstellt. Der Detaillierungsgrad beispielsweise für Sensorpositionen bei der Ausführungsplanung unterscheidet sich von dem des Monitoringkonzepts. Bild 2 zeigt ein Beispiel aus einem Monitoringkonzept, während Bild 3 einen Auszug aus einer Ausführungsplanung als Beispiel zeigt.

Detail 1: Maßnahme F1 unterhalb der Fahrbahnplatte, Achse 70
schematischer Aufbau der Messvorrichtung
(M 1:10)

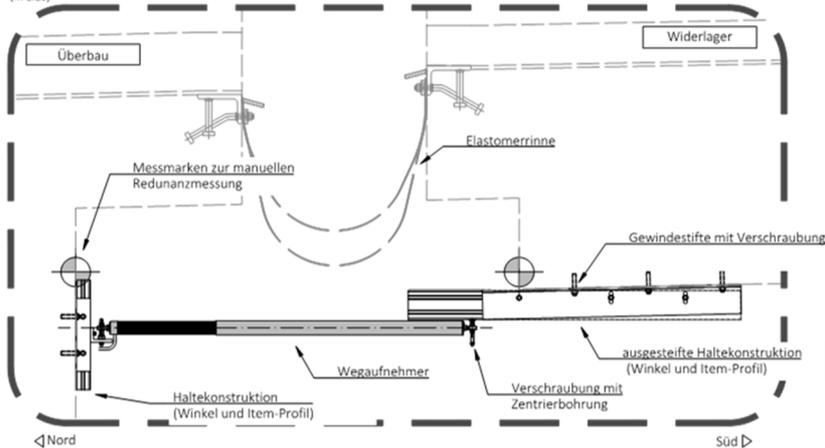


Bild 3: Beispiel für die Detailtiefe einer Ausführungsplanung hinsichtlich Sensorlage und -montage und Redundanzmessungen

Die Zuständigkeit liegt beim Spezialdienstleister für Bauwerksmessungen, sodass dieser Schritt üblicherweise ausgeschrieben wird. Eine kombinierte Ausschreibung zusammen mit der Installation und dem Betrieb als Gesamtpaket ist dabei sinnvoll (siehe Paket 2 in Bild 1).

Eine detaillierte Auflistung der Leistungen in dieser Phase ist in [2] enthalten.

Phase 4: Installation, Betrieb und Datenerhebung

Die Sensoren und die zugehörige Messausrüstung werden an der Brücke installiert. Diese Phase erfordert präzise Arbeit, um sicherzustellen, dass alle Geräte korrekt positioniert und voll funktionsfähig sind. Nach der Installation und der Überprüfung der Plausibilität der Messwerte beginnt der Betrieb des Messsystems. Die Daten werden kontinuierlich gemäß dem Monitoringkonzept erhoben. Während dieser Phase sind sowohl eine ständige Überwachung und Wartung des Systems als auch eine regelmäßige Plausibilitätsüberprüfung der Messwerte erforderlich, um die Qualität und Genauigkeit der Daten sicherzustellen.

In dieser Phase wird die Installationsdokumentation angefertigt, welche u.a. für die Messdatenauswertung notwendig ist. Sie ist ein wesentliches Dokument zur Nachvollziehbarkeit der Messungen und umfasst diverse Informationen und Anleitungen zur Installation und Inbetriebnahme des Systems. Ohne die Informationen aus der Dokumentation ist eine Auswertung der Messdaten nicht möglich. Sie umfasst u. a. die genauen Sensorpositionen und Messrichtungen (mit Detaillierungsgrad der Ausführungsplanung (siehe Bild 3), Bezeichnung der Sensoren, eine Fotodokumentation der Sensoren und Installationsarbeiten, Details zur Sensorkalibrierung und die Dokumentation der Systemkonfiguration (Messschranke, Kabelwege, etc.)).

In der Phase 4 werden verschiedene Prozessschritte zusammengefasst. Das hängt damit zusammen, dass diese in der Regel durch den gleichen Akteur übernommen werden sollten. Die Zuständigkeit liegt beim Spezialdienstleister für Bauwerksmessungen. Der Schritt wird üblicherweise zusammen mit Phase 3 ausgeschrieben (siehe Paket 2 in Bild 1).

Eine detaillierte Auflistung der Leistungen in dieser Phase ist in [2] enthalten.

Phase 5: Datenverarbeitung und -auswertung

Die gesammelten Daten werden zunächst aufbereitet, um sie für die Analyse nutzbar zu machen. Dies umfasst die Messfehlerbehandlung, Filterung, Kalibrierung und Synchronisation der Daten, die technisch bedingt häufig anders erfasst werden, als sie für die spätere Auswertung benötigt werden. Beispielsweise messen Sensoren Spannungsänderungen in Einheiten wie mV/V . Diese müssen in interpretierbare Größen übersetzt werden, zum Beispiel mm . Anschließend erfolgt die eigentliche Auswertung. Hierbei werden die Daten mit Hilfe von statistischen Methoden und Analysetechniken interpretiert, um aussagekräftige Informationen über den Zustand der Brücke zu gewinnen. Diese Informationen werden je nach Projekt in Berichten zusammengefasst, die eine wichtige Grundlage für die Bewertung der Brücke bilden und für die spätere Bewertung als Daten übergeben.

Die Zuständigkeit der Datenverarbeitung (Messfehlerbehandlung, Filterung, Kalibrierung, etc.) liegt in der Regel beim Erfasser der Daten, somit also beim Spezialdienstleister für Bauwerksmessungen. Der Schritt wird üblicherweise zusammen mit den Phasen 3 und 4 ausgeschrieben (siehe Paket 2 in Bild 1).

Die Auswertung, bei der aus Daten Informationen werden, kann ebenfalls durch den Spezialdienstleister übernommen werden oder durch den Verfasser des Monitoringkonzepts (Fachplaner Monitoring). Falls die Auswertung nicht durch den Erfasser der Daten erfolgt, müssen die Schnittstellen und Datenübergabe klar definiert sein. Für diese Phase ist ein umfangreiches Wissen in Bezug auf Bauwerksmessungen und in den meisten Fällen auch statisch konstruktive Kenntnisse im Zusammenhang mit dem Bauwerk und seiner Fragestellung erforderlich. Häufig ist daher eine Personalunion aus Spezialdienstleister und Fachplaner sinnvoll.

Eine detaillierte Auflistung der Leistungen in dieser Phase ist in [2] enthalten.

Phase 6: Bewertung der Ergebnisse

In der letzten Phase werden die analysierten Daten im Kontext der ursprünglichen Hypothesen und der konstruktiven Eigenschaften der Brücke ingenieurtechnisch interpretiert. Diese Interpretation erlaubt es, fundierte Schlussfolgerungen über die strukturelle Integrität und die Sicherheit der Brücke zu ziehen. Auf Basis dieser Erkenntnisse werden Empfehlungen für weiterführende Maßnahmen oder notwendige Anpassungen der Monitoringstrategie abgeleitet. Die Bewertung kann je nach Bedarf und Festlegung im Messkonzept bereits während der Messungen fortlaufend oder einmalig am Ende der Monitoringmaßnahme erfolgen.

Sowohl die Bewertung der fachlichen und technischen Randbedingungen als auch die Auswertung der Daten erfordern fachkundiges Personal. Erst durch die Betrachtung der erfassten Daten im fachlichen Kontext gewinnen diese an Wert. Damit ist die Qualität der Ergebnisse des Monitorings und das Erreichen der im Vorfeld definierten Ziele nicht nur von der technischen Ausführung der Messung, sondern maßgeblich von der Expertise der Beteiligten im individuellen Fall abhängig.

Für die Bewertung sind statisch konstruktive Kenntnisse des Bauwerks inkl. seiner Problemstellungen erforderlich, sodass diese Aufgabe je nach Anwendungsfall (siehe Kapitel 4.2) vom Fachplaner Monitoring, dem Ausführungsplaner des Bauwerks/Aufsteller der Nachrechnung (siehe Phase 1) oder dem Bauherrn selbst erfolgen kann.

Eine detaillierte Auflistung der Leistungen in dieser Phase ist in [2] enthalten.

5 Wirtschaftlichkeit

5.1 Grundlegendes zur Bewertung der Wirtschaftlichkeit

Monitoringmaßnahmen sind mit Kosten verbunden und Straßenbauverwaltungen müssen grundsätzlich nachweisen, dass der potenzielle Nutzen einer Monitoringmaßnahme in einem günstigen Verhältnis zu den eingesetzten Ressourcen steht, da ihr Handeln stets nach dem Grundsatz der Wirtschaftlichkeit und Sparsamkeit ausgerichtet sein muss. Wirtschaftlichkeitsuntersuchungen dienen der Bewertung, ob diese Anforderungen erfüllt sind.

Für die Durchführung von Wirtschaftlichkeitsuntersuchungen im Rahmen von Instandsetzungs- und Erneuerungsmaßnahmen bei Straßenbrücken steht den Straßenbauverwaltungen die Richtlinie RI-WI-BRÜ [12] zur Verfügung. Hierin werden – vereinfacht ausgedrückt – die direkt bei den Verwaltungen anfallenden Kosten der Varianten Instandsetzung und Erneuerung verglichen. Zu diesen Kosten gehören die Investitionskosten für die Baumaßnahmen und die Folgekosten für die Bauwerkserhaltung innerhalb eines betrachteten Bewertungszeitraums. Zusätzlich wird in der Untersuchung der Restwert der Brücke am Ende des Bewertungszeitraums berücksichtigt. Da die Investitions- und Folgekosten zu unterschiedlichen Zeitpunkten anfallen und der Restwert für einen Zeitpunkt in der Zukunft abgeschätzt werden muss, werden alle anfallenden Kosten und der Restwert mittels der Kapitalwertmethode auf ein Referenzjahr bezogen (diskontiert) und zu einem Gegenwartswert summiert. Durch dieses Vorgehen werden die Gesamtkosten der untersuchten Varianten vergleichbar gemacht.

Derzeit steht den Straßenbauverwaltungen jedoch noch keine gesonderte Richtlinie für Wirtschaftlichkeitsuntersuchungen von Monitoringmaßnahmen zur Verfügung, weswegen es in der Praxis kein einheitliches, vorgeschriebenes Vorgehen bei solchen Untersuchungen gibt. Dies ist insbesondere darauf zurückzuführen, dass (a) Monitoring im Erhaltungsmanagement von Straßenbrücken noch keine Standardkomponente ist bzw. Monitoring aktuell meist anlassbezogen eingesetzt wird, wenn Schäden/Defizite vorhanden sind und es häufig die einzige Alternative darstellt, um eine Brücke unmittelbar (ggf. eingeschränkt) verfügbar zu halten und (b) solche Wirtschaftlichkeitsuntersuchungen nicht trivial sind, da das Kosten-Nutzen-Verhältnis einer Monitoringmaßnahme insbesondere von der zukünftigen Entwicklung des Bauwerkszustands und der Bauwerkszuverlässigkeit, den Fähigkeiten des Messsystems und der Datenanalyse, den möglichen Monitoringergebnissen, und den an diese Ergebnisse angeschlossenen Entscheidungen über Erhaltungsmaßnahmen und den damit verbundenen Konsequenzen abhängt (z.B. [13], [14], [15]).

Prinzipiell kann die Wirtschaftlichkeit von Monitoringmaßnahmen – entsprechend dem auch in der RI-WI-BRÜ verankerten Grundsatz – durch die Untersuchung und den Vergleich der Kosten der relevanten Varianten, wie z. B. Betrieb einer Brücke ohne Monitoring und Betrieb einer Brücke mit Monitoring, nachgewiesen werden. Die Wissenschaft und Praxis wird sich in diesem Zusammenhang zunehmend einig, dass es bei einer solchen Untersuchung notwendig ist, sowohl die direkt bei den Straßenbauverwaltungen anfallenden Kosten als auch sämtliche Wirkungen einer Brücke auf das Verkehrsnetz, die Gesellschaft, Wirtschaft und Umwelt zu berücksichtigen [9], [15].

5.2 Möglichkeiten zur Bewertung der Wirtschaftlichkeit

Aktuell wird Monitoring vorwiegend als anlassbezogene Maßnahme von Betreibern in enger Abstimmung mit den verantwortlichen Tragwerksexperten beauftragt. Dies schließt hauptsächlich die Anwendungsfälle bekannte lokal verortete Schäden (AwF 010), bekannte Defizite aus Nachrechnung oder Konstruktion (AwF 020), Ermittlung von Einwirkungen (AwF 030), Unterstützung der Bauwerksprüfung (AwF 040), Begleitung bedeutender Bauwerke (AwF 050), Instandsetzungs-/Verstärkungsmaßnahmen (060), Belastungsversuche/Systemidentifikation (AwF 070), bauzeitliche Messungen (AwF 100) und Schutz von Bauwerken bei umliegenden Baumaßnahmen (AwF 110) ein (siehe Kapitel 4.2). In diesen Fällen wird das Monitoring i.d.R. vom Betreiber gemeinsam mit Tragwerks- und/oder Monitoringexperten auf die Aufgabenstellung (sukzessive) zugeschnitten. Falls verschiedene Monitoringkonzepte existieren, die die gleiche Aufgabenstellung erfüllen, können die direkt beim Betreiber anfallenden Investitions- und Folgekosten der unterschiedlichen Monitoringkonzepte durch eine einfache Kostenvergleichsrechnung [16] oder eine Kapitalwertberechnung [12] verglichen werden.

Der Einsatz von Monitoring im Rahmen vom prädiktiven Lebenszyklusmanagement (AwF 080) und zur Erzeugung von Referenzzertifikaten (AwF 090) spielt in der Praxis noch eine sehr untergeordnete Rolle. Modelle, Methoden und Verfahren zur Bewertung des Nutzen-Kosten-Verhältnisses von Monitoringmaßnahmen, die in diesem Zusammenhang – aber auch im Rahmen der anderen möglichen Anwendungsfälle – eingesetzt werden sollen, werden aktuell gemeinsam von der Wissenschaft und Praxis erforscht und entwickelt (z.B. [13], [14], [15]).

Weitere Beispiele aus der Praxis, die einen möglichen Nachweis der Wirtschaftlichkeit von Monitoringmaßnahmen aufzeigen, sind im DBV-Merkblatt „Brückenmonitoring“ [2] enthalten. Hierbei ist insbesondere ein Beispiel hervorzuheben, in dem der Nutzen einer Monitoringmaßnahmen durch einen Vergleich von Folgekosten, die durch Nutzungseinschränkungen einer geschädigten Brücke entstehen, bewertet wird. Hierbei wird berücksichtigt, dass Mithilfe des Monitorings die Verkehrseinschränkungen und somit die Nutzungsausfallkosten reduziert werden können. Die Nutzungsausfallkosten durch Verkehrseinschränkungen können beispielsweise auf der Grundlage des Methodenhandbuchs zum Bundesverkehrswegeplan 2030 abgeschätzt werden [15], [17]. Ein solcher Vergleich von Nutzungsausfallkosten bietet derzeit eine praktisch umsetzbare Möglichkeit, um den Vorteil von Monitoring gegenüber von Varianten ohne Monitoring quantitativ darzustellen bzw. verschiedene Monitoringkonzepte, die unterschiedlich starke Reduktionen von Verkehrseinschränkungen ermöglichen, miteinander zu vergleichen.

6 Ausschreibung, Vergabe und Vertragsgestaltung

6.1 Ausschreibung von Monitoringleistungen

Für die Vergabe von Monitoringleistungen werden die sechs in Kapitel 4.4 beschriebenen Phasen in zwei Paketen zusammengefasst, die i.d.R. separiert ausgeschrieben und vergeben werden.

Im ersten Paket Monitoringkonzept erfolgt auf Basis der Aufgabenstellung die Ausschreibung und Vergabe der Erstellung des qualifizierten Monitoringkonzeptes durch den Fachplaner Monitoring, der sowohl Kenntnisse und langjährige Erfahrungen bzgl. des Tragwerkverhaltens als auch bzgl. der zum Teil komplexen Messaufgaben bis hin zur Datenauswertung und des Datenmanagements besitzt. Aufgrund der Charakteristik der zu erbringenden Leistung eignet sich für die Ausschreibung des Monitoringkonzeptes die Form der funktionalen Ausschreibung.

Auf der Basis des erstellten Monitoringkonzeptes erfolgt im zweiten Paket, Monitoringausführung, das Vergabeverfahren mit Ausschreibung zur Ausführung des Monitorings durch einen Spezialdienstleister für Bauwerksmessungen. Im Wesentlichen gehören zu den darin auszuschreibenden Leistungen die Planung, die Installation sowie der Betrieb des Monitoringsystems inklusive der Datenauswertung und dem Datenmanagement. Aufgrund seiner Spezialkenntnisse ist der Fachplaner Monitoring grundsätzlich befähigt, den AG bei Ausschreibung und Vergabe des Pakets Monitoringausführung zu beraten.

Die Arbeiten des Pakets Monitoringausführung können sowohl in konkreter als auch in funktionaler Form ausgeschrieben werden. Bei komplexeren Monitoringmaßnahmen oder wenn die Expertise beim AG in nur eingeschränktem Maße vorliegt, sollte die konkrete Form der Ausschreibung Anwendung finden. Dabei gibt der AG ein konkretes Leistungsverzeichnis vor und definiert die zu erbringenden Leistungen sehr detailliert. Damit ist eine Vergleichbarkeit der Angebote gegeben und die Abrechnung der Leistungen kann sich am detaillierten Leistungsverzeichnis orientieren. Die Informationen für die konkrete Ausschreibung stammen dann aus dem Paket Monitoringkonzept und müssen nicht vom AG selbst erstellt werden.

6.2 Vergabekriterien

Prinzipiell sind haushaltswirtschaftliche Ziele und Zwänge bei der Zuschlagserteilung zu berücksichtigen und gemäß HVA F-StB Teil 2 ist das wirtschaftlichste Angebot zu wählen. Gleichzeitig muss die Vergabe grundsätzlich an fachkundige, leistungsfähige und zuverlässige Unternehmen zu angemessenen Preisen erfolgen. Diese Gesichtspunkte sind bei der Definition der Vergabekriterien zu berücksichtigen. Neben dem Preis ist vor allem die Qualifikation des Auftragnehmers (AN) das entscheidende Kriterium für die Vergabe erfolgreicher Monitoringprojekte. Derzeit kann aufgrund der Neuartigkeit der Verfahrensweise sowie aufgrund der zum Teil ausgeprägten Komplexität eine nur geringe Anzahl von

Wettbewerbern eine ausreichend hohe Qualifikation nachweisen. Um eine fachkundige Auftragsbearbeitung sicherzustellen, sollte die Qualifikation höher gewichtet sein als der Preis.

Ein probates Mittel des Belegens der fachlichen Eignung besteht im Nachweis von Referenzprojekten. Das gilt sowohl für das angebotsabgebende Unternehmen allgemein als auch für den zugeordneten Projektleiter persönlich. Dabei sollten die eingereichten Referenzprojekte sowohl in den konstruktiven Randbedingungen des Bauwerks als auch in der Aufgabenstellung des Monitorings vergleichbar sein. Für außergewöhnliche Merkmale des Monitorings, z. B. Messtechnik, Datenauswertung oder Datenmanagement, können gesondert Referenzprojekte verlangt werden.

Aufgrund der Neuartigkeit von Monitoring und der sich daraus ergebenden Begrenztheit an Referenzprojekten kann es zielführend sein, weitere Möglichkeiten für einen Nachweis der fachlichen Eignung eines Bieters in Betracht zu ziehen. Dies können Erfahrungen mit hinreichend vergleichbaren messtechnischen Methodiken zur Bestimmung der Integrität von Bauwerken sein oder der Nachweis der Begleitung von Monitoringprojekten im Rahmen von Forschungsvorhaben an Hochschulen. In diesem Zusammenhang können auch Veröffentlichungen in Fachzeitschriften von der Fachkunde der Autoren zeugen. Fachliche Weiterbildungen sind prinzipiell ein Mittel der Qualifizierung, allerdings sind aufgrund der Komplexität und Vielschichtigkeit der Aufgabenstellung im Monitoring Weiterbildungsmaßnahmen schwer zu realisieren und vorgelegte Nachweise daher genau zu prüfen bzw. nur für einzelne spezifische Aufgabenstellungen, bspw. das Datenmanagement, zuzulassen.

Außerdem kann bei komplexen Aufgabenstellungen von den Bietern ein Konzept bei Angebotsabgabe verlangt werden, in dem die Herangehensweise an die Aufgabenstellung dargestellt ist. Dies führt aber häufig zu einem erhöhten Aufwand bei der Angebotserstellung und sollte daher nur bei komplexen Aufgabenstellungen eingesetzt werden.

Alternativ zum Verfahren der öffentlichen Ausschreibung, mit dem möglichst vielen potenziellen Bietern die Gelegenheit zum Einreichen eines Angebots gegeben wird, ist es möglich, in einem Präqualifikationsverfahren zunächst die Referenzen oder alternative Nachweise abzufragen. Im Anschluss werden dann einige Bieter zur Angebotsabgabe aufgefordert. Weiterhin könnten Verhandlungsverfahren mit vorgeschaltetem Teilnahmewettbewerb genutzt werden. Bei diesem Verfahren geben die Bieter zunächst ihre Qualifikationen im Rahmen eines Teilnahmewettbewerbs ab. Anschließend werden ausgewählte Bieter zur Abgabe eines Angebots und eventuell zu Verhandlungen eingeladen. Dies ermöglicht es, die Qualifikationen im direkten Gespräch genauer zu prüfen und zu bewerten.

Um eine objektive Bewertung der eingegangenen Qualifikationsnachweise zu gewährleisten, empfiehlt es sich, eine Bewertungsmatrix zu entwickeln, die die Qualifikationskriterien und deren Gewichtung beinhaltet. Die Bewertungsmatrix bzw. Vergabekriterien sind bei der Ausschreibung mit aufzunehmen.

6.3 Vertragsgestaltung und Abrechnung

Die Beauftragung erfolgt gewöhnlich über Ingenieurverträge, die eine Form von Werkverträgen nach §§ 631 bis 651 BGB darstellen. Im Straßen- und Brückenbau gilt das HVA F-StB Abschnitt 1.4. Werden Leistungen eines Monitorings separat an mehrere Auftragnehmer vergeben, ist es wichtig, die einzelnen Zuständigkeiten klar zu benennen und abzugrenzen.

Prinzipiell besteht ein mehr oder weniger großes Risiko dafür, dass beauftragte Leistungen durch Ausfall von Komponenten des Monitoringsystems nicht oder nur eingeschränkt erbracht werden können. Daher empfiehlt sich, die erforderliche maximale Ausfallwahrscheinlichkeit der Messtechnik und den damit verbundenen Daten- bzw. Informationsverlust in den Ausschreibungsunterlagen zu benennen und vertraglich zu verankern. Die Bereitstellung von Redundanz und ggf. von zeitnaher Reparatur ausgefallener Technik liegen dann im Bereich des AN. Weiterhin können Messwerte oder nachfolgende Auswertungsroutinen fehlerhaft sein. Hier kann das Erbringen von Plausibilitätsnachweisen zum Zeitpunkt der Inbetriebnahme sowie ggf. in regelmäßigen Abständen während des Monitorings in den Ausschreibungen benannt und vertraglich festgelegt werden.

Da Monitoringmaßnahmen i.d.R. über einen längeren Zeitraum stattfinden, besteht ein potenzielles Risiko des Verlusts an Messtechnik durch Beschädigung und/oder Diebstahl. Außerdem kann Messtechnik durch Extremwetterereignisse beschädigt oder zerstört werden. Hier sollten die bekannten Risiken klar einer Vertragspartei zugeordnet werden.

In den Verträgen sollte auch die Art und Weise der Übergabe von Daten und Ergebnissen verankert sein. Zu den entsprechenden Punkten zählen u.a. Vorhaltezeiten für Daten, Formate von Daten, Datenträgerart oder auch Datenbanksysteme. Hier sind die Vorgaben des Monitoringkonzepts bezüglich des Datenmanagements in den Verträgen umzusetzen.

Die Abrechnung erfolgt i.d.R. über das bepreiste Leistungsverzeichnis. Der Modus der Abrechnung ist vertraglich festzulegen. Bspw. können Abrechnungen nach Vorlage des Installationsberichts, nach Zwischenberichten zu festgelegten Zeitpunkten und nach dem Schlussbericht erfolgen. Die Berichte sollten dabei auch immer den Nachweis der Funktionalität und der Plausibilität der Messdaten bzw. der Ergebnisse beinhalten. Die Abrechnung von Leistungen zur Erstellung des Monitoringkonzepts erfolgt i.d.R. nach Aufwand, es sei denn, die Bauwerksuntersuchungen und die statische Bewertung sind so lückenlos, dass darauf das Monitoringkonzept entwickelt werden kann. Die Abrechnung von Leistungen der Ausführungsplanung und der Installation kann nach Aufwand oder pauschal erfolgen. Monitoringsysteme werden nach Komponenten abgerechnet. Die Abrechnung der Messwerterfassung kann nach Zeitraum und Messsystem erfolgen. Die Bewertung bei Sondersituation, z. B. bei Spanndrahtbrüchen muss nach Aufwand erfolgen.

Bei Monitoring über einen längeren Zeitraum sollten die Kosten für die Planung und Installation des Systems von den laufenden Kosten des Betriebs getrennt werden. Außerdem ist u. U. eine prozentuale Kostensteigerung pro Kalenderjahr zu berücksichtigen. Im Falle der erhöhten Wahrscheinlichkeit einer vorzeitigen Beendigung einer Monitoringmaßnahme aufgrund des Wegfalls des Monitoringziels sind die möglichen Konsequenzen vorab festzulegen und vertraglich zu beschreiben.

6.4 Rechtliche Grundlagen / Haftung

Prinzipiell sind die Baulastträger für die Erfüllung der ihnen zugewiesenen Bauaufgaben einschließlich aller erforderlichen Kontrollaufgaben und Bauwerkserhaltungsmaßnahmen verantwortlich. Diese Verantwortlichkeit kann sowohl im Geltungsbereich des Zivilrechts als auch im öffentlichen Recht grundsätzlich auf Dritte übertragen werden.

In Bezug zu Monitoring sind die Fragestellungen zur Verantwortung und der Haftung nach Möglichkeit in den Besonderen Vertragsbedingungen zwischen Auftraggeber und Auftragnehmer zu regeln. Das HVA F-StB Teil 1 regelt Ausschreibung, Vergabe und Vergütung von Leistungen im Bereich des Ingenieurbaus an Verkehrswegen. Dort ist im Abschnitt 1.4

Vertragsbedingungen die Verpflichtung des AN zum Vorhalten einer Haftpflichtversicherung mit im Verhältnis zu den Baukosten erforderlichen Deckungen für Sach- und Personenschäden beschrieben. Die Deckungssummen sollten für die Erbringung von Monitoringleistungen an Bestandsbauwerken angepasst werden. Dies kann über eine Zeitwertermittlung für das entsprechende Bauwerk bspw. auf Basis der aktuellen Wiederherstellungskosten mit Berücksichtigung einer linearen Abschreibung über die normative Nutzungsdauer gemäß Ablösungsbeträge-Berechnungsverordnung (ABBV) erfolgen.

Eine besondere Problematik betrifft den Umstand, dass in den AVB F-StB Mängelansprüche und deren Verjährung festgelegt sind und entsprechend Mängelansprüche nach Ablauf von fünf Jahren verjähren. Dies kann im Rahmen von langzeitlichem Monitoring, z.B. mit Bezug zu Korrosionsprozessen, nur sehr eingeschränkt sinnvoll sein. Für solche besonderen Fälle könnte die Aufnahme einer längeren Verjährungsfrist für Mängelansprüche in die AGB des Bauherrn rechtlich überprüft und bei positivem Befund vertraglich verankert werden [18].

7 Datenmanagement

7.1 Bedeutung des Datenmanagements

Die Vitalwerte sind für einen Menschen das, was für ein Bauwerk Monitoringdaten darstellen. Je nach Anwendungsfall können sehr spezielle Beobachtungen erfolgen (z. B. AwF 010 oder 020) oder dem Bauwerk wird nach Errichtung einfach nur der „Fitnesstracker“ angelegt (z. B. AwF 080 oder 090). Über die Bauwerkslebensdauer betrachtet, erlauben einmal erfasste Daten zu Umwelt-, Einwirkungs- und Zustandsparametern immer Einblicke in die Entwicklung von Bauwerkszuständen, die sich zu Beginn der Überwachung, ggf. auch nur andeutungsweise, abgezeichnet haben und sich typischerweise nach einigen Jahren erst rückblickend erkennen und bewerten lassen. Für die Bauwerkseigentümer stellen die Ergebnisse der Dauermessungen am Bauwerk einen wertvollen Datenschatz dar, der möglichst effizient und sauber erstellt, geteilt und genutzt werden sollte und den es nutzbar und verfügbar zu halten gilt. Im Sinne der eigenen Datensouveränität ist die Herausforderung der Straßenbauverwaltungen zum einen, Daten unabhängig vom Auftragnehmer auf lange Zeit zu archivieren und zum anderen modernste Datenanalyse- bzw. Datenvisualisierungen zu nutzen. Hier erfolgt die Verarbeitung der Daten tief im „Inneren“ und es werden neue aggregierte Ergebnisse berechnet. Für die dauerhafte Archivierung sind die Daten gemäß den FAIR-Prinzipien und möglichst entkoppelt von Software in offenen Datenformaten zu speichern. Diese Aufgabe kann für steigende Anzahlen von Monitoringanwendungen über effiziente Datenmanagementsysteme realisiert werden, die optimale Schnittstellen bieten, um Daten einfach und systematisch strukturiert entgegennehmen und bereitstellen zu können.

In der aktuellen Situation stellt es für die Straßenbauverwaltungen im Allgemeinen eine Herausforderung bei der Planung und Durchführung von Monitoringanwendungen dar, die Abstimmung zum Vorgehen bei dem Datenmanagement mit den möglichen Anbietern und Monitoringdienstleistern zu führen. Häufig findet nach Abschluss eines Monitoringprojekts keine Übergabe der Messdaten vom Spezialdienstleister für Bauwerksmessungen zum Bauherrn statt. Somit stehen die Daten für Folgefragen nicht mehr zur Verfügung. Dieses Vorgehen muss sich unbedingt ändern. Dazu müssen Auftraggeber von Monitoringleistungen die Messdaten mindestens nach Projektabschluss in maschinenlesbarer Form mit entsprechenden Metadaten entgegennehmen. Hinweise dazu sind im Leitfaden [1] sowie nachfolgend und in der Beispiel-ADA des Anhangs der Arbeitshilfe enthalten.

Für die Straßenbauverwaltung sollten im Umgang mit Monitoringdaten klare Geschäftsprozesse für die Formulierung der Anforderungen und für die Bereitstellung des Zugangs existieren, um sowohl Daten entgegenzunehmen als auch um Daten bereitzustellen. Daraufhin können sowohl die organisatorischen als auch die technischen Rahmenbedingungen geschaffen bzw. genutzt werden. Eine Beschreibung von zwei notwendigen Geschäftsprozessen ist im Leitfaden enthalten. Der Geschäftsprozess 1 (Bild 4) deckt das Abstimmungsverfahren zur Vereinbarung der Datenübergabe zwischen dem AG und dem AN ab.



Bild 4: Geschäftsprozess 1 - Strukturierte Entgegennahme von Daten aus Monitoringprojekten

Der Geschäftsprozess 2 (Bild 5) beschreibt den Weg zur Nutzung und Bereitstellung der Monitoringdaten von der Straßenbauverwaltung an einen Bedarfsträger.

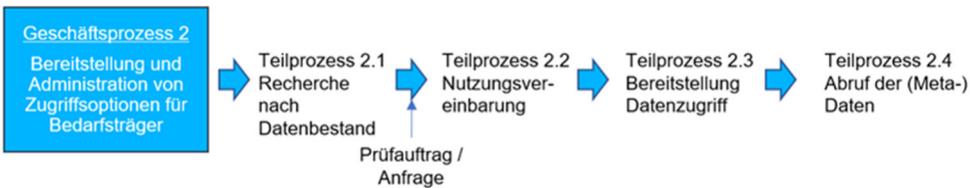


Bild 5: Geschäftsprozess 2 - Bereitstellung und Administration von Zugriffsoptionen für Bedarfsträger auf Monitoringdaten

Unabhängig von den Geschäftsprozessen wird auch auf die technischen Umsetzungsstufen für das Datenmanagement selbst eingegangen, dass in Verantwortung der Straßenbauverwaltungen einzeln betrieben wird, aber als föderatives Informationssystem als Gesamtdatenbestand zusammenwirken kann. In Abhängigkeit des Einzelbedarfs jedes Baulastträgers werden zwei Umsetzungsstufen vorgeschlagen. Die zu erreichende Stufe kann für jedes Bauwerk und jeden Monitoringanwendungsfall individuell festgelegt werden. In der Stufe 1 werden die Monitoringdaten in einer „dateibasierten Datensenke“ ausgetauscht und strukturiert abgespeichert. Der Auftragnehmer arbeitet die Daten systematisch und sauber in dieses Datenmanagement ein, so dass es zusammen mit allen relevanten Metadaten nachhaltig nutzbar ist und wird dabei vom AG begleitet. Dies erlaubt den langfristigen Austausch von Rohdaten und ausgewerteten Daten (Zielrichtung: Langzeitverfügbarkeit). Dies ist als Minimalvariante und einfach umsetzbare Möglichkeit zu verstehen, die Daten entgegenzunehmen, beispielsweise über Cloudspeicherdienste, die sich in der alltäglichen Arbeit bereits etabliert haben. Auf der höheren Stufe 2 des Datenmanagements (Zielzustand) werden die Monitoringdaten, einschließlich von Bewertungen in einer Datenbank gespeichert. Ein browserbasierter Online-Zugriff erlaubt die Visualisierung der Daten z. B. in Form von Dashboards als Echtzeitdarstellung. Für die Entscheidungsfindung werden hier Lagebilder dargestellt, die in der höchsten Umsetzungsstufe einen Teil des Digitalen Zwillinges des Bauwerks oder des Infrastrukturnetzes darstellen (Zielrichtung: Managemententscheidung).

7.2 Auftraggeber-Daten-Anforderung (ADA)

Im Zuge der Umsetzung und des Betriebs eines Monitorings fallen viele z. T. heterogene Daten und Metadaten an, die je nach Monitoringtechnologie stark unterschiedlich geartet sein können, z. B. hinsichtlich des Datenumfangs, des Aggregationslevels und der Datenformate (freie oder proprietäre Datenformate). Häufig werden auch Online-Plattformen zur Dateneinsicht bereitgestellt, die über die Projektdauer nutzbar sind. Die

Vorgehensweisen bei der Planung einer Monitoringanwendung, der Wirtschaftlichkeitsuntersuchung und der Ausschreibung des Messkonzepts beeinflussen, welche Details und Anforderungen zur Datenübergabe in einem Datenmanagement zwischen dem AG und dem AN abgestimmt und festgehalten werden. Daher wird mit dem Leitfaden ein Verfahren vorgeschlagen, dass als Auftraggeber-Daten-Anforderung (ADA) die relevanten Aspekte zur Datenübergabe für einen Monitoringanwendungsfall am Bauwerk beschreibt. Es ist vergleichbar mit der in der BIM Methode beschriebenen Auftraggeber-Informationen-Anforderung (AIA). Es ist daher auch im Neubau mit dem BIM Prozess kompatibel (Referenzinformation). Im Bestand ist es eine transparente Vereinbarung, die für den Datenaustausch ein von der Seite des AN (Fachplaner Monitoring bzw. Spezialdienstleister für Bauwerksmessungen) vorgeschlagenes Vorgehen beschreibt und dies für die Nachnutzung der Daten dokumentiert. Durch die Anwendung von Musteranforderungen (Muster-ADAs) werden die Rahmenbedingungen der Straßenbauverwaltung vorgegeben und durch den Umsetzungsvorschlag durch den Auftragnehmer an den aktuellen technologischen Stand der Technik angepasst. Sich etablierende Vorgehensweisen sollten seitens aller Stakeholder in die Muster-ADAs einfließen. Diese sollen zum Erfahrungsaustausch zwischen den Straßenbauverwaltungen beitragen.

Die Inhalte einer ADA-Vereinbarung sind ohne Anspruch an Vollständigkeit im Leitfaden aufgeführt und umfassen z. B.:

- Kurzbeschreibung des Datenbestands und Einordnung in den Monitoring-AwF
- Rollen / Verantwortlichkeiten bei der Datenübergabe, Freigabe, Kuration, Rückfrage, Fehlermanagement
- Festlegung der Datenumgebung, verwendete technische Schnittstellen und deren Spezifikation (ggf. als Anhang)
- genutzte Datenformate, einschließlich Dokumentation oder Verweise auf beschreibende Normen, Community Standards, ssRFCs
- Hinweise zur verfügbaren (möglichst freien) Software (Links, Code, Packages) zum Lesen und Konvertieren der Datenformate in unterschiedlichen Programmiersprachen oder als lizenzfreie Software
- Schemas für die Benennung von Kennzeichnungen von Messstellen und Dateien
- Strukturierung von Ordner-Hierarchien oder Datenbanktabellen
- Beschreibung der übergebenen Monitoringdaten und Zeitpunkte der Datenübergabe mit ggf. Fristen
- Vereinbarungen zur Bereitstellung von Auswertungen und deren Daten (ggf. gemäß Messkonzept), Visualisierungen der Daten, zusätzlichen Metadaten, zur Dokumentation der Vollständigkeit und der Bewertung der Datenqualität, s. [19].

Dieses Dokument soll so strukturiert sein, dass es sowohl für die Umsetzung des Monitorings, aber auch die spätere Datennutzung durch Dritte relevante Informationen bzw. Referenzen enthält. Die ADA kann bereits Teil des Monitoringkonzepts sein, insbesondere wenn Monitoringkonzept und Monitoringausführung als Paket und nicht getrennt ausgeschrieben werden. Im Anhang der Arbeitshilfe ist ein Beispiel eingefügt.

7.3 Beispiel-ADA

Nachfolgend ist die Beispiel-ADA aus dem Leitfaden [1] dargestellt:

Bezug zum Bauwerk und Projektüberblick:

- Nibelungenbrücke Worms – Monitoring-AwF 050: Begleitung bedeutender Bauwerke – globales Strukturmonitoring

- Auftraggeber: Straßenbauverwaltung Landesbetrieb Mobilität (LBM)
- Auftragnehmer: Beispiel Fachplaner Monitoring (FM) mit Beispiel Unterauftragnehmer Spezialdienstleister für Bauwerksmessungen (SDFBM)
- Monitoringzeitraum: August 2023 – Juli 2026

Revisionsstand und -historie:

Revision	Datum	Revisionsgrund	Name
0	07.02.24	Muster-ADA für Monitoring Anwendungsfall AwF 50 des LBM, Version 0.1	LBM
1.0	26.02.24	Anpassung der ADA auf Monitoringkonzept „Nibelungenbrücke“ v. 05.01.24	FM

Tabelle 1: Revisionsstand und -historie

Referenzen

- Monitoringkonzept: 2023_05_17_SPP_Monitoringkonzept_rev1.pdf vom 17.05.2023
- Bauwerksnummer nach SIB-Bauwerke: 6316873
- Pläne: [bei Bedarf angeben]

Kurzbeschreibung:

Bei diesem Monitoring wird im Zuge des Forschungsprojekts SPP100+ durch die BAM ein Strukturmonitoring nach dem Monitoringanwendungsfall AwF 050 durchgeführt, um die Nibelungenbrücke Worms als besonderes Bauwerk zu untersuchen. Es werden Beschleunigungen an den Stegwänden der beiden Hohlkästen im Brückenfeld der linksrheinischen Seitenöffnung (Seite Stadt Worms) gemessen. Über die Länge der beiden Kragarme der Brückenöffnung erfassen sieben Beschleunigungssensoren die Strukturdynamik des Bauwerks in drei orthogonalen Messrichtungen. Die einzelnen Sensoren sind zeitlich genau synchronisiert, so dass Auswertungen, wie z. B. Modalanalysen möglich sind. Außerdem sind die Messdaten zeitlich zum Strukturmonitoring des Zentralprojekts des SPP100+ synchronisiert.

Rollen / Verantwortlichkeiten

Akteure: [konkrete Benennung der Dienstleister]

- Bauherr/Auftraggeber: Landesbetrieb Mobilität
- Fachplaner Monitoring: FPM1
- Spezialdienstleister für Bauwerksmessungen: SDB1
- Fachtechnischer Prüfer: FPM2

Verantwortlichkeiten:

- Zugangsverwaltung: Straßenbauverwaltung
- Datenübergabe: SDB1
- Freigabe der Daten: Straßenbauverwaltung
- Kuration: Straßenbauverwaltung
- Rückfragen zu den Messungen: SDB1
- Rückfragen zum Konzept: FPM1
- Fehlermanagement: SDB1 (Hinweise an: data_eval@beispiel-email.de)

Datenumgebung und Schnittstellen

Für das Datenmanagement und die Datenübertragung wird ein föderiertes Informationssystem eingesetzt. Das von der Straßenbauverwaltung bereitgestellte System ist unter der URL: erreichbar. In diesem Datenraum hat der Spezialdienstleister Lese- und Schreibberechtigung über folgende Schnittstellen:

- **Schnittstelle 1: Browserbasierter Dateiapload – geteilter Link**
Der Zugriff auf die Daten kann manuell über den Webbrowser erfolgen. Dazu wird von der Straßenbauverwaltung ein Link an die Funktions-E-Mail-Adresse (sdb1@beispiel-email.de) des Spezialdienstleisters für Bauwerksmessungen und das zugehörige Passwort übersendet. Die Zugangsdaten dürfen nicht weitergegeben werden. Mit dem Link kann der Datenbestand in einer strukturierten Ordnerstruktur angezeigt werden. Es können die Monitoringdaten gemäß den weiteren Vereinbarungen hier manuell hochgeladen und überprüft werden.
- **Schnittstelle 2: Föderierte Cloud Freigabe**
Für die Datenübergabe wird von der Straßenbauverwaltung ein föderierter Cloud Link bereitgestellt und an die Funktions-E-Mail-Adresse (sdb1@beispiel-email.de) des Spezialdienstleisters für Bauwerksmessungen gesendet. Mit dieser Verknüpfung kann der Spezialdienstleister für Bauwerksmessungen entsprechende Zugangsberechtigungen unterverwalten und in seiner Cloudinstanz entsprechende Schnittstellen (z. B. eigenen WebDAV Server) anbinden.
- **Schnittstelle 3: WebDAV Verbindung**
Die Straßenbauverwaltung kann direkten Zugriff auf die Datenmanagementplattform über die WebDAV Schnittstelle einräumen, um den bereitgestellten Datenraum zu erreichen. Der Spezialdienstleister erhält auf Nachfrage die URL des WebDAV Servers, den Benutzernamen und das Passwort an die Funktions-E-Mail-Adresse (sdb1@beispiel-email.de).

Datenformate

Die Monitoringdaten mit der Dateiendung ‚.csv‘ werden als CSV-Dateien gespeichert gemäß RFC 4180 und RFC 7111. Als Zeichensatz wird UTF-8 verwendet. Die Trennzeichen werden wie folgt festgelegt:

- Spaltentrennzeichen: Semikolon (;)
- Dezimaltrennzeichen: Komma (,)
- Tausendertrennzeichen: Punkt (.)
- Formatierung der Datum-Zeit-Angabe erfolgt nach ISO-8601:
- YYYY-MM-DDThh-mm-ss,ffffff+zz
- YYYY ... vierstellige Jahresangabe
- MM ... zweistellige Monatsangabe
- DD... zweistellige Tagesangabe
- hh ... zweistellige Stundenangabe
- mm ... zweistellige Minutenangabe
- ss,ffffff ... zweistellige Sekundenangabe mit sechsstelliger Mikrosekundenangabe mit Komma (,) als Trennzeichen
- +/-zz ... Zeitdifferent der lokalen Ortszeitangabe zu UTC im Format (hh)
- T ... Trennzeichen zwischen Datums- und Zeitangabe nach ISO-8601

Sind regulär keine Werte vorhanden, dann wird kein Eintrag vorgenommen und es folgt ein Spaltentrennzeichen dem nächsten. Für einen undefinierten oder nicht darstellbaren Wert wird nach IEEE 754 (Gleitkommadarstellungen) das Symbol NaN verwendet, z. B. bei einer Division durch die Zahl 0 oder einem Fehlerwert.

Die Tabellen-Struktur der CSV-Dateien besteht aus zwei Kopfzeilen mit den eindeutigen Messstellenbezeichnungen (Spalten) in der ersten Zeile und der zugehörigen Einheit als SI-Einheit in der zweiten Zeile. Die Spalte mit der Datum-Zeitangabe ist mit Datetime bezeichnet. Ab der dritten Zeile folgen die Messwerte in chronologischer Reihenfolge, vom Messbeginn bis zum Messende der Datei zeilenweise mit fester Spaltenanzahl. Die Messdatei umfasst die Messdauer von 1 Tag von Mitternacht 00:00:00 Uhr bis Mitternacht des Folgetags 23:59:59 Uhr.

Der Zeitstempel innerhalb einer Messdatei ist monoton steigend und umfasst immer die gesamte Messdauer von einem Tag, sodass jede vollständige Messdatei immer die exakt gleiche Anzahl an Zeilen und Spalten besitzt (außer bei Schaltsekunden und Zeitumstellung).

Hinweise zu Software

CSV-Dateien können mit jedem beliebigen Texteditor gelesen werden.

Es eignen sich ebenfalls Tabellenverarbeitungsprogramme wie Microsoft Excel oder Programmiersprachen wie Python mit zugehörigen Packages (pandas).

Benennung Messstellen / Dateien

In den CSV-Dateien sind die Messstellen gemäß der Installationsdokumentation bezeichnet. Das Namensschema setzt sich zusammen aus dem Bauwerkskürzel (NW = Nibelungenbrücke Worms), der Monitoringmaßnahme (MM), der Positionsangabe am Bauwerk (PB) mit grober Abstandsangabe vor (-) oder nach (+) dem bezeichneten Querschnitt in m, der Sensortyps (T) und einer laufenden Nummer (xx) innerhalb der Position. Ggf. angewendete Berechnungen (EV) sind nach einem Unterstrich angefügt. Damit ergibt sich die Messstellenbezeichnung: NW.MM_PB+mm.Txx_EV.

Es sind beispielsweise folgende Bezeichnungen für Monitoringmaßnahmen zu verwenden:

- SD: Monitoringmaßnahme Strukturdynamik

Es sind beispielsweise folgende Bauwerkspositionen zu verwenden:

- Messquerschnitt AE: Achse E Hohlkasten Südseite
- Messquerschnitt SG: Scheitelgelenk Hohlkasten Südseite
- Messquerschnitt AF: Achse F Hohlkasten Südseite
- Messquerschnitt SGN: Scheitelgelenk Hohlkasten Nordseite

Es sind beispielsweise folgende Bezeichnungen für Sensortypen zu verwenden:

- B: Beschleunigungssensor
- T: Temperatursensor
- W: Wegsensor
- D: Dehnungsmessstreifen (DMS)

Es sind beispielsweise folgende Bezeichnungen für angewendete Berechnungen zu verwenden:

- Berechnung_AC: Anwendung eines Hochpassfilter, um den Gleichanteil der Erdbeschleunigung zu entfernen, die die verwendeten Sensoren erfassen.

Referenzierung in BIM Modellen

Aufbau von Informationscontainern

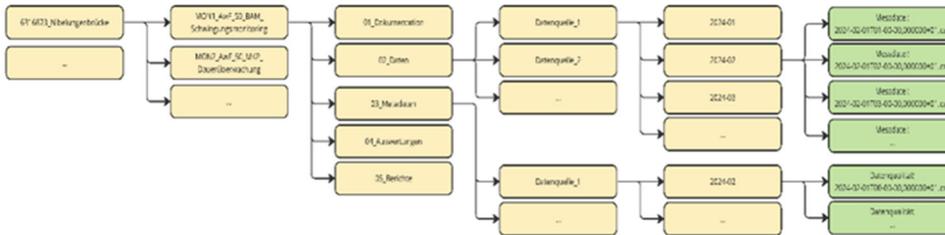


Bild 6: Beispielhafte Ordnerhierarchie / Aufbau des Informationscontainers

Beschreibung der Datenübergabe

Der Straßenbauverwaltung werden folgende Daten übergeben:

Beschreibung	Umfang	Lieferzeitpunkt
Stündliche Kurzzeitmessung (Datenquelle: DQ_01)	Es werden die Zeitreihen der Beschleunigungssensoren in Richtung der Monitoringmaßnahme SD übertragen. Dazu werden zu jeder vollen Stunde die ersten 2 min aufgezeichnet mit einer konstanten Abtastrate von 250 Hz. [Bezug zum Monitoringkonzept]	Datenübertragung erfolgt täglich an das Datenmanagement am Folgetag der Messung des jeweiligen kompletten Tags. Es ist eine Frist von max. 72 h zur Nachlieferung einzuhalten.
Datenanlage erfolgt unter: ./MON1_AwF_50_BAM_Schwingungsmonitoring/02_Daten/DQ_01/		

Tabelle 2: Datenübergabe

Weitere Datenquellen, die z. B. von weiteren Bauwerksteilen, anderen Datenerfassungssystemen oder andere Erfassungs- bzw. Übermittlungsarten können hier ergänzt werden.

Datenbereinigung

Der AN stellt nur fehlerbereinigte Daten zur Verfügung. Fehlerhafte Messungen werden durch den AN aus den Daten entfernt. Dies hat einen direkten Einfluss auf die Vollständigkeit der Daten, s.u.

Bereitstellung von ausgewerteten Daten

In diesem Fall werden keine zusätzlichen Auswertungen basierend auf den Rohdaten übertragen. Weitere Vereinbarung zur Übergabe von Ergebnissen von Auswertungen, wie bei „Beschreibung der Datenübergabe“

Bereitstellung von Visualisierungen

Der Spezialdienstleister kann neben der regelmäßigen Übergabe der Monitoringdaten ein Online-System zur Visualisierung der Daten zur Verfügung stellen. Dieses müsste im Rahmen der Durchführung näher definiert werden.

Bereitstellung Dokumentation Vollständigkeit und Bewertung Datenqualität

Jeden Monat wird die Vollständigkeit des letzten Monats tage- und sensorweise als eigenständige Datei pro Monat übergeben. Die Vollständigkeit wird ausgedrückt als:

$$\frac{\text{Anzahl vorhandener Datenpunkte}}{\text{Anzahl möglicher Datenpunkte}} \cdot 100\%$$

Die Dateibezeichnung ist analog zu den Messdateien zu wählen. Der Ablageort für Datenquelle DQ_01 ist: ./MON1_AwF_50_BAM_Schwingungsmonitoring/03_Metadaten/01_Datenqualität/01_Vollständigkeit/DQ_01/

Bereitstellung weiterer Metadaten

Die folgenden Dokumentationen werden bereitgestellt unter:

- ./MON1_AwF_50_BAM_Schwingungsmonitoring/01_Dokumentation/
- Messstellenübersicht, PDF
- Installationsdokumentation, PDF & DWG
- Installationsplanung, PDF
- Datenblätter der Sensoren, PDF
- Kalibrierzertifikate, PDF
- Monitoringtagebuch, Excel
- Auftraggeber-Daten-Anforderung (ADA), PDF

Die folgenden Metadaten werden bereitgestellt unter: ./MON1_AwF_50_BAM_Schwingungsmonitoring/03_Metadaten/

- Referenzen (z. B. semantische Links)
- Kalibrierinformationen (als maschinenlesbare Daten)

Datenschutzbestimmungen und Hinweise zu Urheberrecht

In den Unterlagen dürfen keine personenbezogenen Daten aufgeführt werden. Geschützte Handelsnamen und Marken müssen gekennzeichnet werden. Rechtlich geschützte Logos müssen komplett entfernt werden. Für Abbildungen und Fotos ist der Urheber und die Lizenzvereinbarung konkret anzugeben. Bevorzugt wird die Nutzung der Lizenz creative commons CC BY-ND 4.0 für Dokumente, Abbildungen und Texte. [Anpassung gemäß den Erfordernissen]

Hinweise zu Nutzungsrechten und Zitiervorschlag

Die Nutzung der Daten erfolgt ohne Gewähr und unter Ausschluss von Haftung. Die Bereitstellung der Daten kann jederzeit ohne Ankündigung eingeschränkt oder komplett beendet werden. Bei Nutzung der Daten ist folgende Zitierangabe zu verwenden: LBM (2024): Monitoringdaten der Schwingungsmessung an der Nibelungenbrücke Worms im Anwendungsfall AwF 50. URL: https://monitoringdaten.strassenbauverwaltung.de/apps/files/?dir=/Brücken/6316873_Nibelungenbrücke/02_MAwF/MON1_AwF_50_BAM_Schwingungsmonitoring, abgerufen am dd.mm.yyyy.

8 Checklisten

8.1 Einleitung

Die vorliegenden Checklisten haben keinen Anspruch auf Vollständigkeit. Sie sind thematisch an die Kapitel Ausschreibung, Vergabe, Vertragsgestaltung und Haftung angelehnt. Der zugrundeliegende Prozess wird in Kapitel 4.4 und ausführlich im Leitfaden beschrieben. Die Checklisten beziehen sich auf die zwei spezifischen Leistungspakete Monitoringkonzept (Phase 2) und Monitoringausführung (Phasen 3 bis 5), siehe dazu auch Bild 1. Die Checklisten enthalten empfohlene Punkte, die in Abhängigkeit des Monitoringprojekts auszuwählen sind. Nicht alle Punkte finden bei allen Projekten Anwendung.

8.2 Ausschreibung und Vergabe: Monitoringkonzepte (Phase 2)

In der Ausschreibung zu berücksichtigende Informationen:	
Die Leistungserbringung unterliegt den Vorgaben und Hinweisen anerkannter Merkblätter und Richtlinien (z.B. Leitfaden, DBV-Merkblatt)	<input type="checkbox"/>
Einleitende Kurzbeschreibung der Problemstellung (Fragestellung des Bauwerks)	<input type="checkbox"/>
Beschreibung der sich daraus ergebenden Aufgabenstellung des geplanten Monitorings	<input type="checkbox"/>
Beschreibung des Ingenieurbauwerks (Bauwerkskenndaten)	<input type="checkbox"/>
Informationen zu Verkehrssperrung bzw. -einschränkung sowie erforderlicher Verkehrssicherungsmaßnahmen während einzelner Phasen der Leistungserbringung	<input type="checkbox"/>
Informationen zur Zugänglichkeit zu den relevanten Bereichen des Bauwerks	<input type="checkbox"/>
Informationen zu Umgebungsbedingungen (Temperaturbereiche, möglicher Wasserzutritt, Tausalz)	<input type="checkbox"/>
Hinweise zu bauwerksbedingt möglichen Störungsursachen (Hochwasser, Extremwind, Vandalismus, Diebstahl, Beschädigung durch Nagetiere)	<input type="checkbox"/>
Hinweise zu möglichen Störungen der Messsignale durch Oberleitungen der Bahn oder anderen elektrischen Leitungen	<input type="checkbox"/>
Informationen zum Vorhalten von Gerüsten, Leitern, Treppentürme	<input type="checkbox"/>
Informationen zur Energieversorgung (Stromanschluss)	<input type="checkbox"/>
Beschreibung der geforderten Qualifikationen des Anbieters	<input type="checkbox"/>
Zusammenstellung relevanter Vergabekriterien (Referenzen, Qualität, Preis, ...)	<input type="checkbox"/>
Festlegung der Wichtung der einzelnen Vergabekriterien bei der Vergabe	<input type="checkbox"/>

Leistungsbeschreibung – Vom Bieter abzufragende Leistungen:	
Ortsbesichtigungen zum Abschätzen der erforderlichen Leistung, Zusammenstellen und Sichten vorhandener Unterlagen	<input type="checkbox"/>
Abstimmungen mit Bauherren, Bauwerksprüfern, Fachplanern, Behörden (Kommunen, Eisenbahnkreuzungspartner, Wasserbehörden, Naturschutzbehörden, etc.)	<input type="checkbox"/>
Definition Zielstellung Monitoringmaßnahmen auf Grundlage der Aufgabenstellung (statisch konstruktive Defizite, Modellverifikation, etc.)	<input type="checkbox"/>
Beschreibung der beeinflussenden Sachverhalte	<input type="checkbox"/>
Festlegung tragwerksbezogener Kenngrößen für die messtechnische Aufzeichnung (z.B. Spannungsschwingbreite, Eigenfrequenz, Schubverformung)	<input type="checkbox"/>
Untersuchung und Auswahl möglicher Messgrößen (z.B. Dehnungen, Beschleunigungen, Weggrößen, Temperatur), ggf. Variantenvergleich	<input type="checkbox"/>
Untersuchung und Auswahl Sensorik (Art, Anzahl, Lage), Berücksichtigung Redundanz, Berücksichtigung Messparameter (Messbereich, Auflösung, Abtastrate, etc.)	<input type="checkbox"/>
Untersuchung und Empfehlung zur Systemarchitektur (Sensoranbindung, Datenerfassungs- und Übertragungssystem, Messrechner, Peripheriegeräte), ggf. Variantenvergleich	<input type="checkbox"/>
Festlegung Art und Umfang der Datenauswertung, ggf. Variantenvergleich	<input type="checkbox"/>
Beschreibung Anforderungen an Havariekonzept / Alarmkette, falls vorgesehen	<input type="checkbox"/>
Untersuchung und Auswahl Verfahren zur Datenübergabe und zum Datenmanagement, ggf. Variantenvergleich	<input type="checkbox"/>
Kostenschätzung für untersuchte Varianten bzw. Vorzugsvariante	<input type="checkbox"/>
Ausarbeitung der gewählten Variante, sofern unterschiedliche vorhanden, unter Berücksichtigung aller fachspezifischen Anforderungen und Randbedingungen	<input type="checkbox"/>
Erstellen des Konzeptentwurfs und Erläuterung gegenüber Dritten (Fachplaner, Behörden), Einarbeitung vorgebrachter Anregungen und Hinweise in den Konzeptentwurf	<input type="checkbox"/>
Kostenberechnung mit Mengenermittlung	<input type="checkbox"/>
Beschreibung der Installationsphasen unter Berücksichtigung erforderlicher Verkehrslenkung, Erstellung eines Installationsplans	<input type="checkbox"/>
Zusammenfassung in einem endgültigen Monitoringkonzept	<input type="checkbox"/>

Tabelle 3: Checkliste für Ausschreibung und Vergabe von Monitoring

8.3 Vertragsgestaltung und Haftung: Monitoringkonzepte (Phase 2)

Allgemeines:	
Bei Vertragsgestaltung und Haftungsfragen sollten Vorgaben und Hinweise anerkannter Richtlinien (z.B. Leitfaden) berücksichtigt werden	<input type="checkbox"/>
Die Vertragsgestaltung unterliegt den Vorgaben des HVA F-StB Abschnitt 1.4 „Vertragsbedingungen“	<input type="checkbox"/>
Vertragsbedingungen nach HVA F-StB Abschnitt 1.4:	
Festlegung der besonderen Vertragsbedingungen: Termine und Fristen, Haftpflichtversicherungen, ergänzende Vereinbarungen, Datenschutz	<input type="checkbox"/>
Festlegung der geltenden technischen Vertragsbedingungen (TVB)	<input type="checkbox"/>
Festlegung der allgemeinen Vertragsbedingungen (nach AVB F-StB)	<input type="checkbox"/>
Abrechnung- und Zahlungsmoden	
Abrechnungsart festgelegt (für gewöhnlich pauschal, u.U. nach Aufwand)	<input type="checkbox"/>
Mängelansprüche / Haftung:	
Regulierungen zu Haftungsfragen sind in AVB F-StB festgelegt.	<input type="checkbox"/>
Mängelansprüche nach Werkvertragsrecht verjähren nach 5 Jahren	<input type="checkbox"/>
Haftung AG und AN gemäß gesetzlicher Vorschriften	<input type="checkbox"/>
Nachweis Berufshaftpflichtversicherung durch AN, Festlegung Deckungssumme z.B. über Zeitwertermittlung des Bauwerks	<input type="checkbox"/>

Tabelle 4: Checkliste für Vertragsgestaltung und Haftung: Monitoringkonzepte

8.4 Ausschreibung und Vergabe: Monitoringausführung (Phasen 3-5)

Ausschreibungstyp	
Wie soll ausgeschrieben werden - funktional oder konkret und warum?	<input type="checkbox"/>
In der Ausschreibung zu berücksichtigende Informationen:	
Die Leistungserbringung unterliegt den Vorgaben und Hinweisen anerkannter Merkblätter und Richtlinien (z.B. Leitfaden, DBV-Merkblatt)	<input type="checkbox"/>
Einleitende Kurzbeschreibung der Aufgaben- und Zielstellung der Monitoringmaßnahmen sowie des geplanten Monitoringsystems	<input type="checkbox"/>
Beschreibung des Ingenieurbauwerks (Bauwerkskenndaten)	<input type="checkbox"/>
Das Messkonzept (Phase 2) kann der Ausschreibung beigelegt werden	<input type="checkbox"/>
Informationen zu Verkehrssperrung bzw. -einschränkung sowie Verkehrssicherungsmaßnahmen während einzelner Phasen der Leistungserbringung	<input type="checkbox"/>
Informationen zur Zugänglichkeit zu den relevanten Bereichen des Bauwerks	<input type="checkbox"/>
Informationen zu Umgebungsbedingungen (Temperaturbereiche, möglicher Wasserzutritt, Tausalz)	<input type="checkbox"/>
Hinweise zu bauwerksbedingt möglichen Störungsursachen (Hochwasser, Extremwind, Vandalismus, Diebstahl, Beschädigung durch Nagetiere)	<input type="checkbox"/>
Hinweise zu möglichen Störungen der Messsignale durch Oberleitungen der Bahn oder anderen elektrischen Leitungen	<input type="checkbox"/>
Informationen zum Vorhalten von Gerüsten, Leitern, Treppentürme	<input type="checkbox"/>
Informationen zur Energieversorgung (Stromanschluss)	<input type="checkbox"/>
Beschreibung der geforderten Qualifikationen des Anbieters	<input type="checkbox"/>
Zusammenstellung relevanter Vergabekriterien (Referenzen, Qualität, Preis, ...)	<input type="checkbox"/>
Festlegung der Wichtung der einzelnen Vergabekriterien bei der Vergabe	<input type="checkbox"/>
Leistungsbeschreibung – Vom Bieter abzufragende Leistungen:	
Abstimmungen mit Bauherren, Bauwerksprüfern, Fachplanern, Behörden	<input type="checkbox"/>
Beschreibung Leistungsumfang Planung, Installation, Betrieb, Auswertung, Datenmanagement)	<input type="checkbox"/>
Verweis auf Anforderungen und Empfehlungen des Monitoringkonzeptes	<input type="checkbox"/>
Beschreibung der einzusetzenden Messtechnik gemäß Monitoringkonzept, inklusive Anforderungen an Langlebigkeit und Beständigkeit Messtechnik, alternative Messtechnik ist dabei zu ermöglichen	<input type="checkbox"/>
Beschreibung der Forderungen an die Verfügbarkeit des Monitoringsystems inklusive Auswertung der Daten	<input type="checkbox"/>

Definition der Anforderungen an die Auswertung (Visualisierungen, Plausibilitätskontrollen, Grenzwertüberschreitungen, Filterungen, Datenkomprimierungen)	<input type="checkbox"/>
Beschreibung der Anforderungen an ein ggf. zu etablierendes Alarmierungssystem/Alarmkette, ggf. Störungsannahme / Rufbereitschaft	<input type="checkbox"/>
Beschreibung der Anforderungen an die Datenübergabe an AG (vgl. ADA)	<input type="checkbox"/>
Beschreibung der Anforderungen an das Datenmanagement (Datenablage, Archivierung (datei- oder datenbankbasiert), Informationen zur Metadatenablage)	<input type="checkbox"/>
Anforderungsbeschreibung an die Datensicherheit und den Datenschutz	<input type="checkbox"/>
Beschreibung der Anforderungen an Wiederherstellung Betriebsbereitschaft bei Störungen	<input type="checkbox"/>
Beschreibung der Anforderungen an das Berichtswesen und anderer Maßnahmen zur Qualitätsüberwachung	<input type="checkbox"/>
Anforderungen an Rückbau und Wiederherstellung Vorabzustand (Korrosionsschutz, Verfüllen von Bohrlöchern)	<input type="checkbox"/>
Leistungsverzeichnis bei konkreter Ausschreibung:	
Ausführungsplanung zum Monitoringsystem (Phase 3): Erstellen von Ausführungsplänen, Vorlage der Ausführungsplänen bei AG bzw. Prüfsachverständigen des AG, Planung Zugangstechnik, Sperrpausen, Verkehrssicherung	<input type="checkbox"/>
Messtechnik-Installation (Phase 4): Einbau Messtechnik, Plausibilitätskontrolle Messtechnik, Kalibrierung Messtechnik, Sicherstellung Dauerhaftigkeit, Dokumentation der Installation und der Kalibrierung, Vorlage Bestandsunterlagen beim AG	<input type="checkbox"/>
Betrieb des Monitoring (Phase 5): Anzeige Messwerte in Dashboard, Ermittlung von Alarmwerten, regelmäßige Berichte von Zeitverläufen und Zustand des Messsystems, Auswertung im Sinne der Zielstellung, Datenübertragung, -speicherung, -archivierung, Handlungen entsprechend Alarmplan, Instandhaltung und ggf. Austausch von Messtechnik	<input type="checkbox"/>

Tabelle 5: Checkliste für Ausschreibung und Vergabe: Monitoringausführung

8.5 Vertragsgestaltung und Haftung: Monitoringausführung (Phasen 3-5)

Allgemeines:	
Bei Vertragsgestaltung und Haftungsfragen sollten Vorgaben und Hinweise anerkannter Richtlinien (z.B. [2]) berücksichtigt werden.	<input type="checkbox"/>
Die Vertragsgestaltung unterliegt den Vorgaben des HVA F-StB Abschnitt 1.4 „Vertragsbedingungen“	<input type="checkbox"/>
Vertragsbedingungen nach HVA F-StB Abschnitt 1.4:	
Festlegung der besonderen Vertragsbedingungen: Termine und Fristen, Haftpflichtversicherungen, ergänzende Vereinbarungen, Datenschutz	<input type="checkbox"/>
Festlegung der geltenden technischen Vertragsbedingungen (TVB)	<input type="checkbox"/>
Festlegung der allgemeinen Vertragsbedingungen (nach AVB F-StB)	<input type="checkbox"/>
Ergänzende Vereinbarungen:	
Vereinbarung des maximal zulässigen Ausfalls von Komponenten des Monitoringsystems	<input type="checkbox"/>
Vereinbarung zur Erbringung von Plausibilitätsnachweisen zu den Messergebnissen und/oder den Auswertungsergebnissen zur Inbetriebnahme und ggf. in der Betriebszeit	<input type="checkbox"/>
Vereinbarung zur Übernahme des Risikos von Verlust oder Beschädigung von Komponenten des Monitoringsystems	<input type="checkbox"/>
Vereinbarung zur Verfügungstellung der Energieversorgung	<input type="checkbox"/>
Vereinbarung zum Datenmanagement (Vorhaltezeiten, Datenformate, Datenträgerart oder Datenbanksystem), vorzugsweise in Form der Auftraggeber-Datenanforderung (ADA)	<input type="checkbox"/>
Vereinbarung zur Berichterstattung (Form und Umfang, Zeitpunkte (Ausführungsplanung, Inbetriebnahme, im Betrieb, Schlussbericht))	<input type="checkbox"/>
Vereinbarung zur Alarmierung und zu Handlungsprotokollen bei der Installation von Alarmketten	<input type="checkbox"/>
Wenn angebracht, Vereinbarung für den Fall eines außerplanmäßigen Abbruchs des Monitorings (z.B., wenn Monitoringziel obsolet wird)	<input type="checkbox"/>
Vereinbarung zu Abrechnungs- und Zahlungsmoden	<input type="checkbox"/>
Abrechnung- und Zahlungsmoden:	
Abrechnung Ausführungsplanung nach Aufwand, u.U. pauschal	<input type="checkbox"/>
Abrechnung Monitoringsysteme nach Komponenten	<input type="checkbox"/>
Abrechnung Installation nach Aufwand, u.U. pauschal	<input type="checkbox"/>
Abrechnung Messwerterfassung z.B. nach Zeitraum und Messsystem	<input type="checkbox"/>
Trennung von Kosten für Planung und Installation von den Kosten des Betriebs	<input type="checkbox"/>
Bei langen Messzeiträumen: Berücksichtigung von Kostensteigerungen, z.B. prozentual pro Kalenderjahr	<input type="checkbox"/>

Mängelansprüche / Haftung:	
Regulierungen zu Haftungsfragen sind in AVB F-StB festgelegt	<input type="checkbox"/>
Mängelansprüche nach Werkvertragsrecht verjähren i.d.R. nach fünf Jahren, zehnjährige Verjährungsfrist in begründeten Fällen (z.B. Korrosionsmonitoring) rechtlich möglich	<input type="checkbox"/>
Haftung AG und AN gemäß gesetzlicher Vorschriften	<input type="checkbox"/>
Nachweis Berufshaftpflichtversicherung durch AN, Festlegung Deckungssumme z.B. über Zeitwertermittlung des Bauwerks	<input type="checkbox"/>

Tabelle 6: Checkliste für Vertragsgestaltung und Haftung: Monitoringausführung

9 Literatur

- [1] Wedel, F.; Pitters, S.; Hille, F.; Herrmann, R.; Schneider, R.: Leitfaden – Strategischer Einsatz von Monitoring für Ingenieurbauwerke – *Veröffentlichung in der BAST Schriftreihe in Vorbereitung*. 2024,
- [2] Deutscher Beton- und Bautechnikverein: Merkblatt: Brückenmonitoring. 2018,
- [3] DGZfP: Merkblatt B 09 – *Dauerüberwachung von Ingenieurbauwerken*. 2022,
- [4] Marzahn, G.; Anwander, K.; Mertens, M.; Morgenthal, G.; Pinnel, R.: Bauwerksprüfung nach DIN 1076 . Bautechnik 1002023, H. 11 - <https://doi.org/10.1002/bate.202300090>
- [5] DIN 1076:1999: DIN 1076: Ingenieurbauwerke im Zuge von Straßen und Wegen - Überwachung und Prüfung.
- [6] Bundesministerium für Verkehr, Bau und Stadtentwicklung: Richtlinien für die Erhaltung von Ingenieurbauten RI-ERH-ING - Leitfaden Objektbezogene Schadensanalyse (OSA). 2007,
- [7] Strauss, A.; Ivankovic, A. M.; Mold, L.; Bergmeister, K.; Matos, J. C.; Casas, J. R.: Performance-Indikatoren für die Bewertung von Strukturen aus Konstruktionsbeton auf europäischer Ebene nach COST TU1406 . Bautechnik 952018, H. 2 - <https://doi.org/10.1002/bate.201700104>
- [8] Morgenthal, G.; Rau, S.; Hallermann, N.; Schellenberg, K.; Martín-Sanz, H.; Schubert, M.; Kübler, O.: Potenziale von Monitoringdaten in einem Lebenszyklusmanagement für Brücken Heft 190. Berichte der Bundesanstalt für Straßenwesen B, Brücken- und Ingenieurbau. Bremen: Fachverlag NW in der Carl Ed. Schünemann KG. Juni 2023,
- [9] Hindersmann, I.: Dauerüberwachung von Bestandsbrücken – Quantifizierung von Zuverlässigkeit und Nutzen. Berichte der Bundesanstalt für Strassenwesen - Brücken- und Ingenieurbau (B), Berichte der Bundesanstalt für Strassenwesen - Brücken- und Ingenieurbau (B) B163, 2021,
- [10] Wenner, M.; Käding, M.; Marx, S.: Messtechnische Überwachung bei Brückenbaumaßnahmen . Bautechnik 952018, H. 1 - <https://doi.org/10.1002/bate.201700101>
- [11] BMVI Handreichungen und Leitfäden – Teil 6 – Steckbriefe der wichtigsten BIM-Anwendungsfälle. Arbeitsgemeinschaft BIM4INFRA2020 [online]2019. https://www.bimdeutschland.de/fileadmin/media/Downloads/Download-Liste/BIM4INFRA/3_6_BIM4INFRA2020_AP4_Teil6.pdf [Zugriff am: 1. Feb. 2024].
- [12] BMVBS: Richtlinie zur Durchführung von Wirtschaftlichkeitsuntersuchungen im Rahmen von Instandsetzungs-/Erneuerungsmaßnahmen bei Straßenbrücken (RI-WI-BRÜ). 2004,
- [13] Straub, D. et al.: Value of information: A roadmap to quantifying the benefit of structural health monitoring in: ICOSSAR - 12th International Conference on Structural Safety & Reliability, 2017,
- [14] Thöns, S.: On the Value of Monitoring Information for the Structural Integrity and Risk Management . Computer-Aided Civil and Infrastructure Engineering 332018, H. 1 - <https://doi.org/10.1111/mice.12332>
- [15] Schubert, M.; Faber, M. H.; Betz, W.; Straub, D.; Niemeier, E.; Ziegler, D.; Walther, C.; Majka, M.: Wirtschaftlichkeitsuntersuchungen von Monitoringmaßnahmen – *Entwicklung eines Konzepts für die Analyse von Nutzen und Kosten*. Berichte der Bundesanstalt für Straßenwesen B, Brücken und Ingenieurbau, Berichte der Bundesanstalt für Straßenwesen B, Brücken und Ingenieurbau B156, 2020,

- [16] Senatsverwaltung für Stadtentwicklung Berlin: Leitfaden für Wirtschaftlichkeitsuntersuchungen bei der Vorbereitung, Planung und Durchführung von Baumaßnahmen. 2007,
- [17] Dahl, A.; Kindl, A.; Walter, C.; Paufler-Mann, D.; Ross, A.; Waßmuth, V.; Weinstock, F.; Mann, H.-U.: Methodenhandbuch zum Bundesverkehrswegeplan 2030 – FE 97.358. 2015,
- [18] Schmitz, C.: Whitepaper - Die Vorgabe einer zehnjährigen Verjährungsfrist für Mängelansprüche in den AGB des Bestellers. 2022,
- [19] Herrmann, R.; Rabe, J.; Bolle, G.; Marx, S.: Konzepte für Datenqualität und Datenablage bei Entwurf und Umsetzung von Monitoringsystemen/Concepts for data quality and data management at design and implementation of monitoring systems . Bauingenieur 922017, H. 12 - <https://doi.org/10.37544/0005-6650-2017-12-53>

10 Bilder

Bild 1: Der Monitoringprozess inkl. der üblichen Zuständigkeiten in Anlehnung an [2].....	16
Bild 2: Beispiel für die Detailtiefe eines Monitoringkonzepts hinsichtlich Sensorpositionen	17
Bild 3: Beispiel für die Detailtiefe einer Ausführungsplanung hinsichtlich Sensorlage und - montage und Redundanzmessungen.....	19
Bild 4: Geschäftsprozess 1 - Strukturierte Entgegennahme von Daten aus Monitoringprojekten.....	28
Bild 5: Geschäftsprozess 2 - Bereitstellung und Administration von Zugriffsoptionen für Bedarfsträger auf Monitoringdaten	28
Bild 6: Beispielhafte Ordnerhierarchie / Aufbau des Informationscontainers.....	33

11 Tabellen

Tabelle 1: Revisionsstand und -historie.....	30
Tabelle 2: Datenübergabe	33
Tabelle 3: Checkliste für Ausschreibung und Vergabe von Monitoring	36
Tabelle 4: Checkliste für Vertragsgestaltung und Haftung: Monitoringkonzepte.....	37
Tabelle 5: Checkliste für Ausschreibung und Vergabe: Monitoringausführung.....	39
Tabelle 6: Checkliste für Vertragsgestaltung und Haftung: Monitoringausführung	41

