

**Qualitätssicherungskonzept
Intelligente Brücke –
Betriebssicherheit des
ganzheitlichen
lebenszyklusbasierten
Bauwerksmonitorings**

**Fachveröffentlichung der
Bundesanstalt für Straßenwesen**

bast

**Qualitätssicherungskonzept Intelligente Brücke –
Betriebssicherheit des ganzheitlichen lebenszyklusba-
sierten Bauwerksmonitorings**

Projekt F1100.2115003

– Schlussbericht –

Dipl.-Ing. E. Kempkens

Bundesanstalt für Straßenwesen

Bergisch Gladbach, Januar 2021

Inhalt

1.	Konzeption	4
1.1	Systematik Intelligente Brücke	4
1.2	Motivation	6
1.2.1	Problem / Ausgangslage	6
1.2.2	Ziel und Nutzen	7
1.2.3	Vorgehen	7
1.3	Grobkonzept	12
1.3.1	Vorgehensmodell	12
1.3.2	Berücksichtigung abgestufter Anforderungen	13
1.3.3	Projektablaufschema	15
2.	Prozessbezogene und technische Referenzen	17
2.1	Planungs- und Entwicklungsaufgabe	17
2.1.1	Funktionale und technische Rahmenbedingungen	17
2.1.2	Berücksichtigte Grundfunktionalitäten	19
2.2.	Analyse bestehender Regelungen für die abzudeckenden technischen Bereiche	21
2.2.1	Grundlegende Anforderungen an die Software	21
2.2.1.1	Softwareentwicklung	21
2.2.1.2	Softwaretesting	22
2.2.2	Grundlegende Anforderungen an die Hardware	23
2.2.2.1	Hardwareentwicklung und –integration	23
2.2.2.2	Allgemeine technische Standards zum Errichten elektrotechnischer Anlagen	24
2.2.2.3	Umgebungs- und Umwelteinflüsse	25
2.2.2.4	Eigenschaften der Stromversorgung	26
2.2.2.5	Elektromagnetische Verträglichkeit der Komponenten	28
2.2.2.6	Grundsätze zum Aufbau betriebssicherer und zuverlässiger Hardware	29
2.2.3	Anforderungen an die Gesamtanlage	30
2.2.3.1	Funktionale Sicherheit	30
2.2.3.2	Elektromagnetische Verträglichkeit der Gesamtanlage	32
2.2.3.3	Elektromagnetische Umweltverträglichkeit	33
2.2.3.4	Funkanlagen und –module	34
2.2.3.5	Datenübertragung	34
2.2.3.6	IT-Sicherheit	35
2.2.3.7	Erhaltung und Aktualisierung - Verfügbarkeit und Austausch defekter / veralteter Betriebsmittel	38
2.2.3.8	Verwendung gefährlicher Stoffe	38
2.2.3.9	Grundsätze der Anlagendokumentation	38
2.2.4	Bestehende Konzepte und Regelungen zu Gesamtanlagen	39
2.2.4.1	Merkblatt Brückenmonitoring	39
2.2.4.2	Technische Lieferbedingungen für Streckenstationen TLS 2012	39
2.2.4.3	Leit-, Automatisierungstechnik und Überwachung in Straßentunneln	40
2.2.4.4	Echtzeit-Sicherheitsmanagement-System (ESIMAS) in Tunnelleitzentralen	42
2.2.4.5	Leitfaden zum Projekt Cyber-Safe	42
2.3	Musterentwurfsprozess zur Produkt-/Anlagenentwicklung	44
2.3.1	Methodische Entwurfs- und Entwicklungsverfahren	44
2.3.1.1	Grundlagen	44
2.3.1.2	Grundsätzliche Zeitbedarfe	46
2.3.1.3	Verwendung von Standard-Spezifikationsmitteln	46
2.3.1.4	Methodische Hilfsmittel der Informationsgewinnung / Problemanalyse	48
2.3.1.5	Erhöhung von Funktionssicherheit und Zuverlässigkeit im Entwurfsstadium	52

2.3.1.6	Entwurfsbegleitende Produkt-/Anlagenentwicklungsdokumentation	53
2.3.1.7	Dokumentationen für weitere Zielgruppen	54
2.3.2	Systematische Einbeziehung bestehender Regelungen in den Entwurfsprozess	56
2.3.3	Projektbeteiligte / Zuständigkeitsbereiche	58
3.	Zusammenführung der Ergebnisse zu einem Regelwerk Intelligente Brücke	67
4.	Zusammenfassung	69
5.	Literatur	71
Anlage A:	Ergänzungen zu: Grundlegende Anforderungen an die Software	74
Anlage B:	Ergänzungen zu: Grundlegende Anforderungen an die Hardware	77
Anlage C:	Ergänzungen zu: Grundlegende Anforderungen an die Gesamtanlage	84
Anlage D:	Ergänzungen zu: Musterentwurfsprozess zur Produkt-/Anlagenentwicklung	87
Anlage E:	Datenerfassung an Streckenstationen	100
Anlage F:	Vorschläge zur Standardisierung der Beschreibung von Sensorik	102
Anlage G:	Perspektivisch zu erstellende Regelungsdokumente	107

1. Konzeption

1.1 Systematik Intelligente Brücke

Das Bundesfernstraßennetz (BFStr), das mit seiner zentralen Lage in Europa die Hauptlast des europäischen Binnenmarktes mit zunehmend steigenden Verkehrsaufkommen zu tragen hat, beinhaltet über 39.650 Brückenbauwerke mit einer Brückenfläche von ca. 31 Mio m². Das Gesamtanlagevermögen dieser Bauwerke beträgt über 50 Mrd. Euro [1, 2].

Für die Erhaltung dieser Bauwerke ist die kontinuierliche Beobachtung und Prüfung des Bestandes eine wichtige Aufgabe der Straßenbauverwaltungen. Zustandsnoten ergeben sich aus regelmäßigen, handnah durchgeführten (Sicht-)Prüfungen im Rahmen der Bauwerksprüfungen nach DIN 1076 und berücksichtigen Schadensbewertungen hinsichtlich Standsicherheit, Dauerhaftigkeit und Verkehrssicherheit. Die Straßenbauverwaltungen verwenden die Ergebnisse der Bauwerksprüfung als Grundlage für ihre Erhaltungsplanungen. Die derzeitige Vorgehensweise ist in erster Linie schadensbasiert und reaktiv, da Schäden im Rahmen von turnusmäßigen Überprüfungen erst entdeckt werden, wenn sie offensichtlich sind und zu diesem Zeitpunkt oftmals zu hohen Instandhaltungskosten führen.

Um auch perspektivisch unter begrenzten Budgetvorgaben eine zuverlässige Straßeninfrastruktur aufrecht erhalten zu können, ist es notwendig, neue innovative Ansätze in das Erhaltungsmanagement zu integrieren, die eine frühzeitige Schadenserkenkung ermöglichen. Dieses insbesondere hinsichtlich einer Zustandserfassung der Bauwerke, idealerweise auch in Echtzeit.

Notwendig ist daher die jeweilige Entwicklung und Umsetzung eines bauwerksindividuell anpassbaren modularen Systems zur Bereitstellung relevanter Informationen über Einwirkungs- und Widerstandsveränderungen an Brückenbauwerken einschließlich einer bauwerksgerechten, zustandsparameterübergreifenden Bewertung der vorliegenden Situation. Dies kann durch eine objektbezogene, d. h. bauwerksindividuelle Auslegung der Instrumentierung von Bauwerken mit Sensorik realisiert werden.

Derart gewonnene Sensordaten sollen im Bereich der BFStr zu (a) Fernüberwachungs-

zwecken in Echtzeit sowie (b) zur Prognose der Zustandsentwicklung und Restnutzungsdauer mittels programmgestützter Brückenbauwerks-Schädigungs- und Strukturmodelle dienen, in denen Schädigungsaspekte von Bauteilen und ihre statische Relevanz in Bezug auf das Gesamtbauwerk miteinander verknüpft sowie nachfolgend bewertet werden (Bild 1.1).

Perspektivisch könnten durch das System (c) über Schnittstellen Informationsdaten für andere Verkehrsinfrastrukturelemente in Echtzeit (z. B. telematische Anwendungen) bereitgestellt werden. Zudem könnte in Echtzeit ggf. eine kontinuierliche Gewinnung von Daten für die (zustandsbezogene) Steuerung von Bauwerksparametern bzw. -funktionen erfolgen.

Die *Systematik Intelligente Brücke* (vgl. auch Website www.intelligentebruecke.de) ist als *methodischer Ansatz* somit:

- ein standardisierter lebenszyklusbasierter Ansatz zur kontinuierlichen Bereitstellung relevanter Informationen zur Bewertung von Sicherheit, Zuverlässigkeit und Restnutzungsdauer,
- mit Anspruch auf Einbeziehung sämtlicher relevanter Risiken in ganzheitlicher Weise („all hazard“),
- mit dem *Schwerpunkt Neubau und Bestand* (in letzterem Fall Bauwerksanalyse erforderlich),
- der Validierung und Prognose mit Modellen (Schädigungs- und Strukturmodelle), bauwerksbezogene Aussagen / reduziertes Datenvolumen,
- und definierten Schnittstellen zum Erhaltungsmanagement.

Sie ermöglicht daher ein *prädiktives* Erhaltungsmanagement, d. h. ist ein auf Vorhersagen beruhendes Instrument der Ergänzung zur Bauwerksprüfung.

Dauerüberwachung und Monitoring hingegen sind:

- zeitbegrenzt oder dauerhaft,
- zur Klärung einer spezifischen oder erwarteten Problemstellung am Bauwerk,
- objektbezogen mit *Schwerpunkt Bestand*,
- mit einer vornehmlich ingenieurmäßigen Interpretation der Erfassungsdaten.

Sie sind daher vornehmlich ein Hilfsmittel zur Unterstützung des *reaktiven* Erhaltungsmanagements.

Nutzen der Systematik Intelligente Brücke

Durch die permanente Zustandskontrolle in Echtzeit wird es ermöglicht, Schäden an Infrastrukturen durch frühzeitiges Eingreifen zu reduzieren. Langfristig können so durch die Optimierung von Wartungs- und Instandsetzungsintervallen die Erhaltungskosten der Bauwerke minimiert werden. Intelligente Brücken haben einen unterstützenden Charakter für die Bauwerksprüfung und sind somit Grundlage eines zuverlässigkeitsorientierten prädiktiven Erhaltungsmanagements.

Hierbei sind folgende Aspekte von Bedeutung:

- Qualitätssicherung und Funktionskontrolle durch umfassende Überwachung,

- Sicherheitsgewinn durch frühzeitiges Erkennen von Veränderungen,
- Zuverlässigkeitsanalysen zur Sicherstellung der Verfügbarkeit,
- Optimierung von Erhaltungsmaßnahmen, Verifizierung der Wirksamkeit,
- Überwachung von Nutzungsauflagen,
- Neutrale, qualitätsgesicherte Messdaten,
- Tatsächliche Einwirkungs- und Beanspruchungsgrößen als Eingangparameter für weitergehende Analysen,
- Einbeziehung technologischer Entwicklungen für den Bauwerksbereich.

Zusammenfassend wird durch den Einsatz intelligenter Brücken eine nachhaltige Effizienzsteigerung im Hinblick auf ökologische, ökonomische und gesamtgesellschaftliche Aspekte ermöglicht.

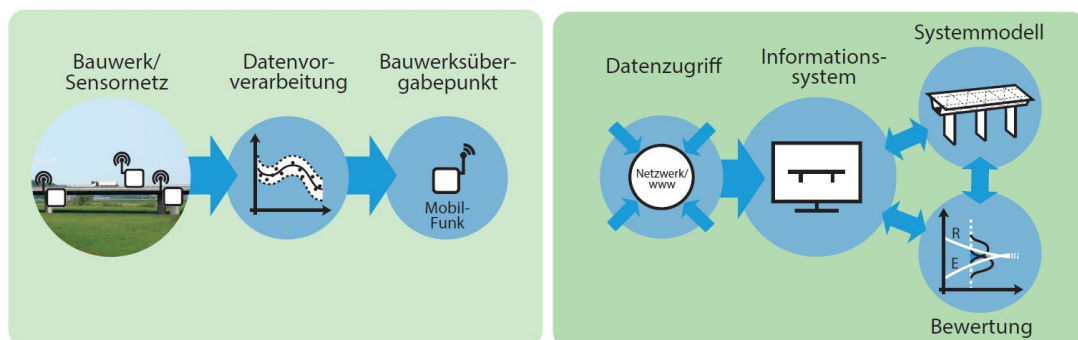


Bild 1.1: Systematik Intelligente Brücke – modular anpassbare Systeme zur Erfassung und ganzheitlichen Bewertung relevanter Informationen von Einwirkungs- und Widerstandsveränderungen an Brückenbauwerken [3]

1.2 Motivation

1.2.1 Problem / Ausgangslage

Bisherige Aktivitäten

Im Rahmen des Forschungsclusters „Intelligente Brücke“ wurden vielschichtige Untersuchungen zu verschiedenen Teilbereichen der Intelligenten Brücke, insbesondere zu einsetzbarer Sensorik, Messdatenverarbeitung, Schadens- und Strukturmodellen von Ingenieurbauwerken sowie Energieautarkie vorgenommen (vgl. zur Übersicht u. a. Bericht F1100.2111013 „Intelligente Brücke - Qualitätsmanagement und Koordination des Themenschwerpunkts“ [4] bzw. die Website zur Intelligenten Brücke www.intelligentebuecke.de). Mit Umsetzung von ersten prototypischen Anlagen auf der BAB 9 / BAB 3 im Rahmen des Digitalen Testfeldes Autobahn bei einem zweispurigen Ersatzbauwerk im Autobahnkreuz Nürnberg sowie dem Demonstrations-, Untersuchungs- und Referenzareal duraBAST im Autobahnkreuz Köln Ost (BAB 3 und BAB 4) werden derzeit erste praktische Erfahrungen gesammelt.

Fehlendes Regelwerk Intelligente Brücke

Parallel hierzu und auf Grundlage dieser Erfahrungen werden aktuell Vorbereitungen zur Überführung des bisher erreichten Erkenntnisstandes in ein Regelverfahren vorgenommen. Neben grundsätzlichen konzeptionellen Überlegungen steht hiermit als weiterer Schritt perspektivisch die Erarbeitung vertraglicher Grundlagen für die technische Realisierung der Systematik Intelligente Brücke an.

Die Aufgabe umfasst daher die Überführung des funktionalen und technischen Realisierungs-niveaus von Versuchsaufbauten für Forschungszwecke, prototypischen Umsetzungen sowie zeitbegrenzten anlagentechnischen Lösungen von Dauerüberwachungen zu Auslegungen zu gelangen, die über den Lebenszyklus des Bauwerks hinweg betriebssicher, wartungs-, erhaltungs- und aktualisierungsfähig sowie gegenüber sich ggf. ändernden Vorschriften und Auflagen konform betrieben werden können. Somit können funktionale und technologische Ansätze, wie sie sich beim Monitoring bzw. bei der Dauerüberwachung etabliert haben, nur Ausgangspunkt weiterer Betrachtungen für den Lebenszyklusansatz der Systematik Intelligente Brücke sein. Dies wird insbesondere dann deutlich, wenn die Instru-

mentierung am Bauwerk zukünftig als *integraler Bestandteil* dieses verstanden wird - vergleichbar einer lebenszyklusbasierten technischen Gebäudeausstattung (TGA) im Hochbau, z. B. elektrische Installationen (Strom- und Telekommunikation-/Telemedierversorgung, Brandschutzanlagen u.s.w.). Entwurf und technische Umsetzung sind daher auch im Hinblick hierauf in Teilen neu zu bewerten und fortzuentwickeln.

Funktionen der Systematik Intelligente Brücke

Werden fortlaufend Zustandsinformation am Bauwerk erfasst und bereitgestellt, werden sich – auch vor dem Hintergrund steigender Vernetzung von Systemen (vgl. hier auch „Internet der Dinge“, „Industrie 4.0“) - erfahrungsgemäß rasch weitere Formen von Daten-Nutzungen etablieren.

Neben der zunächst ursprünglich angedachten *Fernüberwachungs-* sowie *Analyse- und Prognosefunktion* der Systematik Intelligente Brücke wären zudem (*Verkehrs-*)*Statusinformationsfunktionen* z. B. für den telematischen Bereich sowie *Steuerungsfunktionen* z. B. automatisierte Auslösung von Aktionen, u. a. die zustandsgesteuerte Aktivierung von Kathodischem Korrosionsschutz als Schutzsystem (vgl. Projekt SMART-DECK, www.bast.de) bzw. Steuerung von Bauwerksparmetern bzw. -funktionen mittels Aktoren denkbar (vgl. exemplarisch Voruntersuchungen zu ersten Ansätzen in diese technologische Richtung FE 88.0107/2010 „Entwicklung einer adaptiven Spannbetonstruktur mit lernfähigen Fuzzy-Regelungssystem“ [5]).

Sicherheitsanforderungen und Echtzeitbetrieb

Gerade für letztgenannte Bereiche kann es zu einer deutlichen Erhöhung der betrieblichen Anforderungen an die Anlage, insbesondere der funktionalen Sicherheit kommen, da in diesem Fall Ausfälle und Betriebsstörungen das Steuergeschehen stark beeinflussen sowie zu Folgeschäden führen können. Auch werden für die letztgenannten Bereiche ggf. erhöhte Anforderungen an die *Echtzeitfähigkeit* gestellt – diese wird üblicherweise definiert als *Verzögerungen* von erfassten Zuständen und zugehörigen Reaktionen der Anlage *innerhalb weniger Millisekunden*.

Zudem kann bei der Systematik Intelligente Brücke als *vernetztes System* die *IT-Sicherheit* gefährdet sein z. B. durch Einrichtung einer Fernwartungsmöglichkeit, so dass dies im Bedarfs-

falle ebenfalls zu berücksichtigen ist. Die Anlagen sind in der technischen Praxis daher im Regelfall nicht mehr als isolierte Funktionseinheiten zu betrachten.

1.2.2 Ziel und Nutzen

Grundlagen für Regelwerk Intelligente Brücke

Übergeordnetes Ziel ist die Erarbeitung eines Regelwerks für die Systematik Intelligente Brücke (Regelwerk IB). Regelwerke formulieren und definieren Regeln funktionaler und technischer Ausgestaltung und dienen der Festlegung von Mindestanforderungen in beiden Bereichen. Eine Entwicklung maßgeschneiderter Lösungen soll hierbei möglich sein. Als Werkzeug zur Ermittlung und Festlegung des bauwerksindividuell erforderlichen funktionalen und technischen Realisierungsniveaus sollen sie zudem unterstützen, Leistungsbeschreibungen mit überprüfbaren Anforderungen zu erstellen sowie ausgeführte Anlagen auf ihre eingehaltene Spezifikation hin anhand zuvor erarbeiteter AbnahmeprozEDUREN und -KRITERIEN zu überprüfen und abzunehmen.

Die Funktionsgruppen der Intelligenten Brücke am *Bauwerk* und *beim Anwender* müssen darüber hinaus der jeweils aktuellen Vorschriftenlage entsprechen - sowohl zum Zeitpunkt der Errichtung und als auch während des Betriebs im Lebenszyklus der Anlage (ggf. durch Nachrüstung). Es wird konzeptionell eine Angleichung des Lebenszykluses der zu erstellenden Anlage an die des Bauwerks angestrebt, was insbesondere Auswirkungen auf die Anforderungen an Dauerhaftigkeit, Wartungs- und Aktualisierungsfähigkeit hat.

Gegenüber der bislang im Vordergrund stehenden Aufgabe des reinen Nachweises der Machbarkeit z. B. an Versuchsaufbauten steht hier nun das Ziel der Bereitstellung von Mitteln zur Erzeugung standardisierter, ergebnissicherer Planung, Entwicklung und Umsetzung von Anlagen nach dem jeweiligen Stand der Technik *als Regelprozess* im Vordergrund. Die Ausgestaltung der Anlage soll hierbei zwar bauwerksindividuell, aber nach *einheitlichen standardisierten* funktionalen und technischen Gestaltungsgrundsätzen erfolgen.

Dies dient insbesondere dem Gesamtziel der Sicherstellung eines robusten Betriebs bei den über den Lebenszyklus vorherrschenden Betriebs-

einflüssen („Einwirkungen“) bzw. Wechselwirkungen mit der Umgebung der Anlage („Widerstände“).

Einrichtung eines Qualitätssicherungskonzepts

Vor diesem Hintergrund ist ein *Qualitätssicherungskonzept* zu erarbeiten bzw. einzubeziehen, welches das Ziel einer regel- und anforderungsgerechten Auslegung der Anlage ermöglicht, insbesondere auch im Hinblick auf die *Betriebssicherheit*. Durch dieses auch als Standardisierung gedachte Instrument lassen sich festgelegte Spezifikationen einhalten und mögliche Planungs-, Entwurfs-, Entwicklungs-, Ausführungs- und Wartungsfehler sowie Schwächen hinsichtlich einer Aktualisierungs- und nachträglichen Erweiterungsfähigkeit der Anlage gezielt vermeiden bzw. deutlich reduzieren. In der Folge lassen sich auch Aufwands-, Zeit- und Kostenpläne besser einhalten, was den Projektablauf stabilisiert.

Erzielter Nutzen für das Regelwerk

Die o. g. nachstehend zusammengefassten grundlegenden Anforderungen an Planung, Entwicklung, Ausführung, Wartung, Erhaltung, Aktualisierung, Erweiterung und Rückbau der Anlage

- Standardisierung,
- Regelkonformität,
- Anforderungskonformität,
- Betriebssicherheit,
- Dauerhaftigkeit,
- Wartbarkeit / Erhaltbarkeit,
- Aktualisierbarkeit / Erweiterbarkeit sowie
- Wirtschaftlichkeit

sind auch gleichzeitig die *wesentlichen Nutzenaspekte*, die mit dem zu erstellenden Regelwerk verbunden sind.

1.2.3 Vorgehen

Somit ist die Systematik Intelligente Brücke in einem erforderlichen weiteren *qualitativen Schritt* aus dem Forschungs- und Erprobungsbereich in einen standardisierten und damit geregelten und spezifizierten Bereich zu überführen sowie hierbei bereits etablierte Verfahrensweisen im Sinne von Best-Practice-Ansätzen nutzbar zu machen. Von der Themenstellung der Studie stehen hierbei insbesondere Betriebssicherheit und Qualitätssicherung im Vordergrund.

Nutzung vorhandener technischer Regeln und Verfahren

Die Funktionsgruppen der Systematik Intelligente Brücke werden als technische Anlage nahezu ausschließlich mit elektrischen, elektronischen, mechatronischen bzw. Mitteln der Informationstechnologie als Basis-Technologien realisiert. Diese Bereiche sind erfahrungsgemäß bereits umfänglich von prozessbezogenen bzw. technischen Standardisierungen u. a. in Form von Qualitätssicherungs- bzw. Industriestandards sowie Fachgrund-, Produkt-, Prüf- oder Anforderungsnormen erfasst. Somit ist es schon aus Aufwandsgründen sowie zur Verschlinkung von Spezifikationsprozessen naheliegend, sich an bereits bestehenden, erprobten und bewährten Standardisierungen, Strategien / Verfahrensweisen und diesbezüglichen Vorgaben aus Bereichen mit vergleichbaren technischen Aufgabenstellungen im Sinne von Best Practice zu orientieren. Bei der Analyse, Auswertung und Bewertung von bereits verfügbaren, sinnvoll verwendbaren Regeln für die bei der Systematik Intelligente Brücke technologisch abzudeckenden Fachgebiete sind somit nachstehende Bereiche mit einzubeziehen, u. a. verschiedene Arten von IT-gesteuerten Produkten, technischer Anlagenbau, industrielle Messtechnik, Prozesssteuerung bzw. Prozessleittechnik. Wesentlich ist hier eine *aufgabenbezogene Übertragung* bereits vorhandener und ausgearbeiteter Konzepte, Anforderungsvorgaben und Gestaltungsgrundsätze im Hinblick auf die Systematik Intelligente Brücke.

Die Einbindung o. g. Vorgaben zur Formulierung des Grundkonzepts sowie technischer Mindeststandards formt hiermit das standardisierte Konzept der Intelligente Brücke. Die zusammengestellten Anforderungen an die Anlage können hierbei situations- bzw. bauwerksbezogen im Sinne eines (*Anforderungs-*)*Baukastensystems* einbezogen werden. Somit wird diese Einbeziehung der für die Projektumsetzung erforderlichen Anforderungen bauwerks- und aufgabenindividuell erfolgen.

Hierbei werden viele recherchierte Regelungsinhalte aufgrund der fachtechnischen Inhalte und ihrem Regelungscharakter nach zukünftig eher Merkblattcharakter haben bzw. ihren Niederschlag in Form von *Richtlinientext* finden.

Entwurfs- und Entwicklungsverfahren des Soft- und Hardware-Engineerings als übergeordnetes Qualitätssicherungsinstrument

Dass erforderliche Eigenschaften und Merkmale in Form von Anforderungen bereits *vollständig* zu Beginn objektbezogener Planungen mitberücksichtigt und spezifiziert werden, ist insbesondere Aufgabe von *strukturierten Entwurfs- und Entwicklungsprozessen*, wie sie in o. g. technischen Bereichen gängige Praxis sind (vergleichbar der Planung und des Entwurfs komplexer Bauvorhaben). Unabhängig vom Grad der Komplexität einer technischen Anlage sind *umfangreiche Qualitätssicherungselemente* (bis hin zur Ebene von Zertifizierungen) integraler Bestandteil dieser Verfahren. Sie stellen damit eine *wesentliche Qualitätssicherungsstrategie* für den Entwurf technischer Anlagen dar.

Diese aus dem Bereich des (kombinierten) Soft- und Hardware-Engineerings stammenden Entwurfs- und Entwicklungsverfahren stellen daher ein wirksames und effizientes Werkzeug zur Erreichung zuvor spezifizierter Anforderungen technischer Anlagen dar. Auch können im Rahmen von Aktualisierungen Produkte / Baugruppen (z. B. Sensorik) nachentwickelt werden. Eine simultane Entwicklung von Prozeduren zur Überprüfung und Dokumentation der geforderten Spezifikationen ist ebenfalls integraler Bestandteil. Ebenso die Erzeugung einer autorisierten und damit belastbaren fortlaufenden Dokumentationslage als aktuelle „Aktenlage“ der Entwicklung. Durch Wahl und Vorgabe *vereinheitlichter Spezifikations- und Dokumentationsmittel* wird zudem das technische Niveau der Entwurfs- und Entwicklungsaktivitäten gesteuert. Der Entwurfs- und Entwicklungsprozess mit seinen Tätigkeiten und Ergebnissen bleibt für alle Projektbeteiligten dauerhaft transparent und somit auch für die Steuerung durch den Auftraggeber überprüf- und bewertbar. Als Zwischenergebnisse der einzelnen Entwurfsschritte zur „betriebsfertigen Anlage“ werden standardmäßig als entwurfsbegleitende (Produkt- bzw.) Anlagenentwicklungsdokumentation die überprüfbaren *verbindlichen Entwurfsprodukte* „Leitkonzeption“, „Lasten- und Pflichtenheft“, „Systementwurf“ und „getestete Module und Subsysteme“ erzeugt, welche durchgängig Transparenz erzeugen und technische Kommunikation erlauben sowie durch den

Auftraggeber vor Einleitung der nächsten Entwicklungsphase z. T. freizugeben sind.

Auch ermöglichen und gewährleisten diese Mittel im Bedarfsfall einen einfachen *projektübergreifenden Austausch* von Informationen und Bearbeitungsständen mit verschiedenen Akteuren (z. B. das Teilen von Konzepten und Umsetzungen zur Etablierung der Systematik Intelligente Brücke). Zudem muss eine Interpretationsfähigkeit und Nachvollziehbarkeit der Dokumentation über den Lebenszyklus der Anlage gegeben sein.

Eine verfahrensbedingte Trennung von *funktionaler* und *technischem Entwurf* vereinfacht zudem eine technische Aktualisierung sowie funktionale Erweiterung zu späterem Zeitpunkt, da auf dem funktionalen Entwurf aufgesetzt werden kann (dieser ist von „zeitloserer Qualität“). Auch bei einem möglichen frühzeitigen Abbruch von Entwicklungsaufträgen können durch diese Trennung die Arbeiten einfacher wieder aufgenommen werden. Vielfach noch angewendete ausschließlich technologie- und realisierungsorientierte Entwurfsansätze – welche den Zwischenschritt des funktionalen Entwurfs nicht vollziehen – sind aufgrund ihrer Unflexibilität sowie des raschen Veraltens von Konzepten auf der technischen Ebene für Anlagen mit gefordertem langem Lebenszyklus nachteilig bzw. nicht sinnvoll anwendbar.

Möglicher Mehraufwand bei der Erstellung eines derart erzeugten vollständigen Entwurfs mit zuvorigem erschöpfendem Zu-Ende-Gestalten auf der „Papierebene“ (= ausentwickelte Anlage) und somit umfangreicherer Dokumentenlage wird erfahrungsgemäß durch eine weniger aufwandsintensive Ausführungsphase sowie schlankere InbetriebnahmeprozEDUREN mehr als kompensiert, was bei erhöhter Ausführungsqualität die gesamte Projektabwicklung unterstützt.

Standardisierung unterstützt Betriebssicherheit und Wirtschaftlichkeit

Der Aspekt der *Standardisierung des Anlagendesigns* für deren Einsatz an individuellen Bauwerken unterstützt das Ziel der Erzeugung von Betriebssicherheit, Wartungs-, Erhaltungs- und Aktualisierungs- und Erweiterungsfähigkeit, da durch Anwendung von Standardelementen (z. B. von Modulen), -architekturen und -prozessen bauwerksindividuelle Planungs-, Entwicklungs- und Ausführungsfehler reduziert werden können.

Vereinheitlichte Gestaltungsansätze sollen darüber hinaus sicherstellen, dass der Grad der Komplexität der Anlagen so gering wie möglich bleibt, gleichzeitig aber eine Skalierbarkeit hinsichtlich des Anlagenumfangs gegeben bleibt. Der Prozess der stetigen Fortentwicklung und Aktualisierung des Regelwerks umfasst planmäßig auch eine fortschreitende Erhöhung standardisierter Elemente in diesem, was aufgrund der fest umrissenen Aufgabenstellung der Systematik Intelligente Brücke in funktionaler und technischer Hinsicht möglich ist.

In den Regelwerksbereichen der Verkehrstechnik und des Tunnelbaus (Verkehrserfassungs- und Verkehrsbeeinflussungsanlagen bzw. Leit-, Automatisierungstechnik und Überwachung in Straßentunneln) wurde ebenfalls der Ansatz umfangreicherer Standardisierung gewählt (vgl. Kap. 2.2.4.2 und 2.2.4.3).

Zusammenführung technischer und prozessbezogener Ressourcen zu einem Vorgehensmodell

Die in der Untersuchung ermittelten Ressourcen bzw. Instrumente *technische Regeln* und *Entwurfs- und Entwicklungsverfahren* (das „WAS“: welche Inhalte und Verfahren sind zu berücksichtigen) werden mit einem Ansatz zur *systematischen Einbeziehung in den Entwurfsprozess* (das „WIE“: wie sind diese zu berücksichtigen) zu einem *Vorgehensmodell* zusammengeführt.

Dieses bildet die Vorgehensweise ab sowohl für den Fall der Entwicklung einer Anlage ohne bislang verfügbares Regelwerk Intelligente Brücke als auch nach Integration in dieses. Hierbei sind erforderliche Anforderungen in abgestufter Weise fakultativ einbeziehbar.

Bei komplexen Anlagenformen wie der Systematik Intelligente Brücke können entwurfsbedingt umfangreiche Aspekte der Betriebssicherheit und Qualitätssicherung nicht ‚pauschal‘ in einem singulären Entwicklungsschritt berücksichtigt bzw. umgesetzt werden. Vielmehr sind diese Aspekte umfänglich zu Beginn in jedem individuellen Entwicklungsschritt von Funktionsgruppen bzw. Anlage bis auf die untersten Funktionsebenen zu berücksichtigen. Diese Form der Berücksichtigung erzeugt in Summe in der Umsetzung des „Entwurfsprodukts“ Anlage dann ‚integrativ‘ die geforderten Eigenschaften („Secure by Design“). Hiermit kommt dem Entwurfs- und Entwicklungsverfahren eine Schlüsselrolle zu, vergleichbar

produktbezogenen Routineprüfungen bei Bauprodukten (Werkseigene Produktionskontrolle bzw. Fremdüberwachung der Produktion). Diese Vorgehensweise erhöht die Wirtschaftlichkeit. Ein „Nachschärfen“ hinsichtlich verfehlter Anforderungen bzw. nachträgliches konzeptionelles „Härten“ gegen Betriebsbedingungen durch nachträgliches „Eintesten“ erforderlicher Anforderungen ist erfahrungsgemäß designbedingt kaum mehr oder nur mit umfänglichen, z. T. zeitaufwändigen und daher unwirtschaftlichen Maßnahmen zu erreichen.

Weitere konzeptionelle Vorgaben

Mit der Formulierung eines Regelwerks geht die Systematik Intelligente Brücke von derzeit einzelnen Erprobungsaufbauten nun „in die Fläche“. Hiermit ist eine bundeseinheitliche Vorgehensweise mit entsprechender Standardisierung verbunden. Hiermit soll zukünftig eine vermehrte Umsetzung bauwerksindividueller prototypischer Anlagen und Lösungen *in der Fläche* vermieden werden. Vereinheitlichung von Architekturen, Bezeichnungen von Betriebsmitteln, Verkabelungen usw. unterstützen auch die Entstehung von Märkten (z. B. für Softwarelösungen) und helfen perspektivisch auch wirtschaftlich bei der Vereinheitlichung von z. B. Wartungs-, Erhaltungs- und Entstörsleistungen, z. B. analog den bewährten Konzepten z. B. aus dem Stromversorgungs-, Telekommunikations- bzw. Bahnbereich.

Hierbei sind auch regelmäßige Überprüfungen durch den Bundesrechnungshof zu Nutzen und Wirtschaftlichkeit von Bundesverfahren zu berücksichtigen.

Grundannahmen

Nachstehend lassen sich für die vorliegende Studie folgende nun grundlegende Annahmen zusammenfassen:

- Nutzung von und Verweis auf *bereits vorliegende Normen und Regelwerke* ist gängige Praxis, erzeugt *Regelkonformität*, beschleunigt den Prozess der Regelwerkserstellung, insbesondere auch durch Reduzierung des zu erstellenden Regelwerksumfangs.
- *strukturierte Entwurfs- und Entwicklungsverfahren* als Standardwerkzeug steigern die *Effizienz* und *Qualität* von Planung, Entwicklung, Ausführung und Abnahme technischer Anlagen, erzwingen als Arbeitsmittel eine

umfängliche *Qualitätssicherung* sowie eine belastbare und vollständige *Dokumentation*.

- *Qualitäts- und Betriebssicherheitsziele* sind bereits von Beginn an aktiv mit in Planung und Entwurf einzubeziehen („Secure by Design“), anforderungsgerechte Produkte / Betriebsmittel sind hier konsequent zu integrieren.
- *Standardisierungen* unterstützen die Umsetzung von Anforderungen an Betrieb und Wirtschaftlichkeit - jede Anlage ist bauwerksindividuell unter Nutzung von im Regelwerk Intelligente Brücke getroffener Standardisierungen zu entwickeln.

Ziel und Aufbau des Berichts

Der vorliegende Bericht stellt ein Dokument zur *Bestandsaufnahme, Überblicksanalyse, technischer Einordnung / Bewertung und Vorstrukturierung* des Themas dar. Als Vorstudie zur Erarbeitung eines künftigen Regelwerks für die Systematik Intelligente Brücke sollen mit einer ersten *Relevanz-Analyse* von Normen, Regelwerken, Verordnungen und Gesetzeslagen, deren Kurzbeschreibung und Nutzbarkeits-Einschätzung sowie deren *anforderungsbezogener systematischer Zusammenstellung* verfügbare und belastbare technologische Grundlagen einbezogen werden. Aus dem Zusammengestellten lassen sich auch Hinweise zur grundsätzlichen technologischen Ausgestaltung von standardisierten Anlagenentwürfen gewinnen.

Der Bericht zeigt auf, welche Anforderungen erforderlichenfalls an vergleichbare technische Anlagen gestellt werden sowie mit welchen Verfahren diese Anforderungen als Leistung erklärt werden bzw. nachgewiesen werden. Damit unterstützt er den o. g. Transfer bewährter erfolgreicher Vorgehensweisen (vgl. Best Practice) aus vergleichbaren technologischen Aufgabenstellungen. Hiermit soll ein maßgeblicher Beitrag zur Standardisierung von Planung, Entwurf und Umsetzung geleistet werden. Zuletzt dient er als *Wissensdokument, Konzeptsammlung* und *Informationszusammenstellung*. Als Arbeitshilfe in Form einer *Arbeitsvorbereitung* zielt er auf die Steuerung nächster einzuleitender Schritte innerhalb des Themas Intelligente Brücke ab.

Zur Umsetzung eines begleitenden Qualitätssicherungskonzepts sowie zur Sicherstellung eines geforderten Betriebssicherheitsniveaus stellt er

für den Prozess der aktuellen Erstellung eines Regelwerks im Sinne eines strukturierten Vorgehens hierbei die Phase „*Informationsgewinnung / Problemanalyse*“ sowie erste Schritte zur *Spezifikation* eines Regelwerkes dar. Das vorgeschlagene *Vorgehensmodell* kann Grundlage für eine Implementierung in dieses sein.

Der Bericht ist in zwei Teile gegliedert. Kap. 1 behandelt als *Grobkonzept* die grundsätzliche Vorgehensweise. In Kap. 2 sind im Sinne eines *Re-*

ferenzteils die Analyseergebnisse zu relevanten Regelungen sowie im Sinne eines Kompendiums verwendbare Entwurfs- und Entwicklungsverfahren mit den zugehörigen Spezifikations- und Dokumentationsmitteln zur Etablierung der technischen Kommunikation zusammengestellt. Die *Anlagen* beinhalten ergänzende Informationen zu Kap. 2.

1.3 Grobkonzept

1.3.1 Vorgehensmodell

Zur methodischen Planung, Entwicklung und Ausführung von Anlagen zur Systematik Intelligente Brücke wird für das zu erarbeitende Regelwerk das nachstehende Vorgehensmodell vorgeschlagen. Zur Einrichtung einer begleitenden Qualitätssicherung sowie zur Erreichung des erforderlichen Betriebssicherheitsniveaus für die jeweiligen Grund-Funktionen der Systematik Intelligente Brücke dienen daher die folgenden Erarbeitungen zu:

- *Analyse bestehender Regelungen aus den abzudeckenden technischen Bereichen* hinsichtlich fakultativ festzulegender Anforderungen an Software, Hardware bzw. Gesamtanlage (→ Kap. 2.2),
- *Einsatz strukturierter Entwurfs- und Entwicklungsverfahren* (→ Kap. 2.3.1),

- *Einbeziehungskonzept* zur Berücksichtigung von Regelungen und Anforderungen (→ Kap. 2.3.2).

Das Modell dient hierbei als Werkzeug, im Regelwerk das technisch erforderliche Realisierungsniveau festzustellen, festlegen und vertraglich formulieren zu können. Es sollten - unabhängig von der Komplexität der konkret zu realisierenden Anlage - mögliche Funktionen und Vernetzungen der Funktionsgruppen bereits im Grundsatz abgebildet werden. Daher werden für das Modell die nachstehenden *Blockschaltbilder* der Komponenten bzw. Funktionsgruppen am Bauwerk und beim Anwender (Zentrale) mit den zugehörigen Datenübertragungsprozessen mit den potenziellen Funktionen zugrunde gelegt (Bild 1.2 und 1.3).

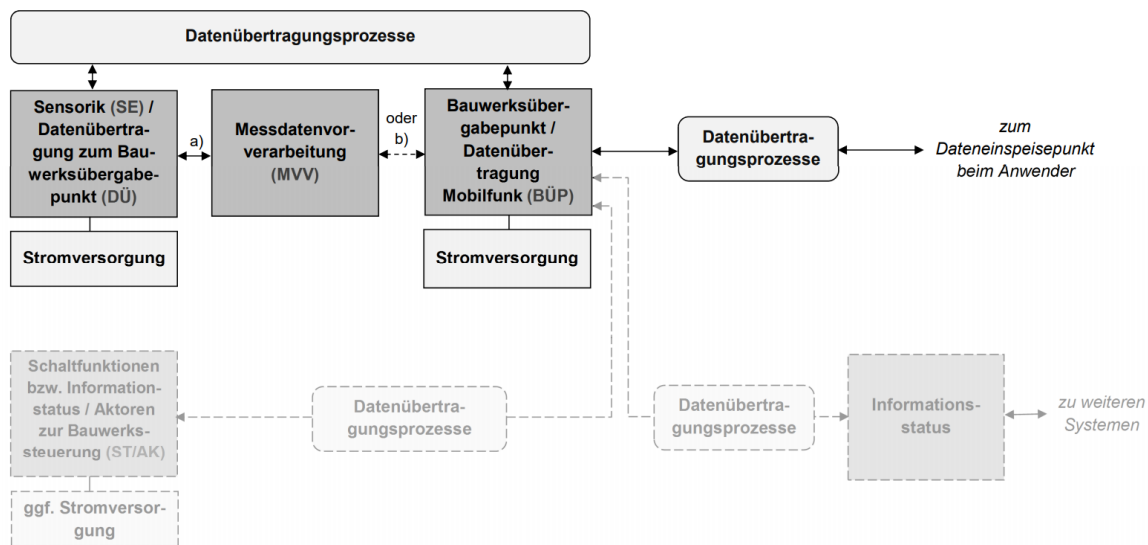


Bild 1.2: Blockschaltbild - Komponenten / Funktionsgruppen am Bauwerk (mit Abkürzungen) mit den zugehörigen Datenübertragungsprozessen

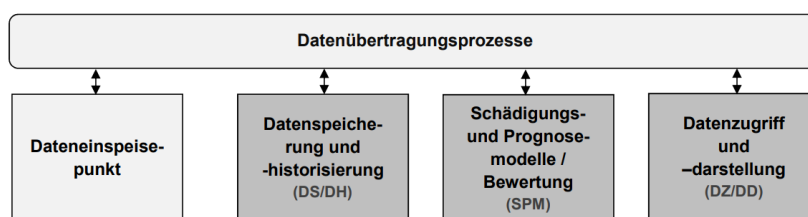


Bild 1.3: Blockschaltbild - Komponenten / Funktionsgruppen beim Anwender / Zentrale (mit Abkürzungen) mit den zugehörigen Datenübertragungsprozessen

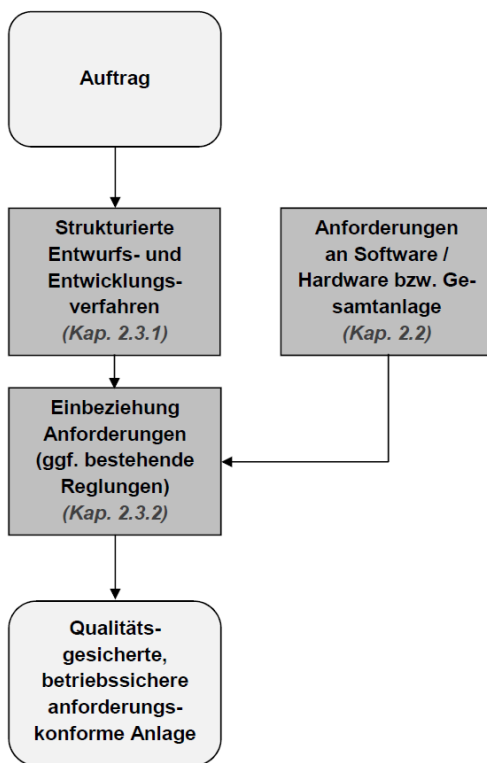


Bild 1.4: Vorgehensmodell zur Einrichtung begleitender Qualitätssicherung und Sicherstellung von Betriebssicherheitsanforderungen

Die Datenübertragungsprozesse beziehen sich auf den Datentransfer zwischen den Komponenten / Funktionsgruppen am Bauwerk (und beim Anwender / Zentrale) als auch vom Bauwerk zum Anwender / Zentrale. Diese können anforderungsbezogen entweder drahtgebunden bzw. drahtlos erfolgen, z. B. Bus-, (W-)LAN- bzw. Internet-basiert.

Bild 1.4 stellt die o. g. Elemente des Vorgehensmodells zur Einrichtung begleitender Qualitätssicherung und Sicherstellung betriebssicherer und anforderungskonformer Anlagen mit ihren Zusammenhängen dar. Fachinhaltliche Zusammenstellungen hierzu befinden sich in Kap. 2.

1.3.2 Berücksichtigung abgestufter Anforderungen

Eine erste *priorisierende Einordnung* von verschiedenen *Anforderungskategorien* kann zu Orientierungszwecken für verschiedene abgestufte Anforderungsniveaus mit Hilfe des in Bild 1.5 dargestellten Schalenansatzes erfolgen. Aus Übersichtlichkeitsgründen sind *inhaltsähnliche Anfor-*

derungen an die Anlage zu *Anforderungskategorien* zusammengefasst worden.

Mit Hilfe des Schalenansatzes wurde *als Hilfsmittel* eine beispielhafte Zuordnung dieser Kategorien zu den drei nachstehenden Schalen bzw. *Anforderungsstufen im Sinne einer Checkliste* vorgenommen (s. u.). Die nachfolgende Stufe bezieht (fakultative) Anforderungen der vorhergehenden Stufen mit ein.

Im Regelfall sind die Anforderungen jedoch erfordernisgerecht, d. h. fakultativ *projektspezifisch* und *funktionsgruppenbezogen* im Sinne eines (*Anforderungs-*)*Baukastensystems* festzulegen.

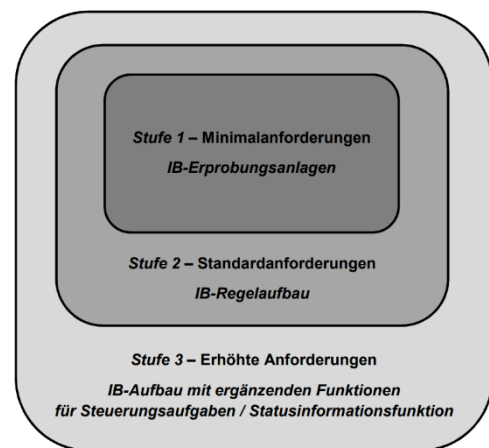


Bild 1.5: Schalenansatz mit Anforderungsstufen

Hinsichtlich der Berücksichtigung von Anforderungen können folgende Fälle (auch in Kombination) auftreten:

- Anforderungen sind für die vorliegende Anlagenrealisierung nicht relevant,
- Anforderungen sind durch Wahl des Anlagendesigns bzw. der Betriebsmittel ohnehin implizit erfüllt (ohne Nachweise),
- Anlagenteile bzw. Betriebsmittel weisen erforderliche Merkmale auf (Konformitätserklärung, Prüfberichte / Zertifikate), z. B. bei der Integration von Hard- und Software,
- Anforderungen sind explizit durch den *Planungs- und Entwurfsprozess* zu erzeugen („Secure by Design“), ggf. auch durch zusätzliche Ausgleichsmaßnahmen (z. B. bei funktionaler Sicherheit) sowie
- Nachweise für Anlagendesign, Anlagenteile bzw. Betriebsmittel sind explizit zu erbringen.

Am Markt befindliche Produkte / Betriebsmittel besitzen oftmals bereits eine Konformitäts- bzw. Leistungserklärung und haben auf diese Weise bereits entsprechende Anforderungen nachgewiesen.

Für die Betriebsmittel / Funktionsgruppen am Bauwerk ist zudem im Regelfall ein Schutz gegen Vandalismus zu berücksichtigen.

Es wird vorgeschlagen, dass sich das zu erstellende Regelwerk Intelligente Brücke im ersten Schritt an der Anforderungsstufe 2 (Standardanforderungen - IB-Regelaufbau) orientiert.

In Eckigen Klammern angegeben Anforderungskategorien sind nur bedingt bzw. situativ zu berücksichtigen.

Schale / Stufe 1 – Minimalanforderungen

(IB-Erprobungsanlagen):

Einfache Anlagen für den zeitbegrenzten Einsatz, grundsätzliche verordnungsbezogene / gesetzliche technische Auflagen werden erfüllt, nicht auf einfache Weise aktualisierungs- und erweiterungsfähig, vom funktionalen und technischen Niveau vergleichbar Dauerüberwachungskonzepten / Monitoring:

- allgemeine technische Standards zum Errichten elektrotechnischer Anlagen *EEA* (→ Kap. 2.2.2.2),
- Umgebungs- und Umwelteinflüsse *UMW* (→ Kap. 2.2.2.3),
- Verwendung gefährlicher Stoffe *GST* (→ Kap. 2.2.3.8),
- Funkanlagen und –module *FAN* (→ Kap. 2.2.3.4),
- [Datenübertragung *DAÜ*, wenn relevant] (→ Kap. 2.2.3.5),
- [Elektromagnetische Verträglichkeit der Komponenten *EMVK* (hier nur Störaussendung), oftmals implizit eingehalten] (→ Kap. 2.2.2.5),
- [Elektromagnetische Verträglichkeit der Gesamtanlage *EMVG*, (hier nur Störaussendung oftmals implizit eingehalten] (→ Kap. 2.2.3.2),

ggf. ergänzt mit Vorgehensweisen aus:

- Merkblatt Brückenmonitoring *DBV* (→ Kap. 2.2.4.1).

Schale / Stufe 2 – Standardanforderungen (IB-Regelaufbau):

Hoher Standardisierungsgrad, erhöhte funktionale Sicherheit und Dauerhaftigkeit der Anlage, im Entwurf bereits erhaltungs- und aktualisierungsfähig gestaltet, vorgeschlagenes Anforderungsniveau für das bundeseinheitliche Konzept der Systematik Intelligente Brücke:

- Softwareentwicklung *SWE* (→ Kap. 2.2.1.1),
- Softwaretesting *SWT* (→ Kap. 2.2.1.2),
- Hardwareentwicklung und –integration *HWE* (→ Kap. 2.2.2.1),
- Datenübertragung *DAÜ* (→ Kap. 2.2.3.5),
- Eigenschaften der Stromversorgung *STR* (→ Kap. 2.2.2.4),
- Grundsätze zum Aufbau zuverlässiger Hardware *ZHW* (→ Kap. 2.2.2.6),
- Erhaltungsgrundsätze - Verfügbarkeit und Austausch defekter / veralteter Komponenten *ERH* (→ Kap. 2.2.3.7),
- Elektromagnetische Verträglichkeit der Komponenten *EMVK* (→ Kap. 2.2.2.5),
- Elektromagnetische Verträglichkeit der Gesamtanlage *EMVG* (→ Kap. 2.2.3.2),
- [Elektromagnetische Umweltverträglichkeit *EMUV*] (→ Kap. 2.2.3.3),
- Grundsätze der Anlagendokumentation *ADO* (→ Kap. 2.2.3.9).

In der Planungs-, Entwurfs- und Ausführungsphase sollten folgende Dokumentkategorien zur Anwendung kommen (vgl. Kap. 2.3.2):

- freizugebende Vorspezifikation der Anlage *AUS*,
- allgemeine Planungsgrundlagen zu Planung und Entwurf *PLAN*,
- Standardisierte Systemarchitektur der Informationstechnik (inkl. Datenübertragungsprozesse) *SA-IT*,
- Schnittstellendokument *BAUT*,
- Richtlinie Anlagendokumentation *RI-ADO*,
- Installation der Funktionsgruppen bzw. Betriebsmittel am Bauwerk *INST*,
- Eignungsprüfung zwecks Integration in den Entwicklungsprozess *EIGN*,
- Checkliste Abnahmekriterien *ABNA*.

Weitere Ergebnisse bzw. Produkte der Entwicklung sind hierbei (vgl. Kap. 2.3.2):

- Betriebsanweisung („Anwenderdokumentation“) *BE-AN*,
- Wartungsanweisung (Hard- und Softwarewartung) *WA-AN*,
- Regeln zur Erhaltung / Aktualisierung / Erweiterung *ER-AK*,
- Regeln zum Rückbau / Recycling *RÜ-RE*.

Schale / Stufe 3 – Erhöhte Anforderungen

(IB-Aufbau mit ergänzenden Funktionen für Steuerungsaufgaben / Statusinformationsfunktion):

Hohe Anforderungen an die funktionale Sicherheit und Dauerhaftigkeit der Anlage, aktualisierungsfähig bezogen auf funktionale Sicherheit / IT-Sicherheit, Nutzung zur Generierung von Steuerfunktionen und (Verkehrs-)Statusinformationsfunktionen für weitere Systeme:

- Funktionale Sicherheit *FSI*
(→ Kap. 2.2.3.1),
- IT-Sicherheit *ITSI* (→ Kap. 2.2.3.6),

ggf. ergänzt mit Vorgehensweisen aus:

- Technische Lieferbedingungen für Streckenstationen TLS 2012 *TLS*
(→ Kap. 2.2.4.2),
- Leit-, Automatisierungstechnik und Überwachung in Straßentunneln *STU*
(→ Kap. 2.2.4.3),
- Echtzeit-Sicherheitsmanagement-System (ESIMAS) in Tunnelleitzentralen *ESI*
(→ Kap. 2.2.4.4),
- Leitfaden zum Projekt Cyber-Safe *CYS* (→ Kap. 2.2.4.5).

1.3.3 Projektablaufschema

Für die Projektabwicklung fasst Tabelle 1.1 wesentliche vom Auftraggeber (Bauherr) sowie Auftragnehmer (ausführendes Unternehmen) durchzuführende administrative und fachtechnische Projektschritte und Aufgaben zusammen (vgl. auch Kap. 2.3.3 sowie Tabelle 2.5).

Hierbei sind über die einzelnen *Phasen der Anlagenentwicklung* (Kap. 2.3.1) hinaus die *Phasen des gesamten Lebenszyklus* der Anlage (Kap. 2.3.2) einbezogen. Neben der Erstellung der betriebsfertigen Anlage sind daher auch Betrieb / Wartung, Erhaltung / Aktualisierung / Erweiterung sowie Rückbau und Recycling berücksichtigt.

Im ersten Projektschritt erfolgt seitens des *Auftraggebers* eine Definition der Aufgabenstellung. Hierbei wird bereits das Grundkonzept sowie der Umfang der zu erstellenden Anlage deutlich. Auch die erforderliche Anforderungsstufe nach Kap. 1.3.2 wird bereits festgelegt. Ergebnis ist eine *technische Leitkonzeption*.

Die sich daran anschließende Vorplanung des *Auftraggebers* enthält bereits alle wesentlichen Elemente bzw. Funktionalitäten der Anlage. Hiermit verbunden ist eine Ermittlung und Festlegung der funktionalen und technischen Leistungsmerkmale dieser als Vor-Spezifikation in einem *Lasten- und Pflichtenheft*.

Die Ausschreibungsplanung des *Auftraggebers* beinhaltet Fragen des Vergabeverfahrens bzw. der Vertragsform, Fristen und Meilensteine der Ausschreibung, Vergabe, Vertragsdurchführung, Abnahme und Inbetriebsetzung, der weiteren Wartung und Erhaltung (ggf. Wartungsvertrag), Einbeziehung möglicher Projektbeteiligter und deren Kooperationsgrundlage.

Diese Überlegungen münden gemeinsam mit den Ergebnissen der fachtechnischen Vor-Planungsphase als *Leistungsbeschreibung* in die Ausschreibung. Hierbei sind auch grundlegende Anforderungen an Software, Hardware und Gesamtanlage mithilfe der Anforderungskategorien nach Kap. 2.3.2 festzulegen. Bereits erarbeitete Regelwerksdokumente (vgl. Kap. 2.3.2 bzw. Tabelle G-1, Anlage G) können einbezogen werden. Zur Angebotserstellung greift der *Auftragnehmer* die fachtechnischen Vorgaben der Leistungsbeschreibung (inkl. der technischen Leitkonzeption sowie Lasten- und Pflichtenheft) auf.

In den folgenden Schritten Planung / Entwicklung und Umsetzung / Ausführung werden mithilfe des vorgeschlagenen Entwurfs- und Entwicklungsverfahrens die fachtechnischen Vorgaben aus Leistungsbeschreibung, technischer Leitkonzeption und Lasten- und Pflichtenheft unter stetig verfeinerter Spezifikation weiterentwickelt. Diese wird durch den *Auftraggeber* kontinuierlich begleitet. Nachfolgend entstehen so der (funktionale) *Systementwurf, getestete Komponenten / Module und Sub-Systeme* sowie zuletzt die *betriebsfertige Anlage*. Mit dem Auftraggeber vereinbarte Teilabnahmen und Meilensteine sind hierbei zu berücksichtigen.

Die Endabnahme erfolgt durch den *Auftraggeber* gegen die Spezifikation (aus Leistungsbeschreibung, technischer Leitkonzeption und Lasten- und Pflichtenheft). Die Behandlung der weiteren

Lebenszyklusphasen Betrieb / Wartung, Erhaltung / Aktualisierung / Erweiterung und Rückbau / Recycling werden durch den *Auftraggeber* gesteuert bzw. initiiert.

Tabelle 1.1: Projektablaufschema mit Einbettung der Phasen des Anlagen-Entwurfs-/Entwicklungsverfahrens in den Gesamtablauf der Projektabwicklung

Projektschritt		Phasen Entwurfs-/Entwicklungsverfahren (nach Kap. 2.3)	Kapitel	
↓	AG	Aufgabenstellung	2.3.1.4, 2.3.1.6 (Ph. 1),	
		Vorplanung (Vor-Spezifikation)	2.3.1.4, 2.3.1.6 (Ph. 2),	
		Ausschreibungs- planung	2.3.2, 2.3.3	
		Ausschreibung (VOF / VOL)	2.3.2, 2.3.3	
	AN (AG)	Angebot	Informationsgewinnung / Problemanalyse (Ph. 1) Anlagenspezifikation (Ph. 2)	2.3.1.4, 2.3.1.6 (Ph. 1 u. 2)
		Planung / Entwicklung	Anlagenspezifikation (Ph. 2) Funktionaler Entwurf (Ph. 3)	2.3.1.3, 2.3.1.4, 2.3.1.5, 2.3.1.6 (Ph. 2 u. 3)
		Umsetzung / Ausführung	Technischer Entwurf / Aufbau und Test der Funktionseinheiten (Ph. 4) Inbetriebnahme / Erprobung IN-EP (Ph. 5)	2.3.1.5, 2.3.1.6 (Ph. 4 u. 5), 2.3.1.7
	AG (AN)	Abnahme	Inbetriebnahme / Erprobung IN-EP (Ph. 5)	2.3.1.6 (Ph. 5), 2.3.1.7

Weitere Lebenszyklusphasen		Phasen Entwurfs-/Entwicklungsverfahren (nach Kap. 2.3)	Kapitel
AG (AN)	Betrieb / Wartung		2.3.2
AG (AN)	Erhaltung / Aktualisierung / Erweiterung /	Informationsgewinnung / Problemanalyse (Ph. 1) bis Inbetriebnahme / Erprobung IN-EP (Ph. 5)	2.3.1.6 (Ph. 1 bis 5)
	Rückbau / Recycling		2.3.2

2. Technische und prozessbezogene Referenzen

2.1 Planungs- und Entwicklungsaufgabe

2.1.1 Funktionale und technische Rahmenbedingungen

Das Gesamtsystem Intelligente Brücke in seiner Gesamtarchitektur stellt mit seinen Funktionsgruppen *am Bauwerk* Sensorik, Messdatenvorverarbeitung, Bauwerksübergabepunkt mit Datenübertragung und ggf. weiteren Informations- bzw. Steuerungsfunktionen sowie *in der Zentrale / beim Anwender* Datenspeicherung und –historisierung, Schädigungs- und prognosemodellen / Bewertung, Datenzugriff und –darstellung sowie den Vielzahlen zugehörigen physikalischen und logischen Schnittstellen sowie den vielfältigen Übertragungsprozessen eine umfangreiche technische Anlage mit hohem Komplexitätsgrad dar. Sie soll eine hohe Funktionalität und Dauerhaftigkeit aufweisen sowie eine fortwährende technische Anpassbarkeit an zukünftige Anforderungen ermöglichen.

Abhängig von den objektbezogenen Anforderungen einer solchen Anlage (vgl. Kap. 1.1) ist ggf. ein hohes Maß an Betriebssicherheit - ähnlich wie bei telematischen Anlagen - sicherzustellen, auch vor den Hintergrund möglicher besonderer Betriebszustände (z. B. Sensor- oder Stromausfälle) sowie weiterhin zur regelbasierten Instandsetzung defekter Betriebsmittel. Hierbei gilt es mögliche nachteilige Auswirkungen der Anlage auf das Anlagenumfeld bei Fehlfunktionen auszuschließen bzw. zu begrenzen.

Die Betriebssicherheit und hiermit insbesondere eine vollständige Erfassung der vielfältigen betriebs-, wartungs-, erhaltungs-, aktualisierungs- und erweiterungstechnischen Erfordernisse des Gesamtsystems Intelligente Brücke kann hierbei insbesondere durch eine konsequente Anwendung strukturierter Entwurfs- und Entwicklungsverfahren in Kombination mit einer hierbei üblichen begleitenden und lückenlosen Qualitätssicherung und fortlaufenden verfeinerten Dokumentationslage erreicht werden. Somit folgt das Vorgehen den Grundsätzen des technischen Anlagenbaus im Sinne eines „Secure-by-Design“-Ansatzes [6], vgl. Kap. 2.3.1.1.

Entwurfs- und Entwicklungsverfahren, Dokumentationslage und Qualitätssicherung beziehen sich auf die strukturierte *Informationsgewinnung/*

Problemanalyse mit Klärung der Aufgabenstellung, die Anlagenspezifikation, den *funktionalen Entwurf*, den *technischen Entwurf* und die *Inbetriebnahme und Erprobung* mit Test von Funktionseinheiten und Gesamtanlage sowie Wartungs-, Instandsetzungs-, Aktualisierungs- und Erweiterungs-, möglicherweise auch Rückbau- und Recyclingaspekte.

Die Planung der Instrumentierung mit Abgrenzung der Anlage zur Umgebung und fortlaufender Spezifikation, Deklaration einzubeziehender Hard- und Softwarekomponenten, Berücksichtigung der Vorschriftenlage und des Standes der Technik insbesondere durch Regelwerke, Normen, Verordnungen und „übliche Praxis“ / Best-Practice, Ausführung der Instrumentierung mit Überwachung, Test und Abnahme sowie eine gezielte Kommunikation mit dem Auftragnehmer mittels der Produkt-/Anlagenentwicklungsdokumentation sind hiermit ebenfalls abgedeckt. Sie stellen in Summe ein hohes Planungs-, Entwicklungs- und Ausführungsniveau und damit in der Folge auch ein hohes Betriebssicherheitsniveau sicher. Dieses kann weiterhin unterstützt werden u. a. durch die Strategie einer integrierten und fortwährenden eigenständigen algorithmischen Überwachung der Funktionalität der verschiedenen Funktionsgruppen der Gesamtanlage sowie durch eine fachtechnisch eindeutig festgelegte Vorgehensweise bei Wartung und Instandhaltung (inkl. deren Dokumentation).

Der Entwurfsprozess umfasst daher als „Gesamteinhüllende“ *alle* in Bezug zur Anlage zu erstellenden Produkte materieller (z. B. Baugruppen) und verfahrenstechnischer Art. Daher sind hier neben der verschiedensten Form von technischen Anforderungen auch strategische und verfahrenstechnische Ansätze (z. B. Betriebs- bzw. Wartungsanweisung) mit zu behandeln.

Aufgrund der Komplexität der Anlage, ihrer Größräumigkeit am Brückenbauwerk sowie der Verschiedenartigkeit der einzusetzen Betriebsmittel kann sich hier eine große Spannweite an zu berücksichtigen Referenzen ergeben. Somit ist zu analysieren, welche Bereiche, Verfahren, Anlagenformen, elektrischen und elektronische Betriebsmittel (d.h. z. B. elektrische Bauelemente, Baugruppen oder Geräte einer elektrischen Anlage) bzw. Software bereits durch bestehende *und zum Entwurfsprozess ergänzende und ein-zubeziehende Regelungen* teilweise bzw. voll-

ständig erfasst sind und auf welche Regelungen somit hier spezifikationsvereinfachend unmittelbar zurückgegriffen werden kann.

Ebenso lassen sich durch dieses Vorgehen Lücken und Ergänzungen identifizieren, woraus sich für den Bereich der BFStr ein Bedarf an perspektivisch noch zu erstellenden ergänzenden Regelungen für das Regelwerk Intelligente Brücke ergibt. Hierbei ist zu berücksichtigen, dass es gemäß dem Einsatzbereich der Gesamtanlage abgestufte Anforderungen an funktionale Sicherheit und Dauerhaftigkeit gibt. Die einzubeziehenden Regelungen lassen sich typischerweise in die drei nachfolgenden Bereiche gliedern.

Die *Anforderungen an die Software (Baugruppen und Anlage)* betreffen insbesondere *ergänzenden Regelungen* zur Softwareentwicklung und zum Softwaretesting.

Die *Anforderungen an die Hardware (Baugruppen und Anlage)* stehen insbesondere im Zusammenhang mit der Betriebssicherheit und der Erhöhung der Zuverlässigkeit durch Berücksichtigung der Regeln strukturierter Hardwareentwicklung und –integration, zudem allgemeiner technischer Standards zum Errichten elektrotechnischer Anlagen, Umgebungs- und Umwelteinflüsse, Eigenschaften der Stromversorgung, Elektromagnetische Verträglichkeit der Komponenten, Grundsätze des Aufbaus zuverlässiger und robuster Hardware (elektrisch / elektronisch-mechanische Realisierung).

Anforderungen an Gesamtanlagen umfassen insbesondere einzubeziehende Regelungen zur funktionalen Sicherheit, Elektromagnetischen Verträglichkeit, Elektromagnetischen Umweltverträglichkeit und IT-Sicherheit *der Gesamtanlage*.

Weiterhin gehören in diese Kategorie zu Planung, Entwurf und Ausführung bereits bestehende Regelungen zu Gesamtsystemen (z.B. DBV-Merkblatt Brückenmonitoring (Kap. 2.2.4.1), Technische Lieferbedingungen für Streckenstationen TLS 2012 (Kap. 2.2.4.2) und „Richtlinien für die Ausstattung von und den Betrieb von Straßentunneln“ RABT / „Empfehlungen für die Ausstattung und den Betrieb von Straßentunneln mit einer Planungsgeschwindigkeit von 80 km/h oder 100 km/h“ / ZTV-ING 5-4 „Tunnelbau - Betriebstechnische Ausstattung“) (Kap. 2.2.4.3). Weiterhin sind in Bezug auf sicherheitsrelevante Aspekte das „Echtzeit-Sicherheitsmanagement-System (ESIMAS) in Tunnelleitzentralen“ (Kap. 2.2.4.4)

sowie der „Leitfaden zum Projekt Cyber-Safe“ (Kap. 2.2.4.5) zu nennen.

Die Umsetzung der Entwurfsergebnisse in der Phase *Inbetriebnahme und Erprobung* am Bauwerk - als Ausführung der Instrumentierung - sowie in der Zentrale / beim Anwender sind ebenso qualitätssichernd zu begleiten: elektrisch/elektronisch-mechanisch und funktional bezogen auf die Gesamtanlage. Neben den Spezifikationen aus dem Entwurfsprozess sind hier verfügbare bzw. möglicherweise noch zu erstellende Regelungen zu berücksichtigen, z. B. das Vorsehen einer Überwachung der Ausführung.

Eine Zusammenstellung relevanter Regelungen zu den für diese Aufgabenstellung abzudeckenden Prozesse, Technologien und Betriebsmittel könnte beim Entwurfsprozess zunächst anlagenunabhängig in Form von Merkmalslisten (vgl. Kap. 2.3.1.4, Bild 2.13) erfolgen.

Mit Anwendung strukturierter Entwurfs- und Entwicklungsverfahren liegen im Ergebnis implizit vor:

- Anforderungen an die Soft- und Hardware für den vorliegenden Anwendungsfall für Funktionsgruppen und Gesamtanlage sowie
- qualitätssicherungsbegleitete Planung, Entwurf und Ausführung der Anlage sowie Betrieb, Wartung, Erhaltung, Aktualisierung, Erweiterung und Rückbau dieser.

Nach Darstellung von für das Entwurfs- und Entwicklungsverfahren praktikablen Spezifikations- und Dokumentationsmitteln wird ein Konzept zur standardisierten Einbindung von Regelungen vorgestellt. Die Ergebnisse der Analyse von bereits verfügbaren Regelungen - auch z. T. aus verwandten technischen Bereichen – werden nach *Anforderungskategorien* in den wichtigsten Aspekten vorgestellt. In einem Vorgehensvorschlag werden für die Themenbereiche relevante Regelungen zusammengefasst. Die Anlage enthält ergänzende Informationen hierzu.

Mit Ausarbeitung von den in Kap. 2.3.2 beschriebenen perspektivisch noch zu erarbeitenden Dokumenten zu Planungsgrundlagen, Übersetzung bautechnischer Anforderungen, Systemarchitektur, Standardvorgaben zur Installation sowie Anlagendokumentation kann jenseits bauwerksindividueller Fragestellungen eine Festlegung konzeptioneller und technischer Mindestanforder-

ungen erfolgen, was den Entwurfsprozess deutlich vereinfacht und Spezifikationsfehler verringert. In diesem Sinne können zudem gemäß dargestelltem Schema grundlegende und anlagenübergreifende standardisierte Mindestanforderungen an die *Software*, *Hardware* und die *Gesamtanlage* in den Dokumenten *SOFT*, *HARD* und *GESA* zusammengefasst werden.

2.1.2 Berücksichtigte Grundfunktionalitäten

Das Gesamtsystem Intelligente Brücke besteht üblicherweise aus den nachstehenden Funktionsgruppen als separate funktionale Einheiten zur Realisierung der Gesamtanlage, für welche zur Adressierung im Planungsprozess nachstehende *Funktionsgruppen-Kurzbezeichnungen* eingeführt werden:

am Bauwerk:

- Sensorik mit Datenübertragung zum Bauwerksübergabepunkt (SE/DÜ)
- Messdatenvorverarbeitung (MVV)
- Bauwerksübergabepunkt mit Datenübertragung (ggf. über Mobilfunk) (BÜP)
- ggf. Aktoren zur Bauwerkssteuerung und ihre Ansteuerung (AK/ST)

in der Zentrale:

- Datenspeicherung und -historisierung (DS/DH)
- Schädigungs- und Prognosemodelle / Bewertung (SPM)
- Datenzugriff und -darstellung (DZ/DD).

Der Funktionsgruppe Sensorik schließt später in der technischen Realisierung umgesetzte Baugruppen wie Messverstärker, Analog-Digital-Wandlung u.s.w. mit ein.

Neben der Planung und der jeweiligen Umsetzung des Erfassungskonzepts ist insbesondere die Betriebssicherheit dieser Funktionsgruppen als Glieder der gesamten Kette zur Informationsverarbeitung im Sinne der funktionalen Sicherheit beginnend mit der Erfassung der Bauwerksparameter über die Auswertung und Weiterverarbeitung der Erfassungsdaten bis zur ggf. perspektivischen automatisierten Bereitstellung von aggregierten Zustandsinformationen in Echtzeit für Informationsstatusfunktionen für weitere Systeme sowie möglicherweise als Steuerdaten für

die gezielte Aktivierung Steuerung von Bauwerksparemtern gesondert zu betrachten.

Hinsichtlich der Nutzung der am Bauwerk erfassten Daten sollen daher nachstehende Fälle unterschieden werden:

- a) (Echtzeit-)Fernüberwachung für ein objekt- und netzbezogenes Betriebsmanagement (auch Dauerüberwachungsaufgaben),
- b) Datengrundlage für Schädigungs- und Strukturmodelle zur Ermittlung des aktuellen Bauwerkszustandes sowie zur Prognose der Schadensentwicklung,
- c) Bauwerkszustands- und Verkehrsinformationen in Echtzeit perspektivisch als Informationsdaten über Schnittstellen für andere Verkehrsinfrastrukturelemente (z. B. telematische Anwendungen) bzw. ggf. für die gezielte zustandsbezogene Aktivierung bzw. Steuerung von Bauwerksparemtern bzw. funktionen (z. B. mit Aktoren als Regelkreis).

Grundlegende qualitative Anforderungen an die funktionale Sicherheit und Dauerhaftigkeit für verschiedene Anwendungsbereiche ergeben sich aus Tabelle 2.1.

Tabelle 2.1

Anwendungsbereich	Anforderung an	
	Funktionale Sicherheit	Dauerhaftigkeit
Fernüberwachung	mittel	mittel
Schädigungs- und Strukturmodelle	mittel	hoch
Informationsstatus / Steuerungsfunktionen (Bauwerk)	hoch	mittel

Kritisch hinsichtlich der funktionalen Sicherheit ist der mögliche perspektivische Anwendungsfall *Informationsstatusdaten für andere Verkehrsinfrastrukturelemente* (z. B. für telematische Anwendungen) / *Steuerung von Bauwerksparemtern*, da im Falle von Fehlfunktionen der Steuerung möglicherweise schädliche Wirkungen im Umfeld der Anlage, z. B. eine fehlerhafte Beeinflussung des Verkehrs bzw. Schäden am Bauwerk

entstehen können. Ebenso kann eine temporäre und ungefilterte fehlerhafte Bereitstellung von Erfassungsdaten die Berechnungs- bzw. Prognoseergebnisse der Schädigungs- und Strukturmodelle unkorrigierbar beschädigen.

Insbesondere die Wahl der Systemarchitektur hat einen Einfluss auf die *funktionale Sicherheit* sowie auch die *IT-Sicherheit*. So leisten z. B. die der Funktionsgruppe *Messdatenvorverarbeitung* zugeordneten Funktionen der Plausibilisierung, Fusion (Zusammenführung und Informationsintegration) sowie zeitlichen und räumlichen Interpolation der Erfassungsdaten (vgl. [7]) einen signifikanten Beitrag zu Erhöhung ersterer. Auch die hier angesiedelte automatisierte Ableitung höherwertiger Informationen kann einen Beitrag durch selbständige Erkennungsvorgänge bei messtechnischen Fehlfunktionen liefern. Weitere Strategien, z. B. eine fortlaufende Funktionsüberwachung der Gesamtanlage behandelt Kap. 2.2.3.1.

Sollen die Erfassungsdaten für verschiedene Anwendungsbereiche - möglicherweise auch durch eine zukünftige Erweiterung - gleichzeitig genutzt werden, ist für die jeweilige Kategorie das jeweils höhere Attribut (,mittel' bzw. ,hoch') anzusetzen.

Mit Hilfe von Regelungen, welche die funktionale Sicherheit behandeln (vgl. Kap. 2.2.3.1) können

die vorstehenden qualitativen Attribute in quantitativ definierte, maximal tolerierbare Ausfallwahrscheinlichkeiten übersetzt sowie infolge Sicherheitsanforderungsstufen für die verschiedenen Anlagenfunktionen festgelegt werden.

Die *Dauerhaftigkeit* der Funktionsgruppen / Betriebsmittel steht hierbei insbesondere im Zusammenhang mit allgemeinen technischen Standards zum Errichten elektrotechnischer Anlagen, Umgebungs- und Umwelteinflüssen sowie Grundsätzen zum Aufbau zuverlässiger Hardware. Ebenso ist die Festlegung einer geregelten Vorgehensweise des Austauschs defekter Komponenten zu nennen.

Die *funktionale Sicherheit* ist Anforderung an einen sorgfältig durchgeführten Entwurfs- und Entwicklungsprozess, welcher hier durch Spezifikation auf die funktionale Sicherheit in der Gestaltung von Software- und Hardware-Elementen der Anlage Einfluss nimmt. Für die Erreichung eines definierten Niveaus an funktionaler Sicherheit können auch Dauerhaftigkeitsfragen der Funktionsgruppen / Betriebsmittel von Bedeutung sein. Somit sind hierbei Grundfragen des technischen Anlagenbaus berührt und zu behandeln.

2.2 Analyse bestehender Regelungen für die abzudeckenden technischen Bereiche

Die bestehenden Regelungen erfassen unterschiedliche *Anforderungskategorien*. Diese unterteilen sich in grundlegende Anforderungen an die Software, grundlegende Anforderungen an die Hardware sowie Anforderungen an die Gesamtanlage. Zudem werden Regelungen zu bestehenden Konzepten von Gesamtanlagen behandelt.

Vorgestellte Regelungen und Normen beziehen sich im Wesentlichen auf Qualitätsstandards und -modelle der Soft- und Hardware- sowie Anlagen-erstellung mit organisatorischen und fachinhaltlichen Maßnahmen, allgemeine Standards der Errichtung technischer Anlagen, Eigenschaften von Betriebsmitteln, Umgebungseinflüsse und Umfeldbeeinflussung sowie funktionaler- und IT-Sicherheit - hauptsächlich in Form von Fachgrund-, Produkt-, Prüf- oder Anforderungsnormen.

Neben Regelwerken mit empfehlenden bzw. normativen Charakter sind bei der Produkt-/Anlagenentwicklung zudem ggf. europäische Empfehlungen und Richtlinien sowie nationale Verordnungen und Gesetze zu berücksichtigen.

In vielen Fällen sind Betriebsmittel (Produkte / Komponenten) bereits mit Anforderungs- bzw. Konformitätsaussagen nach Verordnungen, Richtlinien, Regelwerken bzw. Normen versehen.

2.2.1 Grundlegende Anforderungen an die Software

2.2.1.1 Softwareentwicklung

Nach dem Stand der Technik sind Software bzw. ihre Komponenten qualitätssichernd zu erstellen sowie zu testen. Hierfür sind - wie bei der Hardware auch - allgemeine Vorgaben zum Qualitätsmanagement (u.a. DIN EN ISO 9000 ff sowie Ergänzungsnormen) zu berücksichtigen.

Als Definition der Software-Qualität kann gelten: „Software-Qualität ist die Gesamtheit der Merkmale und Merkmalswerte eines Software-Produkts, die sich auf dessen Eignung beziehen, festgelegte oder vorausgesetzte Erfordernisse zu erfüllen“ [8]. Ziel einer Anforderungsanalyse ist es vorab, Anforderungen für eine Spezifikation an die zu entwickelnde Software / das zu entwickelnde System zu ermitteln.

ISO/IEC 25000

Die Reihe ISO/IEC 25000 „Software-Engineering – Qualitätskriterien und Bewertung von Softwareprodukten (SQuaRE) zur Qualitätssicherung von Software-Produkten“, vgl. Tabelle B-1, Anlage B (enthält das Konzept der sechs Qualitätsmerkmals-Hauptkategorien der ISO/IEC 9126, ISO/IEC 14598 ebenso hierin aufgegangen) definiert Anforderungen an Software-Produkt-Qualitätsanforderungen und deren Evaluation und unterscheidet hierbei sechs Qualitätsmerkmale (nach [8]):

- *Funktionalität (Functionality)* - Vorhandensein von Funktionen, die festgelegte und vorausgesetzte Erfordernisse erfüllen. *Teilmerkmale: Angemessenheit, Interoperabilität, Ordnungsmäßigkeit, Richtigkeit, Sicherheit.*
- *Zuverlässigkeit (Reliability)* - Fähigkeit einer Software / eines Systems, ihr / sein Leistungsniveau unter festgelegten Bedingungen in einem festgelegten Zeitraum zu halten. *Teilmerkmale: Reife, Fehlertoleranz, Robustheit, Wiederherstellbarkeit, Konformität.*
- *Benutzbarkeit (Usability)* - Fähigkeit einer Software, unter festgelegten Bedingungen für einen Benutzer verständlich, erlernbar, anwendbar und attraktiv zu sein. *Teilmerkmale: Attraktivität, Bedienbarkeit, Erlernbarkeit, Verständlichkeit, Konformität.*
- *Effizienz (Efficiency)* - Verhältnis zwischen dem Leistungsniveau der Software und dem Umfang der eingesetzten Betriebsmittel unter festgelegten Bedingungen. *Teilmerkmale: Verbrauchsverhalten, Zeitverhalten (Performanz), Konformität.*
- *Änderbarkeit (Maintainability)* - Aufwand, der zur Durchführung vorgegebener Änderungen notwendig ist. Änderungen können Korrekturen von Fehlern, Anpassungen an veränderte Anforderungen oder eine veränderte Systemumgebung und die Verbesserung der Wartung einschließen. *Teilmerkmale: Analysierbarkeit, Modifizierbarkeit, Prüfbarkeit, Stabilität, Konformität.*
- *Übertragbarkeit (Portability)* - Leichtigkeit, mit der eine Software von einer Umgebung in eine andere übertragen werden kann. Umgebung kann die organisatorische Um-

gebung, die Hardware-Umgebung oder die Software-Umgebung bedeuten. *Teilmerkmale: Anpassbarkeit, Austauschbarkeit, Installierbarkeit, Koexistenz, Konformität.*

Hierbei stellen die letzten fünf Merkmale nicht-funktionale Qualitätsmerkmale dar.

Zur Überprüfung der Umsetzung Qualitätsmerkmale im angestrebten Umfang werden für diese Qualitätsmerkmale, Qualitätsteilmerkmale bzw. Szenarien Qualitätsindikatoren definiert. Messvorschriften (Metriken) beschreiben hierbei die Bestimmung von Kennzahlen und deren Anforderungswerte.

2.2.1.2 Softwaretesting

Mögliche Auswirkungen von Softwarefehlern können weitreichende Folgen haben. Daher sollten Softwareprodukte im Bereich Verkehrsinfrastruktur hohen Qualitätsstandards genügen. Das Testen von Software ist integraler Bestandteil der Softwareentwicklung.

„Unter Testen versteht man den Prozess des Planens, der Vorbereitung und der Messung, mit dem Ziel, die Eigenschaften eines IT-Systems festzustellen und den Unterschied zwischen dem tatsächlichen und dem erforderlichen Zustand (Spezifikation) aufzuzeigen.“ Und: „Qualität muss (im ganzen Projektverlauf) implementiert werden und kann nicht 'eingetestet' werden“ [9].

Fehler können sowohl in einer Software-Implementation selbst auftreten als auch in der ihr zugrundeliegenden Spezifikation. Spezifikationen, die aus den Anforderungen an die Software abgeleitet werden, sind daher zunächst gegen diese Anforderungen zu *validieren*. Implementationen sind gegen die ihr zugrundeliegenden Spezifikation zu *verifizieren*. Validation und Verifikation sind somit integrale Bestandteile von Softwaretests.

Die Tests erfolgen auf verschiedenen hierarchischen Testebenen (V-Modell). Die unterste Testebene ist der *Komponententest* und umfasst die kleinsten testbaren Einheiten einer Software. Die Prüfung (gegenüber dem Softwaredesign) erfolgt in einer speziellen Testumgebung. Der *Integrationsstest* beinhaltet die Prüfung (gegenüber dem Architekturdesign) von Kombinationen bzw. Gruppen der Komponenten (ggf. auch im Zusammenwirken mit der Hardware). Auf der nächsthöheren Ebene ist der *Systemtest* angesiedelt

(Prüfung gegen die Softwarespezifikation). Die Testumgebung entspricht der ‚Produktivumgebung‘ bzw. ist ihr ähnlich. Der *Abnahmetest* wird nicht – wie die anderen Testebenen vom Entwickler / Tester - sondern vom Kunden durchgeführt (gegen die Anforderungen des Benutzers). Er erfolgt in der ‚Produktivumgebung‘.

Teststrategien umfassen u. a. die Wahl der Testumgebung und Testwerkzeuge, Simulation in Abhängigkeit stehender Software-Komponenten, Unabhängige Rolle von Entwickler und Tester sowie die Automatisierung von Testabläufen.

ISO/IEC/IEEE 29119

Die aktuelle fünfteilige Normenreihe ISO/IEC/IEEE 29119 „Software- und Systemengineering - Software-Test“ fasst z. T. ältere Standards zum Softwaretesten zusammen (u. a. IEEE 1008 „Unit Testing“, BS 7925 „Software Component Testing“, IEEE 829 „Test Documentation“, vgl. Tabelle A-2, Anlage A). Inhalt sind die Strukturierung der Tests über verschiedene Organisationseinheiten, Testplanung, Testüberwachung und Teststeuerung, Testabschluss sowie die Dokumentation der Software-Tests. Die Lehrinhalte des „International Software Testing Qualification Board“ ISTQB sind konzeptionell vergleichbar [10].

Teil 1 beinhaltet grundlegende Konzepte und Definitionen.

In Teil 2 (Hauptnorm) werden Strukturen, Kommunikationswege und Schnittstellen der verschiedenen Ebenen von Testprozessen behandelt. Es wird hierbei unterschieden zwischen Organisationseinheit-spezifischem Testprozess, projektspezifischem Management-Testprozess und dynamischem Testprozess (konstruktive Testarbeit).

Inhalt von Teil 3 ist die Erstellung der Testdokumentation (Fortschritt- und Abschlussreports).

Teil 4 (Entwurf) fasst allgemein im Softwaretesten anerkannte Testentwurfsverfahren zusammen [11]:

- spezifikationsbasierte Testverfahren
- Äquivalenzklassenbildung
- Klassifikationsbaumverfahren
- Grenzwertanalyse
- Syntaxtest
- Kombinatorische Testverfahren
- Entscheidungstabellentest

- Ursache-Wirkungs-Graph-Analyse
- Zustandsbasierter Test
- Szenariotest
- Zufallstest
- Strukturbasierte Testverfahren
- Anweisungstest
- Zweigttest
- Entscheidungstest
- Bedingungstest
- Mehrfachbedingungstest
- Modifizierter Bedingungs-/ Entscheidungstest
- Datenflußttest
- erfahrungsbasierte Testverfahren
- Fehlererwartungsmethode.

Teil 5 (Entwurf) behandelt das schlüsselwortgetriebene Testen („Keyword-Driven Testing“), ein Verfahren der Testautomation mittels Verwendung zuvor definierter Schlüsselwörter ohne explizite Programmierkenntnisse.

Vorgehensvorschlag

Bei der Softwareentwicklung und beim Softwaretesting sind allgemeine Vorgaben zum Qualitätsmanagement (u. a. DIN EN ISO 9000 ff sowie Ergänzungsnormen) zu berücksichtigen. Zudem sind dem Niveau der Funktionalen Sicherheit entsprechend Qualitätskriterien der Softwareentwicklung nach der Reihe ISO/IEC^o25000 zugrunde zu legen. Sie deckt den gesamten Softwarelebenszyklus ab. Insbesondere sind für das Gesamtsystem Intelligente Brücke hier Aspekte der Wartung, der Erweiterung sowie der Modifizierung / Aktualisierung von Softwaremodulen zu berücksichtigen.

Dokumentiert getestete Software ist als technischer Standard anzusetzen (im Sinne einer Herstellererklärung). Zur Strukturierung der Softwaretests über verschiedene Organisationseinheiten, Testplanung, Testüberwachung und Teststeuerung, Testabschluss sowie die Dokumentation der Software-Tests sind hierbei die Vorgaben der Normenreihe ISO/IEC/IEEE 29119 einzubeziehen.

2.2.2 Grundlegende Anforderungen an die Hardware

Analog und ergänzend zur Software ist die Hardware nach den zuvor spezifizierten Anforderungen qualitätssichernd zu erstellen sowie zu

testen. Die übliche Vorgehensweise der Überprüfung von in der Spezifikation gestellten Anforderungen an die zu entwickelnden technischen Baugruppen / Module bzw. Produkte erfolgt im Regelfall durch ingenieurmäßige Abschätzungen und Laborprüfungen mittels Simulation sowie falls erforderlich in einem zweiten Schritte in Feldversuchen (oft in Verbindung mit Vorversuchen).

2.2.2.1 Hardwareentwicklung und –integration

Soll beispielsweise ein Informationsstatus für Telemetrie-Anwendungen abgeleitet werden bzw. Bauwerksparameter sicher mit Hilfe einer Steuerkette „Zustandserfassung – Steuerung – Aktor“ gesteuert werden, ist eine hohe Sicherheitsanforderung für das Gesamtsystem zu wählen. Diese betrifft daher neben der Software auch in Kombination die Hardware und damit die Hardwareentwicklung und –integration. Daher kommt auch der Validierung des Betriebs der elektronischen Hardware eine besondere Bedeutung zu. Da die technische Aufgabe des Steuerns von Bauwerksparametern auf Grundlage erfasster Zustandsparameter vergleichbar der Steuerung von industriellen Produktionsprozessen ist, können Regelwerke zur Formulierung von Anforderungen und Durchführung Funktionstests in der Prozessleittechnik (PLT) einbezogen werden, vgl. u. a. VDE/VDI^o2180 „Sicherung von Anlagen der Verfahrenstechnik mit Mitteln der Prozessleittechnik (PLT) – Nachweis der Hardwareintegrität einer PLT-Schutzeinrichtung“ [8].

Die Instrumentierung von Bauwerken kann verglichen werden mit der Architektur verteilter Systeme in der industriellen Steuerungstechnik. Hierbei sind Anforderungen an das zu realisierende Gesamtsystem zu entwickeln, welche zudem Erweiterbarkeit auf Hard- und Softwareebene einbezieht (vgl. auch DIN EN 61499 „Funktionsbausteine für Industrielle Leitsysteme“ sowie [13]). Aufgrund der Vereinheitlichung und der vorliegenden Erfahrungen sollte sich daher an bestehenden Industriestandards orientiert werden.

Zudem können weitergehende Verfahren und Vorrichtungen zur Überprüfung der Hardware einbezogen werden. Bei dem Verfahren der Hardware-in-the-Loop-Validierung elektronischer Steuereinheiten (HIL) werden zu testende elektronische Steuereinheiten nicht direkt in das reale System eingebunden, sondern in einen Teststand, der eine mathematische / numerische

Systemsimulation der Umgebung des Prüflings in Echtzeit inklusive Sensorik und Aktorik ermöglicht. Dieses Verfahren beschleunigt Testabläufe und minimiert zudem mögliche Sicherheitsgefährdungen während der Test-Phase. Durch ergänzende Testszenarien (z. B. Aufschalten von simuliertem Störsignalen wie Rauschen bzw. Störimpulsen) kann die Robustheit des Prüflings nachgewiesen werden. HIL findet u. a. in der Komponentenentwicklung der Automobilindustrie Anwendung (vgl. [14]).

RTCA/DO-254

Die RTCA/DO-254 "Design Assurance Guidance for Airborne Electronic Hardware" ist der korrespondierende Sicherheitsstandard zur RTCA/DO-178B (vgl. Kap. 2.2.3.1) für die Hardwareentwicklung in der Luftfahrt (vgl. [15]). Die Konzeption ist vergleichbar, der fünfstufige Development Assurance Level ist identisch. Level A kann hierbei u. a. durch eine redundante Ausführung von Hardwarekomponenten erreicht werden.

Vorgehensvorschlag

In Abhängigkeit von der Architektur der Anlage und der Art der zu entwickelnden bzw. zu integrierenden Hardware sowie dem spezifizierten Grad an funktionaler Sicherheit sind die o. g. Verfahren entsprechend einzubeziehen.

Zudem sind zur eindeutigen Identifizierung von Hardwarekomponenten Modellbezeichnung / Typenkennzeichen, Bezug zu Dokumentationen / Handbüchern / Kalibrierscheinen, Herstelldatum und Seriennummer dauerhaft zu kennzeichnen (vgl. DIN EN 50556).

2.2.2.2 Allgemeine technische Standards zum Errichten elektrotechnischer Anlagen

Maßgeblich zu Auslegung und Errichtung elektrotechnischer Anlagen sind insbesondere die DIN-VDE-Normen.

Diese DIN-VDE-Normen regeln die Bereiche

- Allgemeine Grundsätze / Energieanlagen (00xx und 01xx)
- Energieleiter (02xx)
- Isolierstoffe (03xx)
- Messen, Steuern, Prüfen (04xx)
- Maschinen, Umformer (05xx)
- Installationsmaterial, Schaltgeräte (06xx)
- Gebrauchsgeräte, Arbeitsgeräte (07xx)

- Informationstechnik (08xx).

Von Bedeutung für den Bereich der Instrumentierung von Bauwerken sind insbesondere die Reihen DIN-VDE-0100 „Allgemeine Grundsätze / Energieanlagen“ sowie DIN-VDE-0800 „Informationstechnik“.

Brandschutzaspekte sind unter den allgemeinen technischen Standards ebenfalls zu berücksichtigen.

Vorgehensvorschlag

Bei der Instrumentierung von Brückenbauwerken sind allgemeine elektrotechnische Grundanforderungen für einen Aufbau nach dem Stand der Technik insbesondere zu berücksichtigen

- Errichten von Niederspannungsanlagen (Reihe VDE 0100)
- Betrieb elektrischer Anlagen (VDE 0105-100: „Allgemeine Festlegungen“)
- Blitzschutz (VDE 0185 „Gebäudeblitzschutz; Allgemeine Grundsätze“)
- Informationstechnik/Übertragungsschutz/ Nachrichtentechnik/EMV (Reihen VDE 0800, Reihe VDE 0832: „Straßenverkehrsanlagen“, VDE 0805/DIN EN 60950 „Informationstechnik –Sicherheit“).

Für den Überspannungsschutz sind hierbei DIN°VDE 0100-443 „Errichten von Niederspannungsanlagen - Teil 4-44: Schutzmaßnahmen - Schutz bei Störspannungen und elektromagnetischen Störgrößen - Abschnitt 443: Schutz bei transienten Überspannungen infolge atmosphärischer Einflüsse oder von Schaltvorgängen“ (IEC 60364-4-4) und DIN VDE 0100-534 „Errichten von Niederspannungsanlagen - Teil 5-53: Auswahl und Errichtung elektrischer Betriebsmittel - Trennen, Schalten und Steuern - Abschnitt 534: Überspannungs-Schutzeinrichtungen (SPDs)“ (IEC 60364-5-53) relevant. Zudem HD 60364-4-41 „Errichten von Niederspannungsanlagen - Teil 4-41: Schutzmaßnahmen – Schutz gegen elektrische Schlag“ sowie HD°60364-5-54 „Errichten von Niederspannungsanlagen - Teil 5-54: Schutzmaßnahmen – Auswahl und Errichtung elektrischer Betriebsmittel – Erdungsanlagen und Schutzleiter“.

2.2.2.3 Umgebungs- und Umwelteinflüsse

Elektrische und elektronische Komponenten (Betriebsmittel) der Instrumentierung unterliegen vor Ort am Bauwerk während ihres Lebenszykluses vielfältigen Umgebungs- und Umwelteinflüssen. Die insgesamt auf die Komponenten einwirkenden Umwelteinflüsse sind daher in Ihrer Summe zu identifizieren. Hierbei spielt der jeweilige Einsatzort der Betriebsmittel eine entscheidende Rolle. Es ist in diesem Anwendungsfall ein ortsfester Einsatz (hier Brückenbauwerk) anzusetzen.

Zu erwartende natürliche Umgebungsbedingungen als Einsatzbedingungen während des Nutzungszeitraums (hier als maximal auftretende Grenzwerte und ggf. Zeiträume) sind für die jeweiligen Umwelteinflussgrößen (z. B. niedrige / hohe Lufttemperatur, Sonnenstrahlung, Feuchtigkeit / Betauung, Meersalz, Staub, Schock) für die Bedingungen des Standorts Bundesrepublik Deutschland vorzugeben.

Im Überblick werden nachfolgend bestehende relevante Regelwerke für die Erstellung und Durchführung und Auswertung entsprechender Prüfverfahren die Umgebungs- und Umwelteinflüsse zusammengefasst.

MIL-STD-810G

Bereits 1962 wurden im US Standard MIL-STD-810 „Environmental Engineering Considerations and Laboratory Tests“ Vorgaben zur Erstellung und Durchführung und Auswertung von Prüfverfahren für Umgebungs- und Umwelteinflüsse auf militärische Ausrüstungsgegenstände niedergelegt. Dieser Standard kann daher als erstes umfassendes Regelwerk im Bereich der Prüfung von Umwelteinflüssen angesehen werden. Die aktuelle Ausgabe (G, 2008) fasst in Form einer Anleitung einen großen Umfang an zu betrachtenden möglichen Umwelteinflussgrößen auf Komponenten/Erzeugnisse (auch z. T. auch Kombinationseinwirkungen, außer EMV) sowie und zugehörige Vorgehensweisen für die Umweltsimulationsprüfungen zusammen (z. B. Laboraufbauten). Das Regelwerk enthält zudem Hinweise zur Strukturierung von „Tailoring“-Prozessen, d. h. der maßgeschneiderten Festlegung von Prüfbedingungen (Parameter, Bereiche und Dauern usw.) für das aktuell zu überprüfende Objekt. Exakte Festlegungen von Prüfbedingungen sowie Angaben von Anforderungswerten sind nicht

enthalten und aufgrund der großen Bandbreite zu prüfender Objekte Gegenstand objektbezogener Festlegungen in Lieferverträgen. Die Tabelle C-1, Anlage C zeigt die beinhalteten Umwelteinflussgrößen.

DIN EN 60721/IEC 721

Die von der Internationalen Elektrotechnischen Kommission (IEC) ausgearbeitete und als EN- und DIN-Norm übernommene DIN EN 60721/IEC 721 „Klassifizierung von Umweltbedingungen“ stellt ein mehrteiliges umfangreiches Regelwerk dar, welches Klassen von Umwelteinflussgrößen für elektrotechnische und elektronische Erzeugnisse festlegt (Tabelle C-2, Anlage C). Die Gliederung der Umwelteinflussgrößen erfolgt nach Systematik Tabelle C-3, Anlage C. Für die Betriebsmittel der Instrumentierung ist insbesondere Teil 3-4 „Klassen von Umwelteinflussgrößen und deren Grenzwerte - Hauptabschnitt 4: Ortsfester Einsatz, nicht wettergeschützt“ relevant. Hier lassen sich für verschiedene Umgebungsbedingungen / Klimate Klassen von Umwelteinflussgrößen bzw. Kombinationen hiervon für übliche Einsatzbedingungen vor Ort vorgeben.

DIN V 40046-721

Die Reihe der Vornormen DIN V 40046-721, welche nur im Entwurf vorliegt, enthält einen Leitfaden für die Korrelation und Umsetzung der Klassen von Umgebungsbedingungen nach IEC 60721-3 in Umgebungsverfahren nach IEC 60068 (Tabelle C-4, Anlage C). Sie erzeugt damit eine Verbindung zu den Prüfnormen der Reihe IEC 60068-2.

IEC 60068

Die Reihe IEC 60068 „Umgebungseinflüsse“ beinhaltet die eigentlichen Prüfverfahren, ihr spezifisches Anpassen (Tailoring) sowie ihre Dokumentation: Teil 1: Allgemeines und Leitfaden, Teil 2 „Prüfverfahren“ (vgl., Tabelle C-5, Anlage C), Teil 3 „Unterstützende Dokumentation und Leitfaden“, Teil 4 „Informationen für den Verfasser von Einzelbestimmungen - Zusammenfassungen zu den Prüfungen“, Teil 5(-2) „Leitfaden für das Festlegen von Prüfverfahren; Begriffe“.

Weitere Normen

Die Reihe DIN V 40046 behandelt weiter Prüfungen zu Umwelteinflüssen, vgl. Tabelle C-6, Anlage C. Zudem ist DIN EN 60529 (VDE 0470-1): „Schutzarten durch Gehäuse (IP-Code)“ (bein-

hält ferner auch eine Prüfung zur Beständigkeit von Gehäusen gegen Hochdruckreiniger) sowie EN 50102 „Schutzarten durch Gehäuse für elektrische Betriebsmittel (Ausrüstung) gegen äußere mechanische Beanspruchungen („Schlagfestigkeit“, IK-Code). Dies ist auch im Hinblick auf Vandalismus von Bedeutung.

Exposition von Betriebsmitteln der Instrumentierung durch Radioaktive Strahlung kann insbesondere nur infolge außergewöhnlicher Einwirkungen auf das Brückenbauwerk (Unfälle etc.) angesetzt werden und ist daher hier im Regelfall zu vernachlässigen.

Vorgehensvorschlag

Ausgehend von DIN EN 60721 Teil 3-4 „Klassen von Umwelteinflußgrößen und deren Grenzwerte - Hauptabschnitt 4: Ortsfester Einsatz, nicht wettergeschützt“ sind die Umgebungsbedingungen insbesondere die Klassen K, Z, M und ferner C anzusetzen (vgl. Tabelle C-3, Anlage C). Mittels DIN V 40046-721, Teil 4: „Ortsfester Einsatz nicht wettergeschützt“ lassen sich diese festgelegten Klassen von Umgebungsbedingungen in Umgebungsprüfverfahren umsetzen. Diese sind in den Prüfnormen der Reihe IEC 60068-2 (vgl. Tabelle C-5, Anlage C) festgelegt. Hierbei sind insbesondere die nachstehende Prüfungen relevant: Teile 2-1, 2-2, 2-6, 2-11, 2-14, 2-17, 2-18, 2-27, 2-30, 2-38, 2-64, 2-77, 2-84; ferner Teile 2-53, 2-57, 2-64, 2-80, 2-81. Die zu überprüfenden Anforderungen sind jeweils zu ermitteln und vorzugeben.

Die DIN EN 60721 ist auf die Behandlung elektrischer bzw. elektronischer Komponenten zugeschnitten. Eine Anwendung des MIL-STD-810 ist für den vorgesehenen Verwendungszweck vom Aufwand her nicht angemessen.

2.2.2.4 Eigenschaften der Stromversorgung

Die Eigenschaften der Stromversorgung der gesamten Kette zur Informationsverarbeitung d. h. aller benötigter Baugruppen berührt unmittelbar die funktionale Sicherheit des Gesamtsystems Intelligente Brücke.

Daher sind nachfolgend bestehende Regelungen aus verschiedenen Anwendungsbereichen zu diesem Thema im Überblick zusammengestellt. Ziel ist es, unter Berücksichtigung der verschiedenen Ansätze praxisnahe Anforderungen und maßgeschneiderte Prüf Szenarien für die Bau-

gruppen des Gesamtsystems Intelligente Brücke abzuleiten.

LV124

Durch die gestiegene Komplexität sowie die gestiegenen Anforderungen an die Ausfallsicherheit von elektrischen und elektronischen Baugruppen im Bereich Automotive sind diese Baugruppen bezogen auf das Bordnetz verschiedene Prüfungen zu unterziehen. Es handelt sich um Prüfungen für 12V- (LV124) und 48 V- (LV148) Gleichspannungs-Bordnetze.

Abgeprüft werden soll das Verhalten von stromversorgten Komponenten unter verschiedenen schwierigen Stromversorgungsbedingungen: u. a. Anstieg und Abfall der Versorgungsspannung, Überspannung, kurze Unterbrechungen, Kurzschlüsse, Verpolungen (z. B. bei Installation), Überströme, überlagerte Wechselfspannungen. Standardisiert sind im Regelwerk u. a. die Zeitverläufe für überlagerte Prüf-Spannungen.

Das Regelwerk LV 124 (bzw. VW 80000, OEM LV124, BMW GS 95024-2-1) gibt standardisierte Prüfungen im Rahmen einer umfangreichen Bordnetzsimulation vor [16]:

- E-01 Langzeit Überspannung
- E-02 Transiente Überspannung
- E-03 Transiente Unterspannung
- E-04 Jumpstart
- E-05 Load Dump
- E-06 Überlagerte Wechselfspannungen
- E-07 Langsames Absenken / Ansteigen der Versorgungsspannung
- E-08 Langsames Absenken / schnelles Ansteigen der Versorgungsspannung
- E-09 Resetverhalten
- E-10 Kurze Unterbrechung
- E-11 Startimpuls
- E-12 Spannungsverlauf mit Generatorregelung
- E-13 Unterbrechung Pin
- E-14 Unterbrechung Stecker
- E-15 Verpolung
- E-16 Masseversatz
- E-17 Kurzschluss Signalleitung
- E-18 Isolationswiderstand
- E-19 Ruhestrom
- E-20 Durchschlagsfestigkeit
- E-21 Rückspeisung
- E-22 Überströme

Ergebnis der Prüfungen sind die festgestellten Funktionszustände (A-F), die Aussagen über den Grad der Funktionsbeeinträchtigung der Baugruppen machen:

Funktionsstatus A: Während und nach der Beaufschlagung der Störeinflüsse werden alle Funktionen / Testparameter erfüllt.

Funktionsstatus B: Während der Beaufschlagung mit Störeinflüssen werden alle Funktionen erfüllt. Ein oder mehrere Funktionen liegen hinsichtlich der Testparameter *außerhalb der spezifizierten Toleranz*. Nach Ende der Beaufschlagung muss automatisch wieder Funktionsstatus A erreicht werden.

Funktionsstatus C: Während der Beaufschlagung mit Störeinflüssen werden eine oder mehrere Funktionen nicht erfüllt. Nach Ende der Beaufschlagung muss Funktionsstatus A wieder automatisch erreicht werden. undefinierte Funktionen dürfen zu keiner Zeit auftreten.

Funktionsstatus D: Während der Beaufschlagung mit Störeinflüssen werden eine oder mehrere Funktionen nicht erfüllt. Nach der Beaufschlagung muss Funktionsstatus A wieder manuell erreicht werden können (Betriebsartenwechsel, Reset, Sicherung auswechseln). undefinierte Funktionen dürfen zu keiner Zeit auftreten.

Funktionsstatus E: Während der Beaufschlagung mit Störeinflüssen werden eine oder mehrere Funktionen nicht erfüllt. Die Baugruppe muss nach der Beaufschlagung repariert bzw. ausgetauscht werden.

EN 50155

Die Norm EN 50155 „Bahnanwendungen - Elektronische Einrichtungen auf Schienenfahrzeugen“ wird bei der Konstruktion, Fertigung und Prüfung von auf Schienenfahrzeugen eingebauten elektronischen Betriebsmitteln zugrundegelegt. Sie beschreibt zudem die elektrischen sowie die Umweltbedingungen für den Betrieb. Sie gilt für alle elektronischen Betriebsmittel hinsichtlich Steuerung, Regelung, Schutz, Diagnose und Versorgung von auf Schienenfahrzeugen installierter Komponenten. Die Norm umfasst Betriebsbedingungen, Konstruktionsanforderungen, Prüfung der elektronischen Betriebsmittel, Dokumentation sowie grundlegende Hardware- und Softwareanforderungen.

Die Funktionsfähigkeit der Betriebsmittel soll über 24 Stunden pro Tag über mindestens 20 Jahre

sichergestellt sein. Es gelten u. a. folgende Prüf-Rahmenbedingungen:

- Variation Eingangsspannung:
System mit 110 VDC darf die Eingangsspannung im Bereich von 77 bis 137,5 VDC (bei 110 VDC) zeitlich unbegrenzt, 66 bis 154 VDC für eine Periode von 0,1 s,
- Welligkeit der Eingangsspannung:
bis zu 15 % der durchschnittlichen Spannung,
- Eingangsspannungsschöße:
bei 110 V Test mit 1,4-facher Überspannung (154 VDC) über 1 s (Quellenimpedanz 1°Ohm),

ferner:

- EMV: Transienten / Burstfähigkeit nach EN 50121-3-2 / EN 61000-4-4, Einstrahlungsfestigkeit Funksender / Abstrahlung von Funkwellen nach EN 50121-3-2,
- Umgebungstemperatur: - 4 bis +85°C sowie thermischer Schock 3°C/s,
- rel. Feuchte: bis 3 Tage 95%
- Umwelteinflüsse: leitfähiger Staub, Ölnebel, Sprühsalz, Schwefeldioxid,
- Kühlung: über reine Konvektion (da Wartungsarm),
- Stoß und Vibration: Testmethoden/ Grenzwerte nach EN 61373.

Hinsichtlich der Stromversorgung bietet die EN 50155 weniger Testszenarien als die LV124, allerdings ergänzend als Dauerhaftigkeitsanforderung eine Sicherstellung der Funktionsfähigkeit über 20 Jahre bei 24 h /Tag Nutzung.

Vorgehensvorschlag

Hinsichtlich der Stromversorgung der Baugruppen der Intelligenten Brücke am Bauwerk ist grundsätzlich zu unterscheiden, ob die Stromversorgung über das (a) öffentliche Versorgungsnetz oder (b) energieautark erfolgen soll.

Für den Fall (a) können auf der Versorgungsnetzseite mit einer Anpassung an an 230 VAC Versorgungsspannung die Prüfkriterien der EN 50155 „Variation der Eingangsspannung“ sowie „Welligkeit der Eingangsspannung“ in entsprechend angepasster Weise angewendet werden. Diese Kriterien gelten für eingebettete PC's, Router und Gateways am Bauwerksübergabepunkt. Für kabelgebundene Sensorik, die i. d. R.

über Netzteile betrieben wird – die Versorgungsspannung überschreitet hier selten 50 VDC – können einzelne Prüfszenarien in Anlehnung an LV124 / LV148 festgelegt werden (z.B. E-01, E-02, E-03, E-06, E-07, E-08, E-016, E-17, E-20, E-22).

Soll die Funktion der Baugruppe auch über diese Szenarien hinaus erhalten bleiben - insbesondere im Hinblick auf Stromausfälle – ist eine unterbrechungsfreie Stromversorgung (USV) mit Pufferakkumulator vorzusehen. Diese kann neben Stromausfall auch vor Störungen wie Unterspannung, Überspannung, Frequenzänderungen und Oberschwingungen schützen. Je nach Auslegung arbeitet die Umschaltung auf Akkumulatorbetrieb bei Störungen vollständig unterbrechungsfrei bzw. mit einer Verzögerung von wenigen Millisekunden.

Bei energieautarken Konzepten (Fall (b)) ist i. d. R. zu unterscheiden zwischen Stromversorgung des Bauwerksübergabepunkts und Energiebereitstellung auf Sensorebene [17]. Hierbei sind für beide Bereiche die Stromversorgungskomponenten (Photovoltaik, Kleinwindenergieanlagen, Piezo-Generatoren, Energiespeicher etc.) so auszulegen, dass unter allen möglichen metrologischen Rahmenbedingungen eine Verfügbarkeit der Stromversorgung von 100% sichergestellt ist. Unabhängig von der Verfügbarkeit können Störungen wie Unterspannung, Überspannung, und kurze Unterbrechungen im Millisekundenbereich auftreten. Somit sind für eingebettete PC's, Router, Gateways sowie Komponenten der Sensorik und Datenweiterverarbeitung im Hinblick auf schwierige Stromversorgungsbedingungen entsprechende Anforderungen festzulegen. Die Versorgungsspannung aller Komponenten überschreitet auch hier selten 50 VDC, so dass wiederum Kriterien in Anlehnung an LV124/ LV148 angelegt werden können. Für höchste Sicherheitsanforderungen (Anwendungsfall c) „Informationsdaten für andere Verkehrsinfrastrukturelemente / Steuerung von Bauwerksparmetern“) ist eine energieautarke Stromversorgung nicht anwendbar.

Im Bereich der Verkehrsbeeinflussungsanlagen wird von einer hohen Verfügbarkeit des Versorgungsnetzes ausgegangen. Daher ist planmäßig keine Notstrom-/unterbrechungsfreie (USV) Stromversorgung vorgesehen. Zudem gelten bei

Nichtbetrieb der Anlage angebrachte Straßenverkehrszeichen.

2.2.2.5 Elektromagnetische Verträglichkeit der Komponenten

EU-Richtlinien legen für Produkte und technische Anlagen allgemeine Sicherheits- und Gesundheitsanforderungen fest. Die elektromagnetische Verträglichkeit ist eine Querschnittsdisziplin, die branchen- und produktübergreifend alle elektrischen und elektronischen Baugruppen, Geräte, Systeme und Anlagen umfasst. Die Anforderungen hierzu definiert die Europäische Richtlinie zur elektromagnetischen Verträglichkeit 2014/30/EU vom 29. März 2014 [18]. Zudem legt die Richtlinie Anforderungen an das Konformitätsbewertungsverfahren und die CE-Kennzeichnung, sowie Anforderungen an ortsfeste Anlagen fest. Die nationale Umsetzung hierzu ist das „Gesetz über die elektromagnetische Verträglichkeit von Betriebsmitteln (Elektromagnetische-Verträglichkeit-Gesetz - EMVG) vom 14. Dezember 2016 [19]. Die technische Konkretisierung erfolgt mittels harmonisierter Normen. Bei den die EMV betreffenden Normen wird in Fachgrundnormen (z. B. Störfestigkeit / Störaussendung für Industriebereiche, z. B. Reihe EN 61000-6), Produktnormen (Geräte, Vorrichtungen, Maschinen etc., die von EMV betroffen sein können, z. B. EN 50370-2 „Werkzeugmaschinen / Störfestigkeit“) und Prüfnormen (z. B. Reihe EN 61000-4, vgl. Tabelle C-7, Anlage C), unterschieden. DIN EN 50293/VDE 0832-200 „Straßenverkehrs-Signalanlagen - Elektromagnetische Verträglichkeit“ beinhaltet Anforderungen an die EMV von Straßenverkehrs-Signalanlagen.

Die EU-EMV-Richtlinie definiert sinngemäß: „Elektromagnetische Verträglichkeit“ ist die Fähigkeit eines elektrischen / elektronischen Betriebsmittels (d. h. Geräte und ortsfeste Anlagen), in seiner elektromagnetischen Umgebung zufriedenstellend zu arbeiten (passives Störverhalten), ohne elektromagnetische Störungen zu verursachen (aktives Störverhalten), die für andere in dieser Umgebung vorhandene Betriebsmittel unannehmbar wären; weiter: „Störfestigkeit“ ist die Fähigkeit eines Betriebsmittels, unter Einfluss einer elektromagnetischen Störung ohne Funktionsbeeinträchtigung zu arbeiten.

Die Übertragung von Störgrößen zwischen den Betriebsmitteln kann galvanisch (drahtgebun-

den), kapazitiv (über elektrische Felder), induktiv (über magnetische Felder) sowie über „Strahlung“ (Hochfrequenzfelder) erfolgen. Somit können sowohl niederfrequente (> 0 Hz bis 50 kHz) als auch hochfrequente Signale (> 50 kHz bis GHz-Bereich) Gegenstand der Prüfungen von Störfestigkeit und Störaussendung eines Betriebsmittels sein.

Prüfungen zur Störaussendung (Emission) eines Betriebsmittels sind insbesondere in der Normenreihe EN 61000-3 zusammengefasst, Prüfungen zur Störfestigkeit (Immunität) in der Normenreihe EN 61000-4. Bei Störfestigkeitsprüfungen wird die Reaktion des Prüflings bzw. der Anlage hierauf (vergleichbar den Störungen bei der Stromversorgung in der LV 124) durch drei Kriterien unterschieden [20]:

Kriterium A: Der Prüfling muss spezifikationsgemäß weiterarten, ohne Beeinträchtigung des Betriebsverhaltens / ohne Funktionsausfall (minimale Beeinträchtigung des Betriebsverhaltens, dies darf der Hersteller deklarieren).

Prüfung u. a. von: EM-HF-Feld über Luft, EMF leitungsgebunden, Magnetfeld energietechnischer Frequenz, Spannungsschwankung Netzeingang.

Kriterium B: Während des Störeinflusses darf eine Beeinträchtigung des Betriebsverhaltens auftreten. Die Herabsetzung des Betriebsverhaltens muss durch den Hersteller deklariert werden. Nach Beendigung der Prüfung muss der Prüfling gemäß Spezifikation bzw. Kriterium A weiterarbeiten. Die eingestellte Betriebsart darf sich nicht ändern. Es darf kein Datenverlust entstehen.

Prüfung u. a. von: Burst-Störung, elektrostatischen Entladungen, Stoßspannungen.

Kriterium C: Die Funktion des Prüflings darf ausfallen. Der Prüfling muss von selbst wieder in einen funktionsfähigen Zustand übergehen bzw. manuell in diesen zu bringen sein.

Prüfung u. a. von: Spannungseinbruch, elektrostatischen Entladungen, Stoßspannungen.

Die Überwachung des Prüflings während des Tests erfolgt i. d. R. mit Datenloggern bzw. Testsoftware.

Für Geräte der leitungsgebundenen Telekommunikation und Informationstechnik gelten die Normen DIN EN 55022/VDE 0878-22 „Einrichtungen der Informationstechnik - Funkstöreigenschaften - Grenzwerte und Messverfahren“ (Stör-

aussendung) sowie DIN EN 55024/ VDE 0878-24 „Einrichtungen der Informationstechnik - Störfestigkeitseigenschaften - Grenzwerte und Prüfverfahren“ (Störfestigkeit).

Baugruppen mit Funkübertragungsfunktionen müssen den Europäischen ETSI-Normen (European Telecommunications Standards Institute) entsprechen.

Vorgehensvorschlag

Von Bedeutung sind insbesondere bei den Baugruppen der Instrumentierung die Prüfungen zur Störfestigkeit (Immunität, Normenreihe EN 61000-4). Als grundlegende Prüfungen sind zu hier zu nennen: schnelle transiente leitungsgebundene Störgrößen (Burst, Teil 4-4), leitungsgebundene Stoßspannungen (Surge, Teil 4-5), elektrostatischen Entladungen (Teil 4-2), leitungsgeführte HF (150 kHz - 80 MHz, Teil 4-6), HF-Einstrahlung (80 MHz – 1 GHz bzw. digitale Mobiltelefone, Teil 4-3), Einstrahlung Magnetfelder energietechnischer Frequenz, Teil 4-8).

Eine Sonderstellung nehmen die Prüfungen zur Qualität der Stromversorgung ein: Spannungseinbrüche, Kurzzeitunterbrechungen und Spannungsschwankungen beim Wechselspannungsversorgungsnetz (Teil 4-11; Netzstrom > 16 A: Teil 4-34) und Gleichspannungsversorgungsnetz (Teil 4-29; Wechselanteilspannungs-Störfestigkeit in Teil 4-17). Sie ergänzen somit die in Kap. 2.2.2.4 betrachteten Prüfungen zur Stromversorgung.

Für Baugruppen der Instrumentierung, die Geräte der leitungsgebundenen Telekommunikation und Informationstechnik sind, sind die grundlegenden Anforderungen nach DIN EN 55022 und DIN EN 55024 zu erfüllen.

2.2.2.6 Grundsätze zum Aufbau betriebssicherer und zuverlässiger Hardware

Die Grundsätze zum Aufbau besonders zuverlässiger Baugruppen ergeben sich aus dem Stand der Technik, diese sind insbesondere [6]:

- Minimierung der Platinenzahl,
- Minimierung der Anzahl Steckverbindungen,
- Minimierung des Einsatzes von Bauelementsockeln,
- Verwendung integrierter Schaltkreise höherer Integrationsdichte,
- gute Kühlung,

- Staub-/Feuchtigkeitsschutz,
- galvanische Trennung an Schnittstellen,
- Verwendung stabiler Netzteile,
- elektrische/magnetische Abschirmung,
- Überspannungsschutz,
- Redundanzausführung.

Zudem ist eine großzügige Dimensionierung von Betriebsmitteln, d. h. Bauteilen, Baugruppen und Modulen hier von Bedeutung. Weiterhin ist eine montagesichere Auslegung (z.°B. eindeutiger Farbcode / Beschriftung von Kabeln / Steckverbindern, mechanischer bzw. elektronischer Verpolungsschutz usw.) für den Aufbau insbesondere am Bauwerk erforderlich. Im Bereich der Zentrale sind insbesondere Standards für die zu beschaffende IT und deren Vernetzung zu berücksichtigen.

Zudem ist die Hardware der Funktionsgruppen am Bauwerk situationsbezogen so auszulegen, dass ein Schutz vor *Vandalismus* gegeben ist. Dies betrifft insbesondere den Schutz vor mechanischer Beschädigung, Benetzung mit Flüssigkeiten bzw. chemisch aktiven Stoffen (vgl. Umwelteinflußgrößen Kap. 2.2.2.3) sowie Graffiti und Einwirkung durch Feuer.

2.2.3 Anforderungen an die Gesamtanlage

2.2.3.1 Funktionale Sicherheit

DIN EN IEC 61508

Die Normreihe DIN EN IEC 61508 „Funktionale Sicherheit sicherheitsbezogener elektrischer / elektronischer / programmierbarer elektronischer Systeme“ beinhaltet als Sicherheitsgrundnorm Anforderungen an sicherheitskritische Systeme unter Verwendung von E/E/PES (elektrischen / elektronischen / programmierbar elektronischen Systemen) für sicherheitsrelevante Funktionen und Anwendungen über ihren Lebenszyklus hinweg (Konzept, Entwurf, Durchführung, Betrieb, Instandhaltung, Außerbetriebnahme). Dies ist u. a. insbesondere in den Bereichen Prozessindustrie, Kernkraftanlagen, Bahnanwendungen, Maschinen, Straßen-Fahrzeuge und Luftfahrt von Bedeutung (Implementierungen der DIN EN IEC 61508 für o. g. Anwendungsgebiete sind insbesondere IEC 61511, IEC 61513, EN 50128, IEC 62061, ISO 26262). Für umzusetzende Sicherheitsanforderungen werden Sicherheitsanforderungsstufen (Safety Integrity Level SIL) mittels Gefährdungs- und Risikoanalyse

ermittelt und über den Lebenszyklus berücksichtigt (vgl. auch EN ISO 12100 zur Risikobewertung). Die Sicherheitsanforderungsstufen sind ein quantifiziertes Maß für die Wirksamkeit bzw. Leistungsfähigkeit von Sicherheitsfunktionen.

Weitere Regelungen

Für den Maschinen- und Anlagenbau gilt für das In-den-Verkehr-Bringen von Produktionsgütern zur Etablierung eines einheitlichen Schutzniveaus die Richtlinie 2006/42/EG (Maschinenrichtlinie, hier Unfallverhütung) sowie die die Richtlinie 2014/35/EU (Niederspannungsrichtlinie, hier Gesundheit und Sicherheit).

Sicherheit kann generiert werden durch

- Zuverlässigkeit der Ausübung der Sicherheitsfunktion sowie
- unmittelbare Abschaltung sicherheitsgefährdender Systeme.

Die Zuverlässigkeit von Geräten / Komponenten / Software wird mit Kennziffern u. a.

- Wahrscheinlichkeit eines gefahrbringenden Versagens pro Betriebsstunde ‚PFH‘ sowie
- Wahrscheinlichkeit eines gefahrbringenden Versagens bei Anforderung ‚PFD‘

beschrieben (vgl. Tabelle 2.2).

Tabelle 2.2: Sicherheitsanforderungsstufen und zugehörige Wahrscheinlichkeiten eines gefahrbringenden Versagens

SIL	PFH	PFD
1	$10^{-5} \dots 10^{-6}$	$10^{-1} \dots 10^{-2}$
2	$10^{-6} \dots 10^{-7}$	$10^{-2} \dots 10^{-3}$
3	$10^{-7} \dots 10^{-8}$	$10^{-3} \dots 10^{-4}$
4	$10^{-8} \dots 10^{-9}$	$10^{-4} \dots 10^{-5}$

Systematische Fehler (durch Diagnoseverfahren schwer zu identifizieren) betreffen alle Produkte einer Serie, während zufällige Fehler nur einen Teil hiervon betreffen können.

Zudem wird hinsichtlich der Ausfallarten - ob sie in Richtung „sicher“ oder in Richtung „unsicher“ gehen - klassiert sowie ob sie „erkannt“ oder „nicht erkannt“ werden. Kritisch ist die Kombination „unsicher - nicht erkannt“ zu bewerten. Ein Zuverlässigkeitskriterium ist der „Anteil Sicherer Ausfälle“ ‚SFF‘. Manipulation / nichtsachgemäße

Nutzung wird bei der Fehlerbetrachtung nicht berücksichtigt (vgl. [21]).

Für Zwei und Mehr-Fehlersicherheiten sind Konzepte in Anlehnung an die EN ISO 13849 „Sicherheit von Maschinen - Sicherheitsbezogene Teile von Steuerungen“ einzubeziehen.

Die Einschätzung der Sicherheitsanforderungsstufen ergibt sich aus dem entstehenden Risiko. Dieses Risiko ermittelt sich aus der Schwere des möglichen Schadens und der Wahrscheinlichkeit seines Eintretens.

Sicherheitsfunktionen ergeben sich durch Reihen- (bzw. Parallel-) Schaltung sicherheits-relevanter Funktionsblöcke z. B. *Information erfassen* (Sensor) → *Information Auswerten* (Auswerteeinheit) → *Aktion ausführen* (Schaltfunktion bzw. über Aktor / Stellglied). Ausfallraten des Gesamtsystems ermitteln sich aus den Ausfallraten der einzelnen Funktionsblöcke durch Berücksichtigung der ihrer Verschaltung / Architektur (z. B. Reihen- bzw. Parallelschaltung). Für zertifizierte Komponenten liegen herstellerseitig garantierte maximale Ausfallraten vor (vgl. [22]).

Berücksichtigt werden bei der Risikoanalyse kann zudem, wenn Komponenten langjährig „betriebsbewährt“ sind bzw. diese eine Eingabe ausschließlich prozessbezogener Parameter in geschützter Form erlauben.

Bei hohen Sicherheitsanforderungen kann die Validierung der Soft- und zugehörigen Hardware durch einen unabhängigen zertifizierten Gutachter erforderlich werden (vgl. u. a. EN 50128, Software für Eisenbahnsteuerungs- und Überwachungssysteme).

Weitere Normen von möglicher Bedeutung in diesem Themenbereich sind: DIN EN 62506 „Verfahren für beschleunigte Produktprüfungen“, DIN EN 60300-3-1 „Zuverlässigkeitsmanagement - Teil 3-1: Anwendungsleitfaden; Verfahren zur Analyse der Zuverlässigkeit; Leitfaden zur Methodik“; DIN EN 61014 „Programme für das Zuverlässigkeitswachstum“; DIN EN 61124 „Prüfungen der Funktionsfähigkeit - Prüfpläne für konstante Ausfallrate und konstante Ausfalldichte“; DIN EN 61164 „Zuverlässigkeitswachstum - Statistische Prüf- und Schätzverfahren“ sowie VDI/VDE 3527 „Kriterien zur Gewährleistung der Unabhängigkeit von Sicherheitsfunktionen bei der Leittechnik-Auslegung“ [23].

Zur Erhöhung der funktionalen Sicherheit kann auch das Vorsehen eines Selbstdiagnose-Systems gehören. In der Verfahrenstechnik wird bei Absicherungskonzepten für physikalische / chemische Verfahren

(a) für zulässige Parameterbereiche unterschieden zwischen

- Betriebsebene (Reglersteuerung),
- Überwachungsebene (Alarm, (Zwangs-)Abschaltung),
- Schutzebene (z. B. Sicherheitsventil, Berstscheibe etc. , hilfsenergieunabhängig)

sowie

(b) für unzulässige Parameterbereiche in die

- Schadensbegrenzungsebene (z. B. Luft-/Abgas-Überwachung).

RTCA DO-178B – EUROCAE ED-12B

Die Norm DO-178B (ED-12B) "Software Considerations in Airborne Systems and Equipment Certification" ist ein Sicherheitsstandard betreffend Softwareentwicklungen im sicherheitskritischen Bereich der Luftfahrt (vgl. [19]). Vergleichbar den Sicherheitsanforderungsstufen SIL 4 bis SIL 0 der DIN EN IEC 61508 sind fünf Stufen DAL (Development Assurance Level) A bis E definiert. Der Ausfall der Software einer entsprechenden Klassifizierung führt hiernach (vgl. [24]) bei

- Level A zu einem sog. *katastrophalen Zustand* und verhindert den sicheren Weiterflug und / oder die Landung; Häufigkeit: weniger als einmal pro Milliarde Flugstunden (z. B. Ausfall Triebwerkssteuerung)
- Level B zu einem *gefährlichen Zustand* und reduziert die Sicherheitsreserven eines Flugzeugs auf ein Minimum; Häufigkeit: weniger als einmal pro zehn Millionen Flugstunden (z. B. Ausfall Hauptfluginstrumente)
- Level C führt zu einem *größeren Ausfallzustand* mit sinkenden Sicherheitsmargen; Häufigkeit: weniger als einmal pro 100.000 Flugstunden (z. B. Ausfall Autopilot / automatische Landesysteme)
- Level D führt zu einem *geringen Ausfallzustand*; Häufigkeit: weniger als einmal pro 100.000 Flugstunden (z. B. Ausfall Transponder / Kommunikationstechnik)

- Level E führt zu *keinen nachteiligen Auswirkungen* auf die Sicherheit (z. B. Ausfall Entertainment-Funktionen / Internetzugang)

Schwerpunkt des Dokuments ist die Sicherheit des Softwaredesigns, welches insbesondere durch die vorstehenden Stufen definiert ist.

Vergleichbar der DIN EN IEC 61508 erfolgt eine Betrachtung über den gesamten Softwarelebenszyklus.

Der gesamte Software-Entwicklungsprozess (d. h. das Vorgehensmodell zur Softwareentwicklung) wird unterstützt durch die Instrumente Software-Planungsprozess, Software-Entwicklungsprozess, Software-Verifikation, Software-Konfigurationsmanagement, Software-Qualitätssicherung, Zertifikations-Verbindungsprozess sowie Behandlung von Software, die zu früherem Zeitpunkt unter geringeren Sicherheitsstandards erstellt wurde.

Ergebnisse hierzu werden in standardisierten Berichten dokumentiert. Nach Fertigstellung erfolgt Qualifizierung / Zertifizierung der Software.

Parallel hierzu kann ergänzend das Capability Maturity Model (CMM) bzw. (Reifegradmodell des Softwareprozesses hinsichtlich Softwareentwicklung, Wartung, Konfiguration usw.) bzw. Verfahren des Capability Maturity Model Integration (CMMI) angewendet werden. Fragen insbesondere der organisatorischen Fortentwicklung sind dort Bestandteil (vgl. [24]).

EUROCAE ED-153

Die Erstellung und Pflege von sicherheitsrelevanter Software für die Flugsicherung (Air Navigation Service, ANS) unterliegt EUROCAE ED-153 "Guidelines for ANS Software Safety Assurance" (vgl. [25]).

Vorgehensvorschlag

Eine qualitätsgesicherte Softwareentwicklung sowie ein qualitätsgesichertes Softwaretesting sind Grundbedingung für die Erreichung definierter Sicherheitsanforderungen an Software im Rahmen der funktionalen Sicherheit. Gleiches gilt analog für die Hardwareentwicklung und -integration. Die vollständige Qualitätssicherung beider Bereiche bedingt einander. Hierbei geht es auch um die Vermeidung bzw. Begrenzung schädlicher Wirkungen im Umfeld u. a. durch Implementierung von Schutzfunktionen.

DIN EN IEC 61508 „Funktionale Sicherheit sicherheitsbezogener elektrischer / elektronischer / programmierbarer elektronischer Systeme“ als Sicherheitsgrundnorm sowie die unter diesem Abschnitt dargestellten weiteren Normen stellen eine Ausgangsbasis zur Einordnung und Bewertung Sicherheitsrelevanter Funktionen für den Produkt-/ Anlagenentwurf im Bereich Intelligente Brücke dar.

In Analogie zu den Vorgaben in der DIN EN 50556 / VDE 0832-100 „Straßenverkehrs-Signalanlagen“ (Entwurf November 2017) soll bei möglichen Fehlern das System „Intelligente Brücke“ einen sicheren Zustand annehmen. Im Sinne einer „Ausfalleffekt-Analyse“ sind daher Szenarien von Ausfällen kritischer Komponenten bzw. deren Signalwege durchzuspielen und in Bezug auf mögliche Auswirkungen zu dokumentieren (auch in Bezug auf die gesamte Anlage). Im Betrieb sollen mögliche Ausfälle („Ausfallarten“) in Bezug auf die verursachende Komponente dargestellt werden und somit unmittelbar für den Betreiber erkenn- und lokalisierbar sein. Ein lückenlos während des Betriebs (bzw. Testbetriebs) mitgeschriebenes Fehlerprotokoll gibt Informationen über die Robustheit der Funktionalität sowie dem Hersteller Hinweise zur Fehlerbehebung und somit zur kontinuierlichen Produktverbesserung. Eine Änderung von Betriebsparametern der Anlage sollte in jedem Fall zwingend automatisiert digital protokolliert werden.

Für ein hohes Niveau der funktionalen Sicherheit (d. h. hohe Sicherheitsanforderungen) kann als weiterer Qualitätssicherungsschritt ergänzend die Validierung der Soft- und zugehörigen Hardware durch einen unabhängigen zertifizierten Gutachter in Erwägung gezogen werden (im Sinne einer Fremdüberwachung).

2.2.3.2 Elektromagnetische Verträglichkeit der Gesamtanlage

Ortsfeste Anlagen – so auch die Betriebsmittel der Instrumentierung von Brückenbauwerken in ihrer Gesamtheit am Bauwerk – „sind eine besondere Kombination von Geräten unterschiedlicher Art und gegebenenfalls weiteren Einrichtungen, die miteinander verbunden oder installiert werden und dazu bestimmt sind, auf Dauer an einem vorbestimmten Ort betrieben zu werden“.[26]

„Deshalb sollte für ortsfeste Anlagen und Geräte ein kohärentes und umfassendes System wesentlicher Anforderungen gelten.“ [18, (26)]

„Wegen der besonderen Merkmale ortsfester Anlagen ist für sie keine EU-Konformitätserklärung und keine Anbringung der CE-Kennzeichnung erforderlich.“ [19, (36)]

„Die Montage einer ortsfesten Anlage kann den Einbau mehrerer Geräte, darunter auch spezielle Geräte gemäß Artikel 13 Absatz 1 ('Konformitätsvermutung bei Betriebsmitteln') und andere, nicht unter die EMV-Richtlinie fallende Einrichtungen, umfassen. Zur Erfüllung der Schutzanforderungen und Dokumentationspflichten kann es daher ratsam sein, die EMV-Eigenschaften all dieser Einrichtungen in den technischen Unterlagen anzugeben.“ „Voraussetzung ist jedoch, dass die Unterlagen bestimmten Anforderungen entsprechen; hierzu gehören auch Hinweise auf Vorkehrungen, die getroffen werden müssen, um die EMV-Eigenschaften der ortsfesten Anlage nicht zu beeinträchtigen.“ [26]

„Aus diesem Grund müssen alle Angaben gemacht werden, die für das korrekte Zusammenbauen und Montieren erforderlich sind. Wenn einem Gerät keine Hinweise beigefügt sind, muss unterstellt werden, dass das Gerät von den Nutzern ohne besondere Berücksichtigung der EMV-Aspekte montiert werden kann und dennoch die Schutzanforderungen der EMV-Richtlinie erfüllt.“ [26]

Fälle, in denen genauere Angaben notwendig sind:

- wenn es im Zusammenhang mit der EMV bestimmte Erdungsaspekte in Bezug auf das Gerät gibt, wobei die Erdung aus Sicherheitsgründen selbstverständlich nicht gefährdet werden darf;
- wenn das Gerät an andere Geräte angeschlossen wird, kann eine bestimmte Art von Kabeln erforderlich sein (z.B. geschirmt, doppelt geschirmt). Hierauf müsste gegebenenfalls hingewiesen werden, damit die Montage richtig durchgeführt wird.

Ferner ist auf jede für die Einhaltung der Schutzanforderungen notwendige Vorkehrung bei der Nutzung und Wartung des Gerätes hinzuweisen. Und schließlich muss die Gebrauchsanleitung Angaben zur bestimmungsgemäßen Nutzung des Gerätes enthalten.“ [26]

Im Ergebnis bedeutet dies, dass der Lieferant der Instrumentierung durch einen durch entsprechende geeignete Betriebsmittel sowie einen jeweils individuell geeigneten Aufbau am Bauwerk für die vorliegenden EMV-Bedingungen vor Ort die Vorgaben der EMV-Richtlinie erfüllen muss und dies durch entsprechende Nachweise bzw. plausible Argumentationen vorab bestätigen muss.

Eine Beeinflussung durch Störgrößen kann insbesondere durch BFStr-eigene Infrastruktur (u. a. telematische Erfassungs- und Anzeigevorrichtungen (Verkehrsbeeinflussungsanlagen), Vorrichtungen zur Geschwindigkeitsüberwachung, AUSA-Netz/Notruftechnik, Straßenzustands- und Wetterinformationssystem (SWIS)) als auch durch weitergehende Infrastrukturelemente im näheren Umfeld (Hochspannungsfreileitungen, elektrifizierte Bahntrassen, Sendeanlagen, Mobilfunk-Basisstationen, Radaranlagen, Richtfunkstrecken etc.) hervorgerufen werden.

2.2.3.3 Elektromagnetische Umweltverträglichkeit

Der Schutz von Mensch und Umwelt (biologische Wirkungen) wird mittels der Elektromagnetischen Umweltverträglichkeit (EMVU) betrachtet.

Mit der Verordnung über elektromagnetische Felder (26. BImSchV) vom 16. Dezember 1996 (Sechszwanzigste Verordnung zur Durchführung des Bundes-Immissionsschutzgesetzes) [27] unterliegt dieser technische Bereich in Deutschland einer gesetzlichen Regelung. Die „Empfehlung des Rates vom 12. Juli 1999 zur Begrenzung der Exposition der Bevölkerung gegenüber elektromagnetischen Feldern (0 Hz bis 300 GHz)“ (1999 / 519 /EG) [28] gibt Grenzwerte von Expositionen elektromagnetischer Felder auf europäischer Ebene vor.

Grundlage für den Schutz von Beschäftigten vor Gefährdungen durch elektromagnetische Felder ist das Arbeitsschutzgesetz sowie die 2016 in Kraft getretene „Arbeitsschutzverordnung zu elektromagnetischen Feldern – EMFV“. Hiermit wurde die Arbeitsschutz-Richtlinie 2013/35/EU [29] in nationales Recht umgesetzt. Zudem ist die „Berufsgenossenschaftliche Vorschrift für Sicherheit und Gesundheit bei der Arbeit“ (Unfallverhütungsvorschrift) BGV B11 „Elektromagnetische Felder“ (bisher VBG 25) [30] zu nennen.

Vorgehensvorschlag

Die vorgennannten Verordnungen und Vorschriften sind insbesondere bedeutsam im Bereich der Energieerzeugung und Übertragung, Funk- und Radarsendeanlagen, industrieller Fertigungsverfahren (Elektroschweißverfahren, induktive Erwärmungsanlagen, Wärmebehandlungsanlagen/Härteöfen, HF-Trocknungsanlagen, Galvanikanlagen etc.) und der Medizintechnik (MRT). Bei den Betriebsmitteln der Instrumentierung der intelligenten Brücke ist – sofern sie grundlegende Anforderungen zur EMV erfüllen - davon auszugehen, dass die am menschlichen Körper auftretenden Expositionen deutlich unterhalb der dort festgelegten Grenzwerte bleiben und diese somit für diesen Einsatzbereich nicht relevant sind.

2.2.3.4 Funkanlagen und -module

Richtlinie 2014/53/EU des Europäischen Parlaments und des Rates vom 16. April 2014 über die Harmonisierung der Rechtsvorschriften der Mitgliedstaaten über die Bereitstellung von Funkanlagen auf dem Markt ersetzt die Richtlinie 1999/5/EG ("R&TTE", "Radio and telecommunication terminal equipment directive") [31]. Umgesetzt ist sie in nationales Recht mit dem Funkanlagengesetz (FuAG) vom 27. Juni 2017 [32], welches grundlegende Anforderungen an Funkanlagen regelt.

Hiernach müssen Funkanlage so konstruiert sein, dass „der Schutz der Gesundheit und Sicherheit von Menschen und Haus- und Nutztieren sowie der Schutz von Gütern sowie „die Erfüllung der in Anhang I der Richtlinie 2014/30/EU“...„genannten Anforderungen an die elektromagnetische Verträglichkeit“ gewährleistet.

Funkanlagen müssen „das Funkspektrum effektiv nutzen als auch eine effiziente Nutzung des Funkspektrums unterstützen“ sowie funktechnische Störungen vermeiden.

Das Funkanlagengesetz beinhaltet somit Elemente der EMVU und EMV bezogen auf Funkanlagen und ihre spezifischen Frequenzbereiche.

Am Markt bereitgestellte Funkanlagen und -module sowie selbstentwickelte müssen den Anforderungen genügen, sofern es sich nicht um „Erprobungsmodule, die von Fachleuten ausschließlich in Forschungs- und Entwicklungseinrichtungen für Forschungs- und Entwicklungszwecke verwendet werden“ handelt.

Ergebnis der Konformitätsbewertung ist eine CE-Kennzeichnung der Produkte.

2.2.3.5 Datenübertragung

Die Kommunikation der Funktionsgruppen erfolgt mittels Datenübertragungsprozessen nach festgelegten Datenübertragungsprotokollen (Software).

Auf der Hardwareseite wird zwischen drahtgebundener und kontaktloser (optischer (z. B. Infrarot) bzw. funkbasierter sowie induktiver) Übertragung unterschieden.

Aufgrund der heterogenen Struktur am Bauwerk und in der Zentrale / beim Anwender und der verschiedenen Übertragungsaufgaben können in einer Anlagenrealisierung unterschiedliche Datenübertragungsprozesse (z. B. serielle bzw. parallele Datenübertragung) zum Einsatz kommen. Hierbei können standardisierte Bus-Systeme (z. B. CAN-Bus) aber auch internetbasierte Protokolle zum Tragen kommen.

Die Übertragungsprozesse finden i. d. R. innerhalb der Funktionsgruppen des Bauwerks (Bild 1.2) und innerhalb der der Funktionsgruppen der Zentrale / Anwender statt (Bild 1.3) sowie vom Bauwerk zur Zentrale / zum Anwender.

Wesentliche Kriterien sind hierbei insbesondere:

- Datenübertragungsgeschwindigkeit (mit zusätzlichen Sicherheitsreserven),
- hardwarebezogene funktionale Sicherheit (z. B. Robustheit gegenüber äußeren Einflüssen hinsichtlich Funktion, z. B. EMV-Stabilität),
- softwarebezogene funktionale Sicherheit im Sinne der IT-Sicherheit (Kap. 2.2.3.6),
- Konformität zu normativen Kommunikationsstands (z. B. DIN EN 60870) sowie technischen Auflagen (z. B. Funkanlagengesetz),
- Energieverbrauch der Übertragungskomponenten (z. B. bei Energieautarkie) sowie
- Erweiterungs- und Zukunftsfähigkeit der Datenübertragungsprozesse.

Die Form und Art der Kommunikationsprozesse ist anforderungsbezogen festzulegen. Hierbei ist bevorzugt auf etablierte standardisierte Verfahren (z. B. Industriestandards) zurückzugreifen.

2.2.3.6 IT-Sicherheit

Informationssicherheit hat das Ziel, Informationen jeglicher Art und Herkunft zu schützen. Sie umfasst im Gegensatz zur IT-Sicherheit auch nichttechnische Aspekte. IT-Sicherheit konzentriert sich auf den Schutz elektronisch gespeicherter Informationen und deren Verarbeitung. Hierbei kann auch die funktionale Sicherheit berührt sein. IT-Sicherheit ist Teil des Lebenszyklus von Produkten und Anlagen.

Durch die fortschreitende Vernetzung IT-gestützter technischer Anlagen und Systeme gewinnt die IT-Sicherheit zunehmend an Bedeutung. Sie dient insbesondere den Schutzzielen

- Vertraulichkeit (Schutz von Daten vor unbefugter Preisgabe),
- Integrität (Manipulationsfreiheit und Unversehrtheit von IT-Systemen, IT-Verfahren und Daten) und
- Verfügbarkeit (Dienstleistungen / Funktionen stehen zum geforderten Zeitpunkt zur Verfügung).

Das IT-Sicherheitsgesetz [33] beinhaltet den Schutz kritischer Infrastrukturen sowie Sicherheitsanforderungen an diese, insbesondere der Sektoren Energie, Informationstechnik / Telekommunikation, Transport / Verkehr, Gesundheit, Wasserversorgung sowie Finanz- / Versicherungswesen. Hiernach sind Betreiber kritischer Infrastrukturen insbesondere verpflichtet, alle zwei Jahre die Erfüllung der dort festgelegten Anforderungen nachzuweisen.

BSI-KRITIS-V-Verordnung und BSI-Grundschutzkatalog

Ausgehend von ihrer Bedeutung bzw. Nutzungsintensität kritischer Infrastrukturen kann mit der KRITIS-V-Verordnung des Bundesamtes für Sicherheit in der Informationstechnik (BSI) [34] ermittelt werden welche Einrichtungen und Anlagen(-teile) unter das Gesetz fallen. „Verkehrssteuerungs- und Leitsysteme für das Netz der Bundesautobahnen“ fallen somit in den Geltungsbereich dieser Verordnung. Hierbei ist insbesondere auch das Instrument meldepflichtiger IT-Störungen vorgesehen.

Der Grundschutzkatalog des BSI (BSI-GSK) [35] (Umfang von mehr als 5080 Seiten) behandelt technische Sicherungsmaßnahmen sowie infrastrukturelle, organisatorische und personelle Schutzmaßnahmen. Hierzu gehört die Eta-

blierung eines Informationssicherheitsmanagementsystems (ISMS).

Folgende Bereiche sind in Form eines „Bausteinkatalogs“ einbezogen: übergreifende Aspekte, Infrastruktur, IT-Systeme, Netze und Anwendungen. Somit sind Personengruppen angesprochen aus den Bereichen Management, Haustechnik, weiterhin System-, Netzwerk- und Anwendungsadministratoren sowie Entwickler und IT-Nutzer.

Hinsichtlich der Gefährdungen weist der IT-Grundschutzkatalog im Rahmen der „Gefährdungskataloge“ folgende Kategorien auf

- elementare Gefährdungen,
- höhere Gewalt,
- organisatorische Mängel,
- menschliche Fehlhandlungen,
- technisches Versagen und
- vorsätzliche Handlungen.

Die für die Umsetzung des Grundschutzes notwendigen Maßnahmen der „Maßnahmenkataloge“ beziehen sich auf Infrastruktur, Organisation, Personal, Hardware / Software, Kommunikation und Notfallvorsorge.

Der Grundschutzkatalog ist kompatibel zur ISO/IEC 27001 und ermöglicht zunächst ein mittleres Schutzniveau. Konzeptionell werden aus Aufwandsgründen für die jeweiligen Gefährdungen pauschale Grundannahmen (u. a. nach Schadenshöhe und Eintrittswahrscheinlichkeit) anstatt detaillierter Risikoanalysen angesetzt. Für einen hohen / sehr hohen Schutzbedarf kann eine ergänzende Risikoanalyse (nach BSI-Standard 200-3) durchgeführt werden. Wesentliche BSI-Dokumente sind:

- 200-1: Managementsysteme für Informationssicherheit (ISMS),
- 200-2: IT-Grundschutz-Methodik,
- 200-3: Risikoanalyse auf der Basis von IT-Grundschutz,
- 100-4: Notfallmanagement.

Hinsichtlich der Einrichtung eines Notfallmanagements siehe auch BS 25999 zum Betrieblichen Kontinuitätsmanagement (BKM).

Die *Sicherheitsstrategie* ist Grundlage zur Etablierung eines *kontinuierlichen Sicherheitsprozesses*. Die Umsetzung erfolgt mithilfe eines *Sicherheitskonzepts* und einer *Sicherheitsorganisation*. Sicherheitsprozess und -konzept unterliegen

hierbei eigenen Lebenszyklen. Das Umsetzen des Grundschutzes zusammen mit dem Informationssicherheitsmanagementsystems kann durch eine Zertifizierung durch das BSI bestätigt werden.

Nur wenn IT-Systeme auch nachweislich technisch geschützt sind, besteht ein strafrechtlicher Schutz.

ISO/IEC 27000

Die Reihe ISO/IEC 27000 fasst verschiedene Standards zur Informationssicherheit zusammen. Inhalte der Normen ISO/IEC 27000 bis 27009 sind: Überblick über Managementsysteme für Informationssicherheit (ISMS), Anforderungen an ein ISMS, Auswahl und Umsetzung der Maßnahmen, Bewertung der Umsetzung und der Wirksamkeit der Maßnahmen, Rahmenempfehlungen zum Risikomanagement, Zertifizierung von ISMS, Einbindung sektorspezifischer Erweiterungen (z. B. Bereiche Energie, Cloud Computing, Finanzen). Das Vorgehensmodell arbeitet nach den Phasen „Plan-Do-Check-Act“.

Die Dokumente ISO/IEC 27010 bis 27019 sind sektorspezifische Normen.

ISO/IEC 15408

Die Norm ISO/IEC 15408 „Informationstechnik – IT-Sicherheitsverfahren – Evaluationskriterien für IT-Sicherheit“ beinhaltet allgemeine Kriterien und Vorgaben zur Prüfung und Bewertung der Sicherheitseigenschaften von *IT-Produkten*. Nach den Kriterien *Funktionalität* und *Vertrauenswürdigkeit* (Wirksamkeit der verwendeten Methoden, Korrektheit der Implementierung, Qualität) erfolgt eine Sicherheitsbetrachtung auf Basis eines erstellten Schutzprofils. Für die produkt- bzw. anlagenspezifisch ausgewählten funktionalen Sicherheitsanforderungen erfolgt eine Evaluierung. Die geforderte Vertrauenswürdigkeit und die Prüftiefe werden durch Evaluation Assurance Level (EAL) festgelegt [36].

Die Norm umfasst die Teile:

- Teil 1: Einführung und allgemeines Modell
- Teil 2: Funktionale Sicherheitsanforderungen,
- Teil 3: Anforderungen an die Vertrauenswürdigkeit.

Beide Aspekte *Funktionalität* und *Vertrauenswürdigkeit* werden vom Hersteller des IT-Produkts zu Beginn der Evaluation schriftlich festgelegt.

Mit z. T. auch untereinander abhängigen *Funktionalitätsklassen* wird die Sicherheitsfunktionalität (im Sinne der IT-Sicherheit) eines zu prüfenden Produkts beschrieben, d. h. insbesondere zu den Bereichen Sicherheitsprotokollierung, Kommunikation, Kryptographische Unterstützung, Schutz der Benutzerdaten, Identifikation und Authentifizierung, Sicherheitsmanagement, Privatsphäre, Schutz der Sicherheitsfunktionen, Betriebsmittelnutzung, Schnittstellen und „vertrauenswürdige Pfade/Kanäle“.

Es werden sieben Stufen der Vertrauenswürdigkeit zur Korrektheit der Implementation eines IT-Systems spezifiziert (Evaluation Assurance Level, EAL):

- EAL 1: funktionell getestet,
- EAL 2: strukturell getestet,
- EAL 3: methodisch getestet und überprüft,
- EAL 4: methodisch entwickelt, getestet und geprüft,
- EAL 5: semiformal entwickelt und getestet,
- EAL 6: semiformal verifizierter Entwurf und getestet,
- EAL 7: formal verifizierter Entwurf und getestet.

Mit steigender Stufe erhöhen sich die Anforderungen an die Dokumentation und Prüfung eines Produktes (Prüftiefe).

Das Produkt kann von einer akkreditierten Prüfstelle evaluiert werden und anschließend bei einer Zertifizierungsstelle (in Deutschland BSI) zertifiziert werden.

DIN EN IEC 62443

Die Norm DIN EN IEC 62443 „IT-Sicherheit für industrielle Automatisierungssysteme“ legt als branchenunabhängige Grundnorm die Erreichung der IT-Sicherheit für industrielle Automatisierungssysteme fest (vgl. [37]) und Tabelle C-2).

Im Zuge zunehmender Vernetzung durch Digitalisierung und „Industrie 4.0“ kommt der IT-Sicherheit im Sinne der „Sicherheit vernetzter Systeme“ bei ansteigender Bedrohungslage in der Fertigungs- und Prozessindustrie eine besondere Bedeutung zu („Industrial-Security“). Zudem gibt es grundsätzlich unterschiedliche Anforderungen

zwischen „Office-“ und „Industrial-IT“, insbesondere hinsichtlich Lebensdauer der Produkte, Patchmanagement (Updates), Zeitabhängigkeit (verzögerte Reaktionen / Echtzeitfähigkeit) und Verfügbarkeit.

Als Grundanforderungen werden gestellt:

- Identifizierung und Authentifizierung
- Nutzungskontrolle
- Systemintegrität
- Vertraulichkeit der Daten
- Eingeschränkter Datenfluss
- Rechtzeitige Reaktion auf Ereignisse
- Verfügbarkeit der Ressourcen

Hierbei werden im Rahmen einer sicherheitsspezifischen Systementwicklungs-Lebenszyklusbetrachtung mit den Ansätzen Spezifikation, Integration / Inbetriebnahme, Betrieb / Instandhaltung und Außerbetriebnahme nachstehende „praktische Ansätze“ vorgegeben:

1. Verwaltung der IT-Sicherheit,
2. Spezifikation der IT-Sicherheitsanforderungen,
3. IT-Sicherheit durch den Entwurf,
4. Gesicherte Implementierung,
5. Verifikations- und Validierungsprüfung der IT-Sicherheit,
6. Behandlung von Mängeln der IT-Sicherheit,
7. Verwaltung von IT-Sicherheitsupdates,
8. IT-Sicherheitsrichtlinien.

Die Norm verfolgt einen risikobasierten Ansatz. Eine Risikoanalyse umfasst die folgenden Schritte:

- Struktur- und Istanalyse,
- Identifikation aller relevanten Bedrohungsszenarien,
- Abschätzung von möglichen Schäden und deren Eintrittswahrscheinlichkeit,
- Ableitung von Security-Maßnahmen.

Hierbei kann nach dem Vorgehensmodell gemäß VDE/VDI 2182 [38] vorgegangen werden.

Eingeführte Security-Level (SL) (vgl. Tabelle 2.3) besitzen eine Abhängigkeit zum Lebenszyklus und der entsprechenden Rolle (Betreiber-, Dienstleister-, Integrations-Service-, Instandhaltungs-Service- und Produktlieferant-Sicht).

Hierbei wird unterschieden nach dem Security-Level, den ein Produkt erreichen kann, wenn es richtig eingesetzt und konfiguriert wird (SL-C), dem Security-Level, der sich aus Bedrohungs- / Risikoanalysen ergibt (SL-T) sowie dem für das

Gesamtsystem nachgewiesenen Security-Level (SL-A).

Unter Hinzunahme der Ermittlung des Reifegrades eines Produktes lassen sich abschließend Protection-Level (PL 1 bis PL 4) ableiten.

Tabelle 2.3: Security-Level nach DIN EN IEC 62443 [37]

Security-Level	Schutz gegen...
1	Zufällige Fehlanwendung
2	Absichtliche Versuche mit einfachen Mitteln
3	SL2, jedoch mit erweiterten Kenntnissen und erweiterten Mitteln
4	SL3, jedoch mit spezifischen Kenntnissen und erheblichen Mitteln

Aus Herstellersicht sind beim Produkt ausgewählte industrielle IT-Sicherheits-Fähigkeiten vorzusehen, die es für die geplante Einsatzumgebung benötigt. Liegen diese Fähigkeiten nicht vor, können diese für das Gesamtsystem ggf. auch mittels kompensatorischer Maßnahmen („Ausgleichsmaßnahmen“) erreicht werden.

Ziel ist die Erreichung eines angemessenen und wirtschaftlich umsetzbaren Schutzniveaus. Nicht akzeptable Risiken werden hierbei auf ein akzeptables Maß reduziert.

Anforderungen an Produkte und Systeme können auch durch die Anwendung qualitätssichernder Normen u. a. ISO 9001 erfüllt werden.

Der Grad der Erfüllung wird abschließend in einem Audit nach DIN EN IEC 62443 nachgewiesen. Eine Zertifizierung nach ISO/IEC 27001 ist möglich.

Vorgehensvorschlag

Die ISO/IEC 27000 sowie der auf dieser Norm basierende BSI Grundschutzkatalog sowie die zugehörigen BSI-Dokumente 200-1 bis 200-3 und 100-4 decken insbesondere den konzeptionellen Bereich der IT-Sicherheit ab. Die Normen ISO/IEC 15408 und DIN EN IEC 62443 hingegen erfassen verstärkt die Produkt- und Anlagenebene. Die Problemstellungen der IT-Sicherheit der Systematik Intelligente Brücke und industrieller Automatisierungssysteme weisen z. T. größere Überschneidungen auf.

Diesen letztgenannten Normenreihen kommt daher insbesondere im Hinblick auf die verfeinerte funktionale und technischen Ausgestaltung sowie

dem *Nachweis der IT-Sicherheit* in Form von Evaluierungen insbesondere auf Komponenten- und Funktionsgruppen-Ebene - aber in der Folge auch für das Gesamtsystem - eine besondere Bedeutung zu. Hiermit lässt sich zudem die IT-Sicherheit im Rahmen der Integration am Markt erhältlicher Komponenten in die Gesamtanlage gezielt steuern.

2.2.3.7 Erhaltung und Aktualisierung – Verfügbarkeit und Austausch defekter / veralteter Betriebsmittel

Als Grundsatz ist bereits zum Zeitpunkt des Entwurfs der Anlage ist zu berücksichtigen, dass Betriebsmittel über den Lebenszyklus der Anlage hinweg ggf. zu ersetzen sind. Dies kann aus Gründen eines Defekts, des Verschleißes (auch planmäßiges Austauschen von Verschleißteilen hinsichtlich der Erhaltung der funktionalen Sicherheit) oder im Rahmen von Verbesserungsmaßnahmen im Zuge technologischer Weiterentwicklungen erforderlich sein. Der letzte Aspekt kann sowohl der Verbesserung der Wirtschaftlichkeit des Betriebs der Anlage als auch einer Erhöhung der Funktionssicherheit dienen. Durch die vorgesehene Trennung von funktionalem und technischem Entwurf können im Rahmen von Erneuerungsmaßnahmen von Funktionsgruppen / Betriebsmitteln diese mit technischen Realisierungsmitteln nach dem jeweils aktuellen Stand der Technik erfolgen.

Beim Austausch von Betriebsmitteln müssen diese *im Sinne der Spezifikation* (und damit auch der funktionalen Anforderungen) gleichwertig bzw. aufwärtskompatibel sein. Hierzu ist beim Entwurf bereits zu berücksichtigen - sowohl durch Festlegung von Funktionen als auch bei der konkreten technischen Umsetzung - dass diese über den geplanten Lebenszyklus der Anlage hinweg verfügbar sind. Daher sind schon zu diesem frühen Zeitpunkt Zweierhersteller zu ermitteln. Insbesondere spezielle Betriebsmittel werden oftmals nur von wenigen Herstellern, ggf. nur von Einzelherstellern gefertigt. Im letzteren Fall kann eine langfristige Lieferbarkeit (von Ersatzteilen) bzw. eine vollständige Offenlegung des (Produkt-)Dokumentation (Open-Source) über eine vertragliche Zusicherung ein mögliches Instrument sein (vgl. auch Problematik der Beschaffung von Ausrüstungsgegenstände mit längerer Nutzungsdauer, z. B. im Schienen- und Luftverkehr sowie im militärischen Bereich).

Sowohl die erzeugte umfangreiche Spezifikationslage als auch archivierte technische Merkblätter / Datenblätter von verwendeten Betriebsmitteln dienen einer gleichwertigen bzw. aufwärtskompatiblen Nachbeschaffung dieser. In kritischen Fällen ist die Gleichwertigkeit ggf. gutachterlich nachzuweisen.

In jedem Fall ist zu prüfen, inwieweit durch die Ersetzung / Aktualisierung ggf. Anforderungen an die (Gesamt-)Anlage verletzt werden. Serviceorientierte Architekturen (SOA) sind vorzusehen.

Allgemeine, anlagenunabhängige Regeln zum Austausch von Betriebsmitteln sind nicht bekannt. Die vorgenannten Überlegungen beziehen sich auf ein Lebenszyklus-Management.

2.2.3.8 Verwendung gefährlicher Stoffe

Weiterhin sollten im Entwurfsprozess Fragen der Vermeidung der Verwendung von Bauelementen und -teilen mit gefährlichen Stoffen sowie weitergehender Nachhaltigkeitsfragen (z. B. Dauerhaftigkeit, Recyclingfähigkeit) in den ersten Entwicklungsphasen mit einbezogen werden.

Die Richtlinie 2011/65/EU (RoHS 2) des Europäischen Parlaments und des Rates vom 8. Juni 2011 [39] regelt die Beschränkung der Verwendung bestimmter gefährlicher Stoffe in Elektro- und Elektronikgeräten (insbesondere Blei, Quecksilber, Cadmium). In Anlehnung hieran sollte bei allen Anlagenteilen verfahren werden.

2.2.3.9 Grundsätze der Anlagendokumentation

Für die individuell am Bauwerk sowie in der Zentrale ausgeführten Anlagenteile sollte aus Gründen der Übersichtlichkeit bei Wartung, Erhaltung, Betrieb und Aktualisierung / Erweiterung die Kennzeichnung und Bezeichnung von elektrischen und elektronischen Betriebsmitteln (z. B. elektrischen Bauelemente / Baugruppen / Geräte) einheitlich erfolgen, insbesondere auf Grundlage und im Sinne von DIN EN 81346 „Industrielle Systeme, Anlagen und Ausrüstungen und Industrieprodukte - Strukturierungsprinzipien und Referenzkennzeichnung“. Der Teil 2 behandelt die „Klassifizierung von Objekten und Kennbuchstaben für Klassen“. Diese Vorgaben sind bereits in den ersten Entwicklungsphasen zu berücksichtigen.

Perspektivisch wäre die Erarbeitung einer Richtlinie zur bundeseinheitlichen Anlagendoku-

mentation *RI-ADO* empfehlenswert, die die Bezeichnungssystematik im Bereich Intelligente Brücke und Bauwerksmonitoring aus o. g. Gründen weitgehend standardisiert.

2.2.4 Bestehende Konzepte und Regelungen zu Gesamtanlagen

2.2.4.1 Merkblatt Brückenmonitoring

Das DBV-Merkblatt „Brückenmonitoring – Planung, Ausschreibung, Umsetzung“ [40] stellt ein Hilfsmittel zur Planung und Ausschreibung von Monitoringverfahren dar. Ziel ist es, verschiedene Aufgabenstellungen des Monitorings im Lebenszyklus von Brückenbauwerken darzustellen und strukturierte Abläufe sowie Leistungspositionen für Planung, Ausführung, Auswertung und Bewertung der Erfassungsdaten sowie Qualitätssicherung vorzugeben. Die Lebenszyklusbetrachtungen umfassen Neubau, Betrieb und Rückbau. Die vordefinierten Prozessphasen behandeln Definition der Fragestellung, Erstellung eines Monitoringkonzeptes, Ausführungsplanung, Installation / Betrieb, Datenaufbereitung/-auswertung sowie Bewertung der Erfassungsdaten. Die Ausführungen zur Qualitätssicherung enthalten nur grundsätzliche Hinweise. Anmerkungen zur Ausschreibung sowie Wirtschaftlichkeitsbetrachtungen ergänzen die Betrachtungen.

Vorgehensvorschlag

Die Leistungspositionen der einzelnen Prozessphasen unterteilen sich in Basisleistungen und weiterführende Leistungen. Aspekte bzw. Inhalte dieser Leistungspositionen können bedarfsabhängig gemäß Kap. 2.3.2 in den Produkt-/Anlagenentwurfsprozess einbezogen werden. Sie dienen somit der Vervollständigung der zu berücksichtigenden Elemente.

2.2.4.2 Technische Lieferbedingungen für Streckenstationen TLS 2012

Das BMVI stattet Bundesfernstraßen in kritischen Bereichen mit Verkehrserfassungs- und Verkehrsbeeinflussungsanlagen aus. Es sollen die Kenngrößen des Verkehrsflusses erfasst werden, die für eine Beurteilung der aktuellen Verkehrssituation oder für statistische Zwecke notwendig sind. Außerdem sollen nach Bedarf Daten über Umfeldsituationen erhoben werden, die Auswirkungen auf den Verkehrsablauf haben (z. B. Sichtweiten, Niederschläge). Streckenstationen haben in diesem Zusammenhang die

Aufgabe, Verkehrs- und Umfelddaten zu erfassen sowie Schaltbefehle an Wechselverkehrszeichen weiterzugeben [41].

Die mit ARS 02/2013 eingeführten Technischen Lieferbedingungen für Streckenstationen, Ausgabe 2012 (TLS 2012) umfassen über 520 Seiten und behandeln (a) funktionale Anforderungen an Datenerfassungsgeräte, Datenausgabegeräte, Steuermodule und Kommunikationsrechner, (b) Aufbau und Betrieb der Streckenstationen, (c) Schnittstellen und (d) Übertragungsverfahren. Weiterhin sind Eignungsprüfungen zur Verkehrserfassungsvorrichtungen, Prüfung von Geräten zur Achslasterfassung, Eignungsprüfungen der Übertragungstechnik und Eignungs- bzw. Abnahmeprüfungen von Sensoren für die Umfelddatenerfassung festgelegt. Für die Datenerfassungsgeräte sind jeweils Anforderungen zu Messbereich, -auflösung und -genauigkeit festgelegt.

Weiterhin sind Vorgaben zur Datenübertragung innerhalb des Verkehrsleitsystems hinsichtlich Sicherungsschicht, Vermittlungsschicht und Anwendungsschicht enthalten. Definition von Daten-Telegrammen (Anwender-Informationenblöcken) liegen zur Systemsteuerung, Umfelddaten, Verkehrsdaten, Achslastdaten, Wechselverkehrszeichen-/Wechselwegweisersteuerung, Betriebsmeldungen und -steuerungen, Anlagensteuerung, Geschwindigkeitsüberwachung und Zuflussregelung vor. Hieraus geht auch die Bandbreite sensorisch erfasster Daten hervor (vgl. Tabelle E-2, Anlage E).

Die Kommunikation erfolgt auf der Grundlage des allgemeinen, offenen Kommunikationsstandards für die industrielle Automation DIN EN 60870, welche in den Bereichen der Infrastrukturautomation (Schaltanlagenleittechnik, Fernwirktechnik, Netzleittechnik) angewendet wird. Unter Fernwirken ist hierbei die signalbasierte Fernüberwachung und -steuerung räumlich entfernter Objekte zu verstehen. Definiert wird der Standard für Datenübertragungsprotokolle zur Übertragung von Prozessdaten über großflächigere Netze geringer Bandbreite und Übertragungsqualität [42].

Die referenzierten Normen DIN EN 60870-5-1 und 60870-5-2 zu Übertragungsprotokollen der Fernwirktechnik behandeln Telegrammformate und Übertragungsverfahren der Verbindungsschicht. Das hier angewandte TCP/IP-Datex-Protokoll ist als Quasi-Standard anzusehen.

Weitergehende Strategien zur IT-Sicherheit bzw. der Abwehr von Datenmanipulation usw. waren für diesen Anwendungsfall bislang nicht von zentraler Bedeutung.

Des Weiteren wird bezogen auf EMV auf DIN EN 55022 und DIN EN 61000-6-2, bezogen auf Niederspannungsnetze (Sicherheit) auf DIN EN 61557-2 und DIN EN 61557-4 verwiesen. Hinsichtlich der Datenkommunikation auf DIN 66259 Teil 1 (Schnittstellenleitungen), ISO/IEC 8482: (Mehrpunktverbindungen über verdrehte Leitungspaare), DIN VDE 0816-1 (Außenkabel für Fernmelde- und Informationsverarbeitungsanlagen). Weitere Hardwareanforderungen sind durch DIN EN 60950 (Einrichtungen der Informationstechnik – Sicherheit) definiert. Die Kommunikationshierarchie wird durch ISO/IEC 7498 (Informationstechnik - Kommunikation offener Systeme, Referenzmodell für Netzwerkprotokolle in Schichtenarchitektur) spezifiziert. Zudem wird DIN VDE 0832-400 „Straßenverkehrs-Signalanlagen“ in Bezug genommen. Hierdurch sind implizit Anforderungen insbesondere an funktionale Sicherheit, Errichten von Niederspannungsanlagen, Schutz gegen elektrischen Schlag, EMV, Umwelteinflüsse und Schutzarten durch Gehäuse berücksichtigt.

Anhang 3 beinhaltet Anforderungen und Ausführungsregeln für Induktionsschleifen.

Herstellerübergreifender Austausch bzw. herstellerübergreifende Vernetzungsfähigkeit von Geräten wird gefordert.

Im Rahmen der Errichtung der Streckenstationen ist planmäßig keine unterbrechungsfreie Stromversorgung (USV) vorgesehen, da von einer hohen Verfügbarkeit über das Versorgungsnetz ausgegangen wird. Bei Ausfall der Anlage erfolgt die Beeinflussung des Verkehrs mittels Verkehrszeichen.

Die Planung und die Begleitung der Ausführung der Verkehrsbeeinflussungsanlagen erfolgt durch die Autobahn GmbH. Für ein erforderliches Genehmigungsverfahren sind vorab dem BMVI Planungsunterlagen einzureichen.

Vorgehensvorschlag

Mit Spezifikationsvorgaben für die Netzwerksarchitektur, Hard- und Softwarekomponenten bzw. Datenformate /-schnittstellen als Mindestanforderung sowie zugehörigen Eignungs- bzw. Abnahmeprüfungen stellen Inhalt und Struktur der TLS

eine gute Grundlage für eine vergleichbare Umsetzung für das Gesamtsystem Intelligente Brücke dar.

2.2.4.3 Leit-, Automatisierungstechnik und Überwachung in Straßentunneln

Die Anforderungen an die Leit-, Automatisierungstechnik und Überwachung in Straßentunneln sind in den „Richtlinien für die Ausstattung von und den Betrieb von Straßentunneln“ RABT [43] und den „Empfehlungen für die Ausstattung und den Betrieb von Straßentunneln mit einer Planungsgeschwindigkeit von 80 km/h oder 100 km/h“ EABT-80/100 [44] geregelt.

Die RABT beinhalten insbesondere Anforderungen (a) zur Auslegung der Stromversorgung für die betriebstechnische Ausstattung von Tunneln, (b) zu Aufbau und Funktion der Zentralen Leittechnik (ZLT) zur automatischen Steuerung, Regelung und Überwachung der technischen Ausstattung mit zentralem Leitreechner, Zentralrechner, Datenbankrechner, Bedienstation, Rechner-Netzwerk, Kommunikationssystem, und Steuerungseinheiten. Weiter sind (c) Dateninhalte (Datenpunktdefinitionen), (d) Objektgruppen der technischen Ausstattung sowie (e) Vorgaben zu Funktions- und Plausibilitätsprüfungen und (f) Handbedienebene, Störungs- und Notfallmeldungen enthalten.

Die Überprüfung der lokalen und globalen Plausibilität von Erfassungsdaten erfolgt auf plausible Grenzen, Zusammenhänge zueinander hin bzw. mittels Vergleich mit bekannten Datenverläufen aus anderen Quellen (z. B. historische Daten). Hinsichtlich der Kommunikation der Funktionsgruppen untereinander werden Datenpunkttypen (d. h. Messwerte, Zählwerte, Meldungen mit Zeitstempel und Meldungsinformationsstatus, Befehle) und die Datenpunktliste mit Datenpunktnummer, Objektgruppe, Objektuntergruppe, Objektindex, Ort, Datenpunkttyp und Datenpunktfunktion spezifiziert. Die Datenpunktfunktion beinhaltet Anzeige, Protokollierung, Speicherung, Übertragung, Automatikfunktion sowie Statusmeldungen / Statusmeldungen Handbetrieb.

Die EABT-80/100 fordert, dass Systeme und Programminhalte so gestaltet sind, dass herstellerunabhängig Änderungen und Ergänzungen an der Gesamtanlage vorgenommen werden können. Hinsichtlich der Kommunikations-Hierarchieebenen wird unterschieden in Übergeordnete

Leitebene, Anlagenleitebene, Automatisierungsebene und Feldebene. Jeder Hierarchieebene sind definierte Funktionen zugewiesen. Es werden der standardisierte Systemaufbau mit Funktionsblöcken und die Systemarchitektur spezifiziert. Anforderungen an Bediengeräte und -orte, Betriebsarten und Prioritäten, Reaktionszeiten und Redundanzen, Rechnersysteme, Kommunikation und Datenhaltung sowie Datenpunkttypen werden vorgegeben.

Weiterhin werden grundlegende Hinweise gegeben zur Einbindung externer Systeme sowie zur Wirkmatrix, welche vordefinierte Maßnahmen für beim Betrieb des Tunnels eintretende Ereignisse definiert. Hierbei sind auch organisatorische Ausfallstrategien bei Störungen von sicherheitsrelevanten Einrichtungen vorzusehen.

Im Hinblick auf Inbetriebnahme und Systempflege sind „geeignete Verfahren zur Prüfung der Software unerlässlich“ sowie ein „Test des Systemverhaltens bei Störungszuständen“ erforderlich. Die Prüfungen erfolgen auf Grundlage von Prüflisten. Sie sind vollständig durchzuführen und zu dokumentieren. Der Test von Komponenten erfolgt auf Feldebene nach Funktionsblöcken. Im Rahmen eines Systemintegrationstests werden die Schnittstellen zwischen Automatisierungsebene, Anlagenebene und Leitebene geprüft. Ein Probetrieb von zwei Wochen Dauer dient der Überprüfung und Dokumentation aller Systemfunktionen auf „korrekte und stabile Arbeitsweise“. Bei Umparametrierungen ist eine erneute Überprüfung der geänderten Funktion erforderlich.

Weiterhin wird das Konzept der Überwachung von Tunneln erläutert. Diese dient der Sicherheit von Tunnelnutzern und Betriebspersonal sowie der Funktion der technischen Ausstattung. Folgende Grundanforderungen werden hierbei gestellt: visuelle Überwachung, Möglichkeit manueller Eingriffe, Monitoring der Systemfunktion und -verfügbarkeit, Erkennung von Störungen, Einleitung / Begleitung und Vollzug von Störungsbeseitigungen, systematische Dokumentation, Anpassung von Systemfunktionen / Parametereinstellungen basierend auf der Betriebserfahrung sowie Analyse von gespeicherten Daten.

Im Kapitel zur Instandhaltung werden die Maßnahmen *Wartung*, *Inspektion*, *Instandsetzung* und *Verbesserung* behandelt (auch im Sinne

eines kontinuierlichen Verbesserungsprozesses „KVP“).

Wartung betrifft das Nachstellen / Justieren von betriebstechnischen Einrichtungen, das Nachfüllen / Ersetzen von Betriebsstoffen (z. B. Schmierung), das planmäßige Austauschen von Verschleißteilen, die Überprüfung der Tunnelentwässerung sowie das Reinigen der Ausstattungselemente.

Inspektionen dienen der Feststellung und Beurteilung des Anlagenzustandes sowie der Ursachenanalyse bei Abweichungen vom Sollzustand. Funktionsprüfungen erfolgen auch hinsichtlich des Zusammenwirkens der Funktionsblöcke. Motorische Antriebe sind in festgelegten Intervallen zu prüfen.

Instandsetzungen erfolgen aufgrund von Inspektionen und Störmeldungen festgestellter Abweichungen vom Soll-Zustand.

Als *Verbesserungen* werden Maßnahmen verstanden zur Erhöhung der Funktionssicherheit ohne Abänderung der geforderten Funktion verstanden.

Es sind Pläne mit erforderlichen o. g. durchzuführenden Tätigkeiten und Intervallen zu erstellen. Alle mit der Instandhaltung verbundenen Tätigkeiten sind zu dokumentieren.

Die ZTV-ING 5-4 „Tunnelbau – Betriebstechnische Ausstattung“ [45] stellt in Kap.4 vertragliche Anforderungen an Eignungs- und Funktionsprüfungen zusammen. Neben Prüfungen beim Hersteller (Werkabnahmen) werden Vorgaben für Funktionsprüfungen vor Ort an einzelnen Anlagengruppen sowie der Gesamtanlage beschrieben. Hinsichtlich der Dokumentation (Kap. 5) wird unterschieden in Prüfunterlagen, Bestandsunterlagen sowie Betriebs- und Wartungsunterlagen. Die Dokumentation soll in analoger und digitaler Form nach Gewerken geordnet mit Inhaltsverzeichnissen erstellt werden.

Vorgehensvorschlag

RABT und EABT können Beiträge zur Entwicklung einer standardisierten Systemarchitektur der Informationstechnik für die Systematik Intelligente Brücke liefern. Dies betrifft insbesondere die Zuordnung von definierten Anlagenfunktionen zu Hierarchieebenen, die Form der Datenübertragung mittels standardisierter Protokolle sowie Aufbau / Syntax und Inhalt von Datensätzen.

Weiterhin hilfreich sind grundlegende Konzepte zu Bedienplätzen sowie Datenhaltung. Zudem liefert die EABT Hinweise zu Strategien von Funktionstests der Anlage. Auch die Definition der Kategorien Wartung, Inspektion, Instandsetzung und Verbesserung liefert Hinweise zur Entwicklung der Anlage und ihrer zugehörigen Dokumente.

Die in der ZTV-ING 5-4 „Tunnelbau – Betriebstechnische Ausstattung“ verwendete Struktur hinsichtlich der vertraglichen Gestaltung von Eignungs- und Funktionsprüfungen kann als Grundlage für die Systematik Intelligente Brücke verwendet werden.

2.2.4.4 Echtzeit-Sicherheitsmanagement-System (ESIMAS) in Tunnelleitzentralen

Durch ein zunehmendes Verkehrsaufkommen, eine steigende Anzahl zu überwachender Tunnel sowie ein wachsendes Sicherheitsbedürfnis nehmen die Anforderungen - d. h. die Überwachung im Regelbetrieb bzw. das Ergreifen von Maßnahmen im Stör- und Ereignisfall - an Operatoren in den Leitstellen immer mehr zu. Der methodische Ansatz ESIMAS soll hier eine Entlastung durch situationsabhängige Informationsanzeigen, ganzheitliche Betrachtung von Informationen, automatische Aus- und Bewertung, verbesserte Ereignisdetektion durch Datenfusion und -plausibilisierung, kontinuierliche Lage- und Risikobewertung der Überwachungsobjekte sowie nutzerorientierte Informationsdarstellung für rasches Erkennen und Einschätzen detektierter Risiko-/Ereignissituationen ermöglichen (vgl. [46]).

Mittels Ereignisdetektion, Verkehrserfassung und Erfassung sicherheitsrelevanter Daten soll nachfolgend durch Datenplausibilisierung und Datenfusion sowie aus weiteren Datenquellen eine Gefahrenabwehr als auch präventive Maßnahmen veranlasst werden können. Kernfunktionen stellen die Echtzeit-Risikobewertung als auch das Expertensystem mit Situationsanalyse, Situationsbewertung und Maßnahmenharmonisierung zur Maßnahmenauswahl dar. Eine Verkehrsstatistik wird ermittelt sowie Maßnahmeempfehlungen abgeleitet. Es wird eine Ermittlung von Bewegungsmustern sowie eine Verfolgung von Ereignissen vorgenommen. ESIMAS stellt somit ein Frühwarnsystem dar.

Neben Videodetektion, Infrarotkamera und Laserscanner werden ergänzend zu den Detek-

tionssystemen nach RABT 2006 intelligente Induktionsschleifen eingesetzt, die ein vom kollektiven Fahrverhalten abweichendes Fahrverhalten detektieren können, welches auf einen möglichen Störfall hinweist.

Hiermit lassen sich Brand, Überhitzung von KFZ-Teilen, Falschfahrer, langsam fahrende KFZ, Stau / stockender Verkehr im Messquerschnitt, Personen im Tunnel und Stau im Streckenabschnitt detektieren.

Eine Integration in die bestehende Leit- und Automatisierungstechnik des Tunnels ist konzeptionell vorgesehen. Die Integration von ESIMAS-Komponenten erfolgt kompensatorisch nach den Baukastenprinzip über die Standardausstattung von Tunneln hinaus zur Sicherstellung eines bauwerksbezogenen erforderlichen Sicherheitsniveaus. Durch eine Optimierung der Mensch-Maschine-Schnittstelle (mit vorgeschalteter Datenfusion, Risikoanalyse und Expertensystem) soll eine gezielte Aufmerksamkeitslenkung erfolgen.

Die Funktionalität und Mehrwert des Konzepts ESIMAS konnten erfolgreich in der Einhausung Goldbach im Zuge der BAB A3 mittels eines Demonstrators prototyphaft nachgewiesen werden.

Vorgehensvorschlag

Aufgrund der erstmaligen prototyphaften Anwendung bestehen auf Grundlage von Regelwerken derzeit keine gesonderten Mindestanforderungen an Hard- und Software für die Zentral- und Detektionskomponenten von ESIMAS. Die Komponenten werden in die in der RABT bzw. EABT beschriebenen Architektur der Leit- und Automatisierungstechnik eingebunden. Tunnelausstatter verwenden i. d. R. Komponenten etablierter Anbieter und erstellen basierend hierauf individuelle bauwerksbezogene Lösungen. Somit können keine standardisierten Ansätze für Entwurf und Anforderungen für die Systematik Intelligente Brücke genutzt werden.

2.2.4.5 Leitfaden zum Projekt Cyber-Safe

Das Projekt Cyber-Safe beinhaltet die Analyse und Bewertung der IT-Sicherheit von Leitzentralen zur zentralen Überwachung und Steuerung des Verkehrs. Verkehr und Transport fallen unter das IT-Sicherheitsgesetz und die BSI-KRITIS-Verordnung. Der erstellte Leitfaden [47] stellt für Tunnelleitzentralen folgende Handlungshilfen bereit:

- Stufe 1: „Checkliste“ für die übergeordneten Managementebene,
- Stufe 2: „Leitfaden und Bewertungssoftware“ für die mittlere Managementebene,
- Stufe 3: „Tiefenanalysesoftware“ für IT-Verantwortliche.

Analog zum BSI-Grundschutzkatalog werden für die Bereiche

- Organisatorische Aspekte
- Personelle Aspekte
- Technische Aspekte

ausgewählte Maßnahmen in Bezug zu diesem mit Relevanz für Tunnelleitzentralen behandelt.

Die Bewertungssoftware zum Soll-Ist-Vergleich der IT-Sicherheit prüft als Schwachstellenanalyse das Vorhandensein von Maßnahmen aus obigen drei Bereichen (technisch nur in übergeordneter Leitebene und Anlagenleitebene). Sie bildet die Segmente Bedienarbeitsplatz, Server,

Netzwerkskomponenten und Gebäudetechnik / Geräte ab. Ergänzend werden Maßnahmen im Ereignisfall und zur schnellen Wiederaufnahme des Betriebs dargestellt (mittels Notfallmanagement). Zudem sind die Instrumente Penetrationstest / Tiefenanalyse sowie eine virtuelle Leitzentrale als Testumgebung vorgesehen.

Vorgehensvorschlag

Der Leitfaden stellt eine Unterstützung zur Anwendung des BSI-Grundschutzkataloges im Bereich von Tunnelleitzentralen mit weitergehend bereitgestellten Analysewerkzeugen dar. In diesem Sinne ist er eine Hilfestellung zur Umsetzung der KRITIS-Verordnung für Tunnelinfrastruktur. Im Falle hoher funktionaler Anforderungen an die Anlage der Intelligenten Brücke kann die Vorgehensweise des Leitfadens sinngemäß auf diesen Bereich übertragen werden.

2.3 Musterentwurfsprozess zur Produkt-/Anlagenentwicklung

2.3.1 Methodische Entwurfs- und Entwicklungsverfahren

2.3.1.1 Grundlagen

Strukturierte, mehrphasige Entwurfs- und Entwicklungsverfahren stellen ein wertvolles methodisches Hilfsmittel insbesondere zur Erstellung größerer und komplexerer Anlagen und Systeme dar - insbesondere dort bei der Bewältigung eines hohen Vernetzungsgrades von Funktionsstrukturen und sich ergebenden Schnittstellen-Anforderungen dieser Systeme. Sie übertragen in einer geschlossenen Strategie bewährte Planungsmethoden und Vorgehensweisen - welche ursprünglich aus dem Software-Engineering stammen - auf eine hard- und softwarebasierte Produkt- und Anlagen-Entwicklung. Hiermit kann eine Produkt-/Anlagenidee sukzessive zu einem ausführbaren Entwurf fortentwickelt werden, Bild 2.1. Nachfolgende Konzepte zu den methodischen Entwurfs- und Entwicklungsverfahren sind aus [6] zusammengestellt.

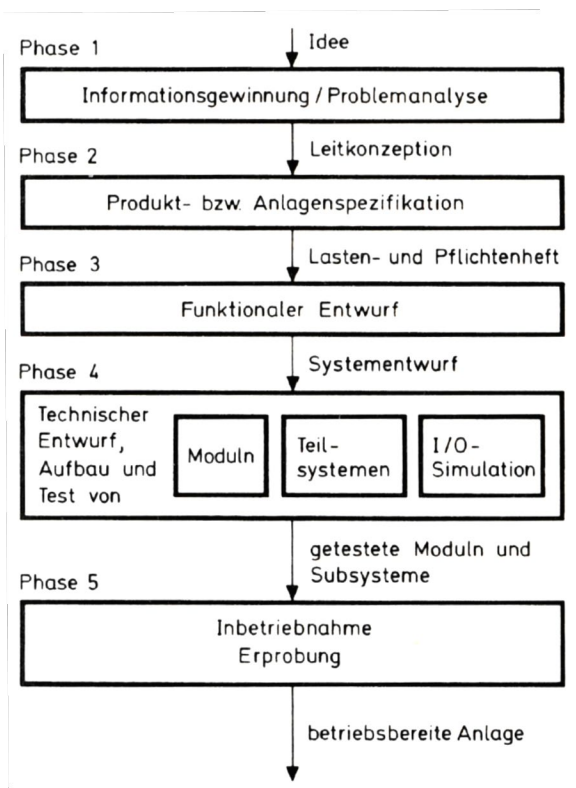


Bild 2.1: Entwicklungsphasen einer Anlage (modifiziert nach [6])

Jede Entwicklungsphase bzw. -teilphase schließt mit einer entsprechenden Spezifikations- und Dokumentationslage als Produkt dieser ab. Diese

stellt den Kern des Entwurfs- und Entwicklungsverfahrens dar. Eine *begleitende Qualitätssicherung* erfolgt auf Grundlage *dieser fortwährend verfeinerten und geprüften Spezifikations- bzw. Dokumentationsstände*. Mit jeder Phase nimmt der Reifegrad der zu entwickelnden Anlage zu, die Dokumentationslage verfeinert sich (vgl. auch Anlage D, Bild D-1). Entwicklungsstand sowie bis dahin bei der Konzept- und Lösungsfindung getroffene Entscheidungen sind hierin dokumentiert und somit für alle Projektbeteiligten sichtbar und nachverfolgbar. Daher stellt gerade diese Produkt-/Anlagenentwicklungsdokumentation in jeder Entwicklungsphase ein unverzichtbares Informations- und Kommunikationsmittel für alle Projektbeteiligten dar.

Spezifikation bezeichnet fachtechnisch die fortlaufende Festlegung von Eigenschaften. Der Entwurfsprozess stellt somit eine fortlaufende, d. h. verfeinerte Spezifikation dar.

Generell müssen Spezifikationen:

- verständlich / übersichtlich,
- fortschreibbar / verfeinerbar / unempfindlich gegenüber Änderungen,
- eindeutig / vollständig,
- test- / messbar,

sein, sowie:

- keine Einengung des ursprünglichen Entwurfs vornehmen und
- auf dem gezielten Einsatz von Normen/ Richtlinien/Standards basieren.

Es ergeben sich im Allgemeinen nachstehende Entwicklungsphasen, deren Inhalte nachfolgend stichpunktartig (mit *Entwicklungsphasen-Kurzbezeichnung* und Verweis auf die in Kap. 2.3.1.3 dargestellten Spezifikationsmittel) zusammengefasst sind (vgl. [6]):

Phase 1: Informationsgewinnung/Problemanalyse (IG-PA)

– *Hauptpunkte: Definition der Aufgabenstellung, Zielkonzeption, Berücksichtigung von Soft- und Hardware-Rahmenbedingungen, Dokumentation.*

Hier: Generelle Anforderungen, Machbarkeit, ggf. Nutzung vorhandener Systeme und Software sowie Erfahrungen mit ähnlichen Projekten.

Hinweis: Erstellung der Leitkonzeption kann erfolgen mit in Kap. 2.3.1.4 dargestellten Methoden.

→ *Abschluss mit Anfertigung einer technischen (und ggf. zudem betrieblichen) Leitkonzeption*

Phase 2: Anlagenspezifikation (AN-SP)

– *Hauptpunkt: Gliederung und Spezifikation der Funktionseinheiten, Dokumentation.*

Hier: Abgrenzung (Schnittstellen) zur Anlagenumgebung. Festlegung von Haupteigenschaften und -funktionen (mittels Übersichtsschaubild), Kommunikationsprozessen mit Modulen / Leit-/Überwachungssystemen, physikalischen und logischen Schnittstellen, Betriebs- und Rahmenbedingungen sowie Grenzwerten. Informationen zu den Realisierungsmitteln sowie gewünschten Merkmalen und Eigenschaften, ggf. Vorversuche. Erstellung der Aufbausystematik der Dokumentation (vgl. Beispiel Tabelle D-3, Anlage D).

Hinweise: Darstellung der „Statik“ der Anlage mittels Blockschaltbild (z. B. SADT-Diagramm (vgl. Bild 2.2 bis 2.5), vornehmlich Hauptmodule). Festlegung der Funktionsstruktur sowie „kritischer“ Teilfunktionen (z. B. kritischer Zeitfunktionen). Nennung und Vorstrukturierung aller mit der Umgebung ausgetauschten Objekte. Spezifikation des Zeit- und Ablaufverhaltens (u. a. Signal-/Prozess-/Bedienungs-Schnittstellen).

Schnittstellen von besonderer Bedeutung sind hier die Sensor-/Aktor- (Echtzeitverhalten) sowie Bedienungs-Schnittstellen (sie ist i. d. R. die umfassendsten und kritischen, weil sie den Steuerfluss des Gesamtsystems beeinflussen, siehe auch „Bedienfehler“, Kap. 2.3.1.5).

→ *Abschluss mit Anfertigung eines Lasten- und Pflichtenhefts, Abnahme durch den AG*

Phase 3: Funktionaler Entwurf (FU-EN)

– *Hauptpunkt: funktionale Analyse und Formulierung, Dokumentation.*

Hier: Analyse des erforderlichen Funktionsverhaltens (Funktionsabläufe) der Gesamtanlage und ihrer Teilfunktionen („Systemarchitektur“), gesamtes Funktionsverhalten im „Top-Down“ bis zu kleineren Funktionseinheiten, mit Darstellung der funktionalen Bindungen. Spezifikation der inneren Systemschnittstellen; Festlegung / Berücksichtigung zeitlicher Funktionsabläufe und Schnittstellendefinition, interne Steuer- und Datenstruktur.

Hinweise: Rein funktionale Zerlegung des Inneren der Anlage in überschaubare Module (in sich

geschlossene Funktionseinheiten, mit Funktionsblock identisch) unter Nutzung der Verfeinerungstechnik (z. B. SADT-Diagramm). Untergliederung der Objekte (im System-inneren vornehmlich Daten) und Erfassung der „Dynamik“ mit Funktionsablaufdarstellungen. Modulsteuerung und Funktionsablauf i. d. R. nach den Prinzipien: sequentieller Ablauf, hierarchisch organisierte Ablauffolge (Steuerstrukturen, Spezifikation mit Baumdiagramm (vgl. Bild 2.8), Struktogramm (vgl. Bild 2.9) / Semantische Logik (vgl. Bild 2.10), Umsetzung von kritischen Funktionen in selbstständigen Modulen, ereignisgesteuerter Ablauf (u. a. Interrupt-Technik). Ordnungsgemäßes Verlassen jeder Funktion vor Bearbeitung neuer, keine Sprünge in Unterfunktionen verschiedener Hauptfunktionen. Begrenzung von Vermaschungen auf Modulebene (insbesondere auch bei Echtzeitsteuerungen). Oftmals Steuermodule in der oberen Hierarchieebene. Bei einem stark vermaschten Netz von Zuständen z. B. Darstellung durch Zustandsdiagramme (Bild 2.11). Erfassung der Synchronisation parallel laufender / konkurrierender Prozesse sowie deren Kommunikation mittels Strichdiagrammen (vgl. Bild 2.6). Festlegung der auszutauschenden Datenstrukturen. Parallele Entwicklung von algorithmischer Selbstüberwachung sowie Funktionstests (eigenständige Programme). Vorstufe zum Technischen Entwurf. Verifikation des Entwurfs der gesamten Anlage und ihrer Module anhand der Spezifikation. Ggf. Zwischenabnahme durch den AG.

→ *Abschluss mit Systementwurf (Anlagenstruktur und Spezifikation aller Funktionsmodule auf jeder Systemebene)*

Phase 4: Technischer Entwurf, Aufbau u. Test von Modulen/Teilsystemen, Schnittstellensimulation (TE-EN)

– *Hauptpunkte: Umsetzung in lauffähige Module, Verwendung von Testdaten, Dokumentation.*

Hier: Aufbau und Test der Funktionseinheiten / Module sowie Testumgebung / Schnittstellen-Simulation (hier im „Bottom-up“, d. h. von der kleinsten Entwurfs- bzw. Funktionseinheit ausgehend).

Hinweise: Entwurf der einzelnen Module des Blockschaltbildes. Unmittelbare Realisierung in Hard- bzw. Software. Funktionale Detailierung u. a. mittels Ablaufplan, Struktogramm /

Semantischer Logik, SADT-Diagramm (Funktions- und Objektblöcke werden hierbei Funktions- und Objektköpfe im Programm-Modul)

→ *Abschluss mit getesteten Komponenten/Modulen und Sub-Systeme.*

Phase 5: Inbetriebnahme und Erprobung (IN-EP)

– *Hauptpunkte: Testen des Gesamtsystems, Verwendung von Testdaten, Dokumentation.*

Hier: Testen aller wichtigen Funktionen / Funktionskombinationen des Gesamtsystems unter realen Betriebsbedingungen (Integration des Systems, Überprüfung gegen die Spezifikation).

Hinweis: Stufenweise Inbetriebnahme, Montage / Integration der einzelnen Module und Abprüfung der Spezifikation aus Phase 3 sowie 2. Eintragen von Testlabels des Technischen Entwurfs in Entwurfsdokumente der Phasen 2 und 3. Ablaufverfolgung möglichst aller Betriebsfälle / aller Pfade im Hauptsteuerprogramm. Die Spezifikationen der einzelnen Entwurfsphasen liefern die Teststrategie.

→ *Abschluss mit betriebsfertiger Anlage/Produkt.*

Anzumerken ist, dass der Funktionale Entwurf (Phase 3) mit allen Verfeinerungen und Definitionen sowie umfänglicher Überprüfung als Systementwurf *vollständig abgeschlossen und ggf. zwischenabgenommen wird*, bevor mit dem technischen Entwurf (Phase 4) begonnen wird. Dies trägt maßgeblich zur Reduzierung von Fehlern in einem frühen Stadium bei und vermeidet eine Einengung des Entwurfs durch frühzeitige Einbeziehung von Realisierungsmitteln.

2.3.1.2 Grundsätzliche Zeitbedarfe

Der Gesamtarbeitseinsatz hängt vornehmlich von der Qualität der Ergebnisse der Phasen 1 bis 3 ab. Die Entwicklungszeit der Phasen 1 bis 3 benötigt ca. 50%, der Phasen 4 und 5 ebenso 50%, wobei in Phase 5 mindestens 25% für die Überprüfung der Anlage (QS) vorgesehen werden sollte (nach [6]).

2.3.1.3 Verwendung von Standard-Spezifikationsmitteln

Mit Spezifikationsmitteln lässt sich eine übersichtliche und logische Anlagenentwicklung erreichen. Über die verschiedenen Entwurfsphasen hinweg lassen sie sich als abgestimmtes

Methodenbündel nutzen (nach [6], vgl. auch, Tabelle D-1, Anlage D). Mit ihnen entsteht „nebenbei“ die Produkt-/Anlagenentwicklungsdokumentation, welche eine wesentliche Grundlage für die technische Kommunikation aller Projektbeteiligten herstellt.

a) Funktions- und Datenstrukturen

Funktions- und Datenstrukturen können mittels Blockschaltbildern veranschaulicht werden z. B. mittels *SADT-Diagrammen (Structured Analysis and Design Technique, Strukturanalyse mit grafischen Symbolen)*. Hierbei handelt es sich um Blockschaltbilder mit festgelegten Vereinbarungen, so dass diese Darstellungsart sehr übersichtlich und leistungsfähig ist (Bild 2.2 bis 2.5).

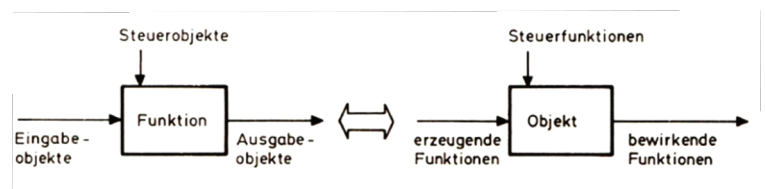


Bild 2.2: SADT-Diagramm - Funktions- und dualer Objekt-Block [6]

Neben Funktionen lassen sich auch Bindungen zwischen den Funktionen (Signale, Datenstrukturen, Objekte) darstellen und stetig verfeinern. Die Blöcke stellen Funktionen, aber noch keine Realisierung dar. Es können sowohl funktionsorientierte (Funktionsstruktur mit Darstellung des Objektflusses) als auch nachfolgend objektorientierte (Datenstruktur mit Darstellung von erzeugenden / aufrufenden Funktionen / Aktivitäten) Strukturen einer Aufgabe dargestellt werden. Der einzelne Funktionsblock kann später Programm, der einzelne Objektblock Datenstruktur werden.

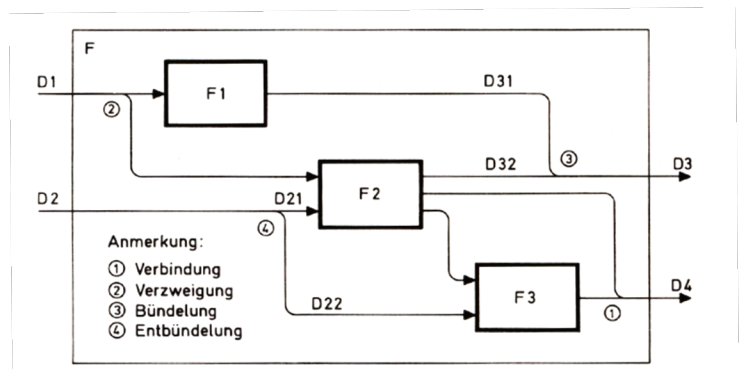


Bild 2.3: SADT-Diagramm mit Verbindungen und Bündelungen [6]

d) Funktionsabläufe

Die Darstellung von Funktionsabläufen spezifiziert das dynamische Verhalten innerhalb einer Funktionseinheit weitergehend (z. B. innerhalb eines Funktionsblocks nach SADT). Grundstrukturen von Funktionsabläufen sind Folge, Auswahl und Schleife. Jede Funktionsdarstellung hebt besondere Aspekte hervor und unterstützt spezifische Anwendungen. Es können insbesondere *Flussdiagramme* (vgl. DIN 66 261), *Baumdiagramme nach Jackson* (Bild 2.8, Möglichkeit der Top-Down-Verfeinerung, Module werden in größerer Strichstärke dargestellt, Testprozeduren später dazu angetragen), *Struktogramme* (Bild 2.9) bzw. *Semantische Logik* (Bild 2.10, sprachliches Äquivalent dazu) Verwendung finden. Auch Zustandsdiagramme (Bild 2.11) sowie *Petri-Netze* (für parallele Prozesse) dienen der Darstellung und Spezifikation von Funktionsabläufen. Siehe auch Vergleich Tabelle D-2.

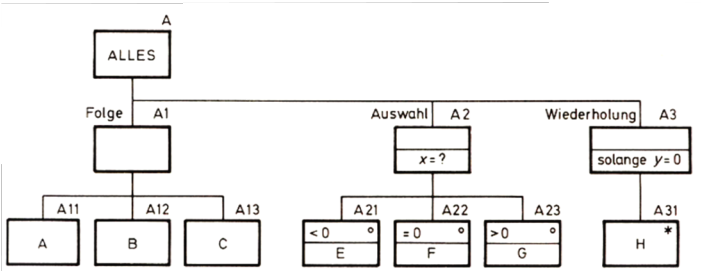


Bild 2.8: Baumdiagramm nach Jackson [6]

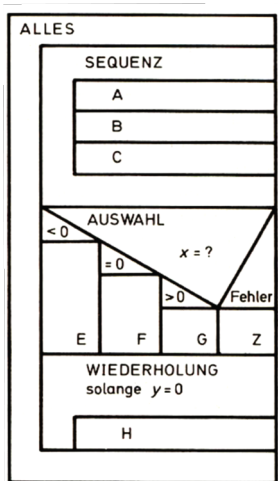


Bild 2.9: Äquivalentes Struktogramm zu Bild 2.8 [6]

2.3.1.4 Methodische Hilfsmittel der Informationsgewinnung / Problemanalyse

Die Phase 1 „Informationsgewinnung/Problemanalyse“ kann wiederum in Teilphasen unterteilt

werden. Hierbei sind zu jeder Teilphase nützliche methodische Hilfsmittel (in Klammern angegeben) als Werkzeuge zugeordnet (nach [6]).

Teilphase 1-1 (IG-PA-KA): Klären der Aufgabenstellung: Konkretisierung des Anlagenkonzepts, Schnittstellen zur Anlagenumgebung, Festlegen der Hauptentwicklungsziele.

(→ *Blockdiagramm, textliche Beschreibung, Blackbox-Ansatz*)

```

procedure ALLES
begin
  SEQUENZ
  do A
  do B
  do C

  AUSWAHL
  select x
  case x < 0
  do E
  case x = 0
  do F
  case x > 0
  do G
  otherwise
  do Z
  endselect

  WIEDERHOLUNG
  while y = 0
  do H
  endwhile
end procedure ALLES
  
```

Bild 2.10: Äquivalente sprachliche Spezifikation (Semantische Logik) zu Bild 2.8 [6]

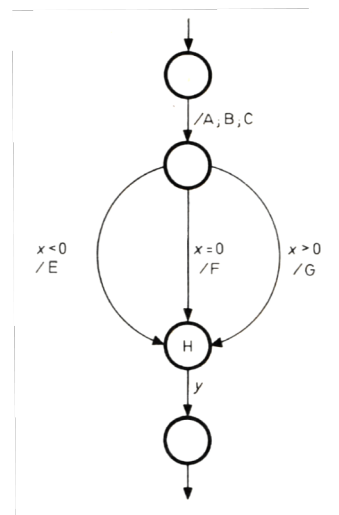


Bild 2.11: Äquivalentes Zustandsdiagramm zu Bild 2.8 [6]

Teilphase 1-2 (IG-PA-IZ): Erfassen des IST-Zustandes: Informationen zu auf dem Markt Befindlichem / Machbarem / Vorhandenem, Analyse *IST-Zustand*, Verbesserung der modularen Struktur in Hinblick auf Produkt-/Anlagenlinien

und -variationen, Anlegen Informationssammlung / Trennen Haupt- und Nebenfunktionen.

(→ Informationssammlung, Checkliste)

Teilphase 1-3 (IG-PA-LP): Aufstellen eines Leistungsprofils (dieses umfasst (a) alle Funktionen sowie (b) alle auf die Funktionen bezogenen qualitativen und quantitativen Anforderungen):

Auslotung des technisch Machbaren, Einbeziehung von Forschungsergebnissen, Berücksichtigung modernster Konzepte / Technologien, Setzen optimaler Ziele / Beschreibung des Idealsystems.

(→ Informationssammlung, Brainstorming, Checkliste)

Teilphase 1-4 (IG-PA-FS): Festlegen des SOLL-Konzepts (Konzept-Entwurf): Reduzierung des Leistungsprofils auf realisierbares SOLL-Konzept (noch recht grober Rahmen), Festlegung realisierbarer Funktionen, Aufteilung der Funktionen nach Festanforderungen / Mindestanforderungen / optional gewünschte Anforderungen.

(→ Merkmalsliste, Blockdiagramm, Anforderungsliste (ggf. Abnahme durch AG))

Teilphase 1-5 (IG-PA-AS): Analyse des SOLL-Konzepts (Konzept-Analyse): funktionale Systemzerlegung, Durchführbarkeitsstudie, Vorversuche, Untersuchung von Problemschwerpunkten, technisch / wirtschaftlich durchführbar?

(→ Baumdiagramm, Blockdiagramm)

Teilphase 1-6 (IG-PA-TL): Festlegen der technischen Leitkonzeption (als Grundlage für die Anlagenspezifikation: Erarbeitung grundsätzlicher Lösungsansätze, Empfehlungen zu Bedienung / Tests / Verwendung von Baugruppen / Modulen, Treffen von Vorauswahlen (aus einer Vielzahl an denkbaren Lösungskonzepten)

(→ Morphologischer Kasten, Blockdiagramm, Baumdiagramm)

Neben den gebräuchlichen Methoden der Ideenfindung wie *Arbeitsbesprechungen* und *Brainstorming* sollen weitere nützlichen methodische Hilfsmittel kurz aufgeführt werden.

Die *Blackbox-Methode* abstrahiert die inneren Vorgänge und Abläufe und konzentriert sich ausschließlich auf die Verbindungen zur Umgebung - äußere Benutzer- und Geräteschnittstellen (Bild 2.12). Hierdurch erfolgt eine klare Abgrenzung, jedoch keine Isolation des Entwicklungsgegenstandes. Nutzung auch zur Kommunikation

zwischen AG und AN in frühen Festlegungsphasen.

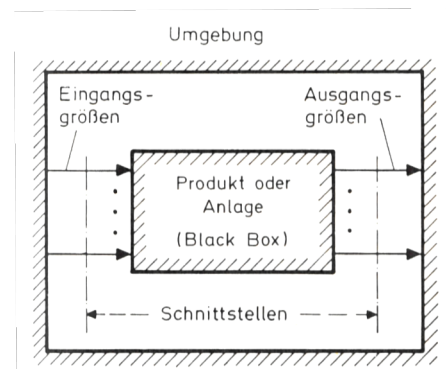


Bild 2.12: Einbindung der Anlage in die Umgebung [6]

Zur systematischen Erfassung von Informationen können *Listenverfahren* hilfreich sein (vgl. [6]).

Merkmalslisten enthalten eine Zusammenstellung *allgemeiner, nicht produkt-/anlagenspezifischer Merkmale* insbesondere mit dem Ziel, durch Gedankenassoziationen sicherzustellen, dass bei der Festlegung von Anforderungen keine wesentlichen Aspekte vergessen werden (Bild 2.13). Allgemeiner gehaltene Formen mit Hauptmerkmalen können beliebig verfeinert ergänzt werden.

Checklisten sind im Gegensatz zur Merkmalsliste *produkt-/anlagenbezogen* (Bild 2.14). In Form eines Fragekatalogs unterstützen sie die Sammlung aller erreichbaren relevanten Unterlagen. Sie dienen der Erfassung des *IST-Zustands* und haben eine große Einsatzbreite von z. B. rein technischen Fragestellungen bis hin zu Herstellbarkeit, Marktanalyse, grundlegende Entwicklungsprinzipien usw.

Die *Anforderungsliste* dient bei der Festlegung des *SOLL-Konzepts* der Quantifizierung der wichtigsten Anforderungen (insbesondere mit der Unterteilung in Festanforderungen, Mindestanforderungen, optional gewünschte Anforderungen, Bild 2.15). Je konkreter die Anforderungen festgelegt sind, desto geringer ist der Gestaltungsfreiraum für die Entwicklung, z. B. durch die Festlegung der Verwendung vorgegebener Baugruppen. Sie ist ein grundlegendes Spezifikationsmittel, für die weitere Spezifikation. Änderungen und Ergänzungen sind einzupflegen. Durch den AG erfolgt eine Abnahme des Dokuments.

MERKMALLISTE		Blatt Nr.: 1
Hauptmerkmal	Beispiele	
Vorschriften und Richtlinien	MIL- oder VDE-Bestimmungen, DIN-Normen, IEC-Spezifikationen, hausinterne Richtlinien (Entwurfs- und Dokumentationsunterlagen) und Festlegungen (Busse, Kartenformate, zu verwendende Bausteine und Module)	
Umgebungsbedingungen	<p>Klima: Temperaturbereich, Temperaturschock, Feuchtebereich, Staubgehalt der Luft, Verunreinigung, Korrosion</p> <p>Elektrische und magnetische Störsicherheit: Netzschwankungen, Netzstörungen, Störstrahlung, Strahlungsempfindlichkeit</p> <p>Mechanische Bedingungen: Erschütterungen, Beschleunigung, Stoßbeanspruchung</p> <p>Sonstige: Eigenerwärmung, Lichtverhältnisse, Luftzirkulation, Geräusche</p>	
Energieversorgung	<p>Primärquelle: Wechselstrom, Drehstrom, externe Gleichstromquelle, Batterien, Akkus, Solarzellen, DC/DC-Umsetzung</p> <p>Last: Anzahl und Art der Spannungs- und Stromausgänge, Durchschnitts- und Spitzenlast</p> <p>Schutz: Belastungsschutz bei Kurzschluß, Leistungsüberschreitung, Überspannung, Übertemperatur, Verhalten bei Netzausfall, Erwärmung/Belüftung, Spannungs- und Strombegrenzung</p> <p>Stabilität: Langzeitdrift, Temperaturkoeffizient, Oberschwingungsgehalt, Quellen- und Last-Regelbereich, Innenwiderstand, Aufwärmzeit, Einschaltzeitkonstante</p> <p>Einstellbarkeit: manuell, programmierbar, fernsteuerbar</p>	
Geräteschnittstelle	<p>Digitale Geräteschnittstelle <i>Genormte Schnittstelle:</i> Bus, Stecker, Pegel, Geschwindigkeit, Protokoll <i>Freie Ausführung:</i> Mechanische Ausführung, Signalfrequenz (Pegel, Schaltzeiten), aktive Signalfanke, Grenzbelastung, Signalaustausch an der Schnittstelle, Pufferung, Leistungsverstärkung, Umformierung, Quittungsbetrieb, Synchronisation, Meldung von Zustandsveränderungen</p> <p>Analoge Geräteschnittstelle <i>Art:</i> Signalgeber (Sensor), Stellglied (Aktor) <i>Elektrische Daten:</i> Spannungsbereich, Strombereich, Innenwiderstand, Rauschen, Auflösung (kleinstes Δu, Δi), Schutz gegen äußere und innere Überlastung, Übersprechen, Drift (Temperatur, Alterung), Erholzeit nach Überlast <i>Physikalisch-elektrische Signalwandlung:</i> Art, Linearität, Temperaturkoeffizient, Fehler, Empfindlichkeit</p> <p>Mechanische Ausführung: Stecker, Kontakt, Leitungstyp, Maße, Gewicht, Schutzerdung, Abschirmung, Leitungsführung</p> <p>Störunterdrückung: Filterung, Potentialtrennung, Anpassung, Analog-/Digitalerde, Redundanz</p> <p>Fehlerdiagnose: beim Einschalten, bei laufendem Betrieb, bei Testaufruf, Fehlerprotokoll</p>	
Benutzerschnittstelle	<p>Eingabeform: Datenträger, Eingabepfeiler, Korrekturmöglichkeit, Lesbarkeit, Datenformat, Eingabegeschwindigkeit</p>	

Firma:		Checkliste: IST-Zustandserfassung	Blatt Nr.: _____
		Produkt: Frequenzmesser	Datum _____
			Bearb.: _____
Nr.	Frage	Antwort	Unterl.
1	Bekannte Vergleichsprodukte		
1.1	Welche Funktionen bieten Produkte der angestrebten Preisklasse?		
1.2	Wodurch lassen sich diese Produkte nach unten bzw. oben abgrenzen?		
1.3	Welcher Zusammenhang kann zwischen Leistung und Preis angegeben werden?		
1.4	Welche hervorstechenden Merkmale sind zu nennen?		
1.5	Wodurch werden die besonderen Merkmale technisch erreicht?		
1.6	Welche Schwachstellen lassen sich angeben?		
1.7	Inwieweit sind bekannte Produkte modularisiert?		
1.8	Sind die vorhandenen Produkte zu Produktlinien bzw. Systemen ausbaufähig?		
:	:		
2	Bekannte Methoden		
2.1	Welche Meßprinzipien lassen sich bei dem geplanten Produkt verwenden?		
2.2	Welche Eigenschaften lassen sich durch den Einsatz eines Mikrocomputers technisch verbessern?		
2.3	Welche Funktionen lassen sich durch den Einsatz eines Mikrocomputers preisgünstiger gestalten?		
2.4	Welche sonstigen Standard-LSI-Schaltungen lassen sich verwenden?		
2.5	Erscheint es sinnvoll, bestimmte Eigenschaften durch einen speziellen Kunden-IC zu optimieren?		
2.6	Welche Moduln aus anderen Meßgeräten lassen sich in dem geplanten Frequenzmesser verwenden?		
:	:		

Bild 2.14: Checkliste (Auszug) – Beispiel aus Elektronikbereich (Frequenzmessgerät) [6]

Bild 2.13: Merkmalsliste mit Hauptmerkmalen (Auszug) – Beispiel aus Elektronikbereich [6]

Firma: _____	ANFORDERUNGSLISTE	Blatt Nr.: _____
	Produkt: Frequenzmesser	Datum: _____
		Freigabe: _____
ANFORDERUNGEN		QUANTISIERUNG
1 Festforderungen		
1.1	Betriebsarten	Frequenzmessung (Hauptfunktion) 10 Hz bis 500 MHz Periodendauermessung 100 ns bis 0,1 s Ereigniszählung 1 bis 99999999
1.2	Maximale Meßspannung	$U_{eff} = 10\text{ V}$ $U_{eff} = 10\text{ mV}$ von 50 Hz bis 100 Hz $U_{eff} = 20\text{ mV}$ von 10 Hz bis 50 Hz und von 100 Hz bis 500 MHz
1.4	Zahl der Meßkanäle	2 (Kanal A und B)
1.5	Eingangsimpedanz Kanal A Kanal B	1 M Ω parallel 20 pF 50 Ω
1.6	Bedienung	Funktionswahl am Gerät Fernsteuerung über IEC-Bus
1.7	Selbsttest	Test aller internen Funktionseinheiten und Anzeigeelemente
2 Mindestanforderungen		
2.1	Temperaturkoeffizient im Bereich 0°C bis 50°C, bezogen auf 20°C	$\leq 5 \cdot 10^{-8}$
2.2	Alterung der Kristallfrequenz	$\leq 1 \cdot 10^{-7}/\text{Monat}$
2.3	Betriebstemperaturbereich	0°C bis 75°C
2.4	Störstrahlungssicherheit	MIL STD 461
2.5	Zerstörungsfreie Eingangsspannung	$U_{eff} \leq 250\text{ V}$ bei $f = 50\text{ Hz}$ linear abfallend auf $\leq 10\text{ V}$ bei $f = 500\text{ MHz}$
2.6	Preis	$\leq 1500\text{ EUR}$
2.7	Termin für die Fertigstellung des Prototyps	$\leq 1, 3, 2020$
3 Wünsche		
3.1	Einfache Wartung	
3.2	Pulsdauermessung	
3.3	Messung von Frequenzverhältnissen	
3.4	Unterbrechbarkeit der Ereigniszählung (HOLD-Funktion)	
3.5	Eingang für externe Zeitbasis	
BEMERKUNGEN: Kalkulationsgrundlage ist ein geplanter Absatz von 100 Geräten/Monat. Es dürfen nur Bauteile verwendet werden, für die Zweierhersteller existieren.		

Bild 2.15: Anforderungsliste – Beispiel aus Elektronikbereich (Frequenzmessgerät, nach [6])

Die *Informationssammlung* enthält die Gesamtheit aller klassifizierten Hilfsmittel, die Antworten auf entwicklungsrelevante Fragen geben und gliedert somit das verfügbare Wissen zum Entwicklungsprojekt in geordneter Form (idealerweise in Dateiform, ggf. mit Stichwortverzeichnis).

Der *Morphologische Kasten* stellt eine Strategie zur Lösungsfindung dar (Bild 2.16). Hier werden die Hauptfunktionen der Anlage in Teilfunktionen untergliedert, für die alle bekannten und denk-

baren Lösungsmöglichkeiten gegenübergestellt werden. Teilfunktion können wiederum in weitere Unter-Teilfunktionen differenziert werden, somit ist die Methode schrittweise verfeinerbar. Zur Darstellung des Lösungsprinzips der Gesamtfunktion muss für jede Teilfunktion ein Lösungsprinzip (bzw. mehrere Lösungsalternativen) ausgewählt werden. Die Verbindungslinie der Lösungsprinzipien der Teilfunktion stellt dann die Gesamtkonzeption dar.

Teilfunktion		Lösungsprinzip bzw. Modul			
Nr.	Bezeichnung				
1.	Meßsignal zuführen	DC-Kopplung	AC-Kopplung	Gemischte DC/AC-Kopplung	
2.	Betriebsart wählen	Berührungstasten mit LED-Rückmeldung	Tasten mit zyklischer Durchlaufanzeige	Druckschalter	Tastenmenü
3.	Meßbereich einstellen	Drehschalter	Druckschalter	automatische Meßbereichseinstellung	
4.	Triggerpegel erzeugen	automatisch in diskreten Stufen	automatisch-kontinuierlich	manuell in diskreten Stufen	manuell-kontinuierlich
5.	Triggeranzeige	LED-Kontrollampe	im Anzeigenfeld integriert	keine Triggeranzeige	
6.	Meßsignale verarbeiten	konventionelle Frequenzmessung	synchronisierte Vielfachperiodenmessung (reziprok)	frequenzabhängige, automatische Umschaltung auf optimales Prinzip	
7.	Meßwerte anzeigen	LED-Sieben-Segment-anzeige	LCD-Sieben-Segment-anzeigenfeld	LCD-5×7-Punktmatrix-Anzeigenfeld	Plasma-14-Segment-Anzeige
8.	Meßeinheiten anzeigen	Markierung der Einheit durch LED	Ansteuern der Einheiten in getrenntem Anzeigenfeld	LCD-5×7-Punktmatrix-Anzeigenfeld	Plasma-14-Segment-Anzeige
9.	Energie zuführen	Systemnetzteil	Batterien	Akkumulatoren	Solarzellen
10.	Funktionsfähigkeit testen	Selbsttest nach Einschalten und Ausgabe von Diagnose-Code	Funktionstest in definierten Zeitabständen	Durchlauf einer Testroutine nach Tastenbetätigung	Test mit Fehleridentifikation bis hinab auf Bauteilebene

Bild 2.16: Morphologischer Kasten – Beispiel aus Elektronikbereich (Frequenzmessgerät) [6]

2.3.1.5 Erhöhung von Funktionssicherheit und Zuverlässigkeit im Entwurfsstadium

Die *Funktionssicherheit* und damit auch funktionalen Sicherheit lässt sich durch entwicklungs-technische Maßnahmen beim Entwurf („sorgfältiger Entwurf“), bei der Realisierung sowie durch spezielle Testverfahren (integrierte Testplanung und -durchführung) erhöhen. Sie wird insbesondere beeinträchtigt durch nachstehende Fehler [6] (vgl. auch funktionaler und technischer Entwurf Kap. 2.1.1):

- im *Funktionalen Entwurf* (logische Fehler, Nichteinhalten der Spezifikation, übersehene Betriebsfälle),
- beim *Technischen Entwurf* (selten auftretende Fehler),
- bei der Bedienung,
- infolge Störbeeinflussung von Außen (z. B. Temperatur, Feuchte, Vibration usw.)
- aufgrund von Hardware-Ereignissen (sporadische / permanente Ausfälle, Alterung).

Das Gesamtsystem sowie einzelne Module werden beim Test als „Black-Box“ betrachtet und individuell getestet. Beim Eingeben bestimmter

Eingangs- oder Steuerobjekte (vgl. Bild 2.2) müssen die spezifizierten Ausgangsobjekte erscheinen bzw. Reaktionen ausgeführt werden. Eingebaute Zuverlässigkeit kann allerdings zulasten der Effizienz bzw. der Kosten gehen, sollte aber je nach Anforderung im Bereich der Systematik Intelligente Brücke berücksichtigt werden (vgl. Anforderungsstufen Kap. 2.3.2).

Eine *Erhöhung der Zuverlässigkeit* kann durch einen Entwurf nach systematischem Entwurfsprozess, ein klares Bedienkonzept, fortwährende Plausibilitätsprüfungen, interne Zeitüberwachungen, quitierte Ausführung von Funktionen, Einbau von Funktionstests (auch Selbstdiagnose), Ausführung von abgeschlossenen Funktionen in selbstständigen Baugruppen / Modulen, ggf. Redundanzausführung erreicht werden [6].

Maßnahmen zur Erhöhung der *Zuverlässigkeit der Hardware* ergeben sich aus Kap. 2.2.2.5. Ggf. ist die Forderung an die Entwicklung umzusetzen, dass für Bauteile/ Komponenten/ Baugruppen immer Zweithersteller existieren müssen (Austausch defekter Betriebsmittel).

Der Verwendung hochwertiger Produkte (ggf. mit Zertifizierung) bzw. Produkten mit langjährigen positiven Erfahrungen ist Vorrang zu geben. Zudem sind Anforderungen gegen äußere Einwirkungen gemäß Kap. 2.3.2 und Kap. 2.2 einzubeziehen.

2.3.1.6 Entwurfsbegleitende Produkt-/Anlagenentwicklungsdokumentation

In der Produkt-/Anlagenentwicklungsdokumentation spiegelt sich der Entwicklungsprozess der Anlage unmittelbar wieder ([6], vgl. auch Anlage D, Bild D-1). Alle Entwurfsmittel sind gleichzeitig auch Darstellungsmittel der Dokumentation. Gütekriterien und Formalismen sind einzuhalten. Die Produkt-/Anlagenentwicklungsdokumentation dient dem Ordnen sowie der Präzisierung und Reflexion der Überlegungen parallel zum Entwurfsprozess. Die Entwurfsarbeit wird hierdurch maßgeblich unterstützt. Zudem stellt sie eine eindeutige Beschreibungsform des Entwurfsgegenstandes dar. Verwendung von einheitlichen Formularen (Merkmalsliste, Checklisten, Anforderungslisten, Datenstrukturtabellen, Schnittstellenformulare, Programmköpfe etc.; Angabe des Anlagen-, Phasen- und Modulbezugs sowie des Versionsstandes und der Verantwortlichkeit) unterstützt die Klarheit. Organisation und Ein-

ordnung der Dokumente in den für den statischen Anlagenentwurf verwendeten Strukturbaum (vgl. auch standardisierte Dokumentbereich-Kurzbezeichnungen nach Tabelle D-3, Anlage D). Der Entwicklungsstand muss benannt sein, getroffene Entscheidungen mit Zeitangabe und Begründung festgehalten werden („Entscheidungstransparenz“). Projektblätter gemäß Bild D-5, Anlage D dienen der Transparenz für Entwickler, Prüfende und Auftraggeber.

Nachstehend sind für die einzelnen Entwicklungsphasen *typisch durchzuführende Arbeitsinhalte* nach [6] überblicksartig zusammengestellt. Sie sind *fakultativ* je nach gefordertem Anforderungsniveau umzusetzen.

In der *Phase 1* („Denkphase“) werden ggf. viele Papiere erzeugt und z. T. auch wieder verworfen: Konzept- und Protokollpapiere, Listen über den *IST-Zustand*, grobe Übersichtspläne, Begründungen für getroffene Vorentscheidungen, Dokumente zu Kundenwünschen und Durchführbarkeitsstudien. Im Ergebnis entsteht eine technische Leitkonzeption, als Grundlage für die folgende Spezifikationsphase

In der *Phase 2* erfolgt eine umfassende systematisierte und verbindliche Dokumentation der gestellten Aufgabe. Hierzu sind die Dokumentationslagen aus Phase 1 zu einem Ganzen zusammenzuführen sowie Dokumentationsprinzipien festzulegen. Verfeinerung des noch groben Blockschaltbildes mit den o. g. Spezifikationstechniken. Ggf. sind Ergänzungen, Details und Rahmenbedingungen gesondert zu dokumentieren. Festlegen des Dokumentationsaufbaus. Einsetzen von Diagrammen, Formularen, Schnittstellenbeschreibungen. Legen eines Grundstocks der Dokumentation, die in den folgenden Phasen stetig verfeinert bzw. durch neue Aspekte ergänzt wird. Prüfung der Dokumente der Phase 2 (insbesondere des Lasten- und Pflichtenhefts) im Detail auf Funktionalität, Fehler bzw. Lücken durch den AG sowie nachfolgende Abnahme.

Das statische Blockschaltbild wird in *Phase 3* weiter verfeinert (Funktion der Module festgelegt, interne Schnittstellen definiert, Funktionsabläufe spezifiziert). Auch hier werden Aufgaben nur definiert, noch nicht realisiert. Der Dokumentationsumfang wächst hier stark an. Wenn möglich, Überprüfung und Abnahme der Dokumente als Systementwurf begleitend durch externe Spezialisten.

In *Phase 4* werden die Module hard- und softwaremäßig entworfen, aufgebaut und getestet. Die Aufgabenstellung kommt aus Phase 3. Simulation von Ein-/Ausgabeschnittstellen und Datenstrukturen. Testmodule werden den zu prüfenden Modulen fest zugeordnet. Die Beschreibung von Funktion und Datenstruktur im Kopf des Programm-Moduls soll so erschöpfend sein, so dass das Modul durch einen unbeteiligten Dritten einsetzbar ist („Dokumentation im Programm“).

Die Dokumentation der Hardware erfolgt mit üblichen Mitteln (Funktionsblockschaltbilder, Schaltpläne, Bestückungs- und Verdrahtungspläne, Montagepläne, Bestückungslisten, Steckerbelegungslisten, Platinen-Layouts, Prüfpläne).

In der *Phase 5* erfolgt die Montage der Module zur Gesamtanlage und die erste Inbetriebnahme. Unterstützung durch ein Entwicklungssystem sowie Soft- und Hardware-Analysewerkzeuge. Ableitung von Teststrategien aus der Systemzerlegung aus den Phasen 2 und 3. Nachfahren der Anlagenstruktur im Test für Normalbetrieb als auch besondere sowie nicht zulässige / unsinnige Konstellationen. Dokumentation der Teststrategien, Archivierung der Testprogramme. Zuordnung von ergänzenden Dokumenten nachträglich in die Spezifikationsmittel insbesondere der Phasen 2 und 3.

Bei der Erprobung sind alle Spezifikationen der Phase 2 von AG und späteren Nutzer zu testen und als erfüllt zu deklarieren. Die in Phase 2 vereinbarten Dokumente sind die Grundlage für die Abnahme.

Der Projektverantwortliche seitens des AN muss die Produkt-/Anlagenentwicklungsdokumentation fortwährend leiten und auf Qualität und Vollständigkeit hin überwachen. Nur mit geprüfter Dokumentation darf weiter gearbeitet werden. Die Verwendung einer nach den Entwurfsschritten sowie der Systemarchitektur strukturierten Dokumentenverwaltung, wo alle Projektbeteiligten (möglicherweise teils abgestuft) Zugang haben ist anzustreben.

Folgende Statusangabe ist sinnvoll [6]:

Status 1: Dokument enthält aufzubewahrende Idee / Notiz,

Status 2: Dokument in Arbeit,

Status 3: Dokument fertig, aber nicht freigegeben,

Status 4: Dokument geprüft und freigegeben,

Status 5: Dokument durch neue Version überholt,

Status 6: Dokument veraltet oder fehlerhaft.

Zudem können ein methodischer Aufbau der Entwicklungsdokumente, ein Abkürzungslexikon sowie Begriffslexikon die Lesbarkeit der Produkt-/Anlagenentwicklungsdokumentation sicherstellen. „Bilder“ und Tabellen sind verbalem Text zu bevorzugen. Übersichtsdokumente geben einen Überblick. Die Entwicklung kann somit in beliebiger Ausführlichkeit nachvollzogen werden.

2.3.1.7 Dokumentationen für weitere Zielgruppen

Neben der dargestellten Produkt-/Anlagenentwicklungsdokumentation - die für den Entwickler von Bedeutung ist und den Entwurfsprozess beschreibt - sind in der Produkt- und Anlagenentwicklung noch Projektdokumentation für Organisationsverantwortliche sowie Anwenderdokumentation üblich (vgl. [6]). Die Anwenderdokumentation beschreibt die fertige Anlage. Hier finden sich Hinweise zur Inbetriebnahme, eine ausführliche Bedienungsanleitung (bzw. Betriebsanweisung), eine Übersicht über die Baugruppen der Anlage, Hinweise zur Überprüfung der Anlagenfunktionen sowie zu Wartung und Instandsetzung und ggf. Notbetrieb.

Vorgehensvorschlag

Strukturierte Entwurfs- und Entwicklungsverfahren sollten bei der Entwicklung komplexer und umfangreicher Anlagen Standard sein. Sie stellen mit ihrer Produkt-/Anlagenentwicklungsdokumentation den Kernprozess der Planung, des Entwurfs und der Ausführung dar. Ihre konsequente und übergreifende Anwendung über den gesamten Entwicklungsprozess sichert mit ihren spezifischen Instrumenten ein hohes Qualitätssicherungsniveau, so dass Fehler bzw. Lücken zu einem frühestmöglichen Zeitpunkt erkennbar werden. Fragen der Wartung, Instandhaltung und Erweiterbarkeit werden hierbei früh und schlüssig einbezogen. Zudem unterstützen sie eine netzweite Vereinheitlichung des Vorgehens bei individuell betroffenen Bauwerken. Daher sollten die z. T. nachstehend genannten Darstellungsverfahren bevorzugt zur Anwendung kommen.

Für die Phase der *Informationsgewinnung/Problemanalyse der technischen Anlage* stellen die in Kap. 2.3.1.4 beschriebenen methodischen Hilfsmittel leistungsfähige Werkzeuge zur systematischen Erfassung von Informationen sowie zur strategischen Lösungsfindung dar und sollen konsequent angewendet werden.

Hiervon abzugrenzen ist eine zuvor durchzuführende Informationsgewinnung/Problemanalyse zunächst auf der bautechnischen Ebene bzw. eine bautechnische Konzeption mit den zu erfassenden / zu steuernden Bauwerksparametern für den technischen Anlagenentwurf (ggf. auch als Fremdleistung). Diese ist vor Beginn des Entwurfs- und Entwicklungsverfahrens der technischen Anlage der durch die Auftraggeber-Beteiligten auf Richtigkeit und Vollständigkeit zu prüfen ist, da sie für den Produkt-/Anlagenentwurf eine *Vorspezifikation* darstellt.

Für die Phasen *Anlagenspezifikation* und *Funktionaler Entwurf* hat sich insbesondere für die Darstellung der erforderlichen Funktions- und Datenstrukturen mittels verfeinerbaren SADT-Diagrammen bewährt. Für die Darstellung von Funktionsabläufen wurden gute Erfahrungen mit Baum-Diagrammen nach Jackson sowie ferner Struktogrammen gemacht. Erst die vom Auftraggeber abgenommene *Anlagenspezifikation* gibt den Weg frei für den Beginn des *Funktionalen Entwurfs*. Der *Funktionale Entwurf* kann als Systementwurf durch die entstandene Dokumentenlage wiederum durch ein Team unabhängiger

Experten bzw. durch Gutachter vor Einleitung des *Technischen Entwurfs* geprüft werden. In diesem Stadium der Entwicklung ist bereits erkennbar, mit welchen angedachten möglichen Konzeptvarianten die eingangs festgelegten Spezifikationen überhaupt erreicht werden können.

Die Phase des *Technischen Entwurfs* ermöglicht eine rasche Realisierung auf funktional und betriebstechnisch hohem Niveau mit umfangreicher Testung aller Baugruppen / Module, deren Ein-/Ausgabeschnittstellen und Datenstrukturen nach im Entwicklungsprozess erstellter Spezifikation. Auf Grundlage eines erstellten Funktionalen Entwurfs lassen sich im Rahmen von Produkt-/Anlagenüberarbeitungen zu einem späteren Zeitpunkt technologisch aktuellere Umsetzungen für Funktionen / Funktionsgruppen aufwandsminimal realisieren. Zudem ist es denkbar, dass funktionaler und technischer Entwurf von verschiedenen Auftragnehmern bzw. ARGE-Mitgliedern durchgeführt wird. Der Funktionale Entwurf dient somit als technische und vertragliche Schnittstelle.

Nach Montage der Baugruppen / Module zur Gesamtanlage in der Phase *Inbetriebnahme und Erprobung* erfolgt ein umfangreicher Test unter Realbedingungen nach Spezifikation (für Betriebs- und Störfälle usw.) unter Einbeziehung der späteren Nutzer und Abnahme durch diese (Auftraggeber).

Die spätere Umsetzung des Betriebs- und Wartungskonzepts der Anlage wird im Entwicklungsverfahren unmittelbar zu frühem Zeitpunkt mit spezifiziert.

Hinsichtlich der Produkt-/Anlagenentwicklungsdokumentation gilt (Kap. 2.3.1.6).

Der Entwicklungsprozess kann durch Einbeziehung noch zu erstellender Standardisierungen z. B. zur Ausführung (Bezeichnungen von Betriebsmitteln, Vorgaben zur Leitungsführung und Anordnung von Betriebsmitteln (z. B. spezifische Installationszonen für verschiedene Sensorarten) sowie einer Richtlinie zur Anlagendokumentation, Richtzeichnungen, datentechnischen Standards in der Zentrale usw.) weiter vereinfacht werden.

Erweiterungen bzw. umfangreiche technische Aktualisierungen bestehender Anlagen bzw. Komponenten können durch einen ergänzenden Entwurfsprozess behandelt werden, wobei die bestehende Produkt-/Anlagenentwicklungsdokumentation zu nutzen und entsprechend ergänzen ist.

Für bestehende Anlagen kann es bei Erweiterungen und Aktualisierungen nach dem Stand der Technik auch zu reinen *Produktentwicklungen* kommen. Betriebs-, Wartungs-, Erhaltungs- / Aktualisierungs- / Erweiterungs- und Rückbaukonzepte sind vollständig auszuarbeiten und vom Auftraggeber jeweils freizugeben. Routinemäßige Aktualisierungsmöglichkeiten sind bei der Entwicklung zu Beginn zu berücksichtigen, z. B. im Rahmen fortwährender Anpassungen hinsichtlich der IT-Sicherheit.

Zur *Vertraglichen Abwicklung* stehen verschiedene Möglichkeiten zur Verfügung. Zum einen kann eine Ausschreibung der Entwicklung und der Ausführung der Anlage durch einen Entwicklungsauftrag erfolgen (offene Ingenieurleistung im Sinne von VOF). Durch eine enge Einbindung des Auftraggebers oder ergänzend durch ihn beauftragte externe Experten (z. B. über Berater-Verträge) kann - insbesondere über die Produkt-/Anlagenentwicklungsdokumentation als Kommunikationsmittel - der fortlaufende Entwicklungs- und Spezifikationsprozess sowie erforderliche Entscheidungsprozesse zeitnah gesteuert werden. Liegen auftraggeberseitig bereits Leitkonzeption bzw. Lasten- und Pflichtenheft vor (hier Auftrag in Anlehnung an VOL, definierte Ingenieurleistung), stellen diese Vorgaben – neben weiterer mitgeltender Standardisierungen - *Vorspezifikationen* des Entwurfsprozesses dar. Hierbei ist die Machbarkeit vom AN vorab durch eine formelle Übergabe durch diesen zu bestätigen.

2.3.2 Systematische Einbeziehung bestehender Regelungen in den Entwurfsprozess

In den bauwerksbezogenen Entwicklungsergebnissen (Spezifikation) der verschiedenen Phasen des Entwurfsprozesses sind für die verschiedenen Entwurfsobjekte sowohl für den Teil *Bauwerk* als auch den Teil *Zentrale / Anwender* weitere Regelungen zu berücksichtigen.

Tabelle 2.4 zeigt als Überblick neben der Darstellung aller Entwicklungsaufgaben für die jeweiligen Funktionsgruppen die für die verschiedenen Anlagenentwicklungs- und Lebenszyklusphasen zu berücksichtigenden, in Kap. 2.2 näher dargestellten bestehenden Regelwerke als Anforderungskategorie sowie mögliche noch ergänzend zu entwickelnde Regelungen. Der Lebenszyklus beginnt hier mit der Idee der Errichtung der

Anlage und endet mit dem Rückbau bzw. dem ordnungsgemäßen Recycling dieser.

Lebenszyklusphasen

Folgende Entwurfs-/Entwicklungs- bzw. Lebenszyklus-Phasen sind einbezogen (mit *Phasen-Kurzbezeichnungen*):

- Informationsgewinnung / Problemanalyse *IG-PA*,
- Anlagenspezifikation *AN-SP*,
- Funktionaler Entwurf *FU-EN*,
- Technischer Entwurf / Aufbau und Test der Funktionseinheiten *TE-EN*,
- Inbetriebnahme / Erprobung *IN-EP*,
- Betrieb / Wartung *BETR*,
- Erhaltung / Aktualisierung / Erweiterung *ER-AK*,
- Rückbau / Recycling *RÜCK*.

Anforderungskategorien

Neben dem technischen Ausschreibungstext als freizugebene Vorspezifikation *AUS* sind ergänzend folgende Anforderungskategorien von Regelungen berücksichtigt worden (mit *Anforderungskategorien-Kurzbezeichnungen*):

- Softwareentwicklung *SWE*,
- Softwaretesting *SWT*,
- Hardwareentwicklung und –integration *HWE*,
- allgemeine technische Standards zum Errichten elektrotechnischer Anlagen *EEA*,
- Umgebungs- und Umwelteinflüsse *UMW*,
- Eigenschaften der Stromversorgung *STR*,
- Elektromagnetische Verträglichkeit der Komponenten *EMVK*,
- Grundsätze zum Aufbau zuverlässiger Hardware *ZHW*,
- Funktionale Sicherheit *FSI*,
- Elektromagnetische Verträglichkeit der Gesamtanlage *EMVG*,
- Elektromagnetische Umweltverträglichkeit *EMUV*,
- Funkanlagen und –module *FAN*,
- Datenübertragung *DAÜ*,
- IT-Sicherheit *ITSI*,
- Erhaltung - Verfügbarkeit und Austausch defekter / veralteter Komponenten *ERH*,
- Verwendung gefährlicher Stoffe *GST*,

- Grundsätze der Anlagendokumentation *ADO*,
- Merkblatt Brückenmonitoring *DBV*,
- Technische Lieferbedingungen für Streckenstationen TLS 2012 *TLS*,
- Leit-, Automatisierungstechnik und Überwachung in Straßentunneln *STU*,
- Echtzeit-Sicherheitsmanagement-System (ESIMAS) in Tunnelleitzentralen *ESI*,
- Leitfaden zum Projekt Cyber-Safe *CYS*.

Weiterhin werden die in Kap. 2.3.1.4 beschriebenen *Methodischen Hilfsmittel* der Informationsgewinnung/Problemanalyse (*MH_IG-PA*) einbezogen.

Regelwerksdokumente

Perspektivisch zu erstellende Regelwerksdokumente (mit *Dokumenten-Kurzbezeichnungen*) – diese stellen Bausteine zur Erarbeitung vertraglicher Grundlagen dar - als einzubeziehende Kategorien sind (vgl. Tabelle G-1, in Tabelle 2.4 kursiv dargestellt):

- Allgemeine Planungsgrundlagen zu Planung und Entwurf von Anlagen nach der Systematik Intelligente Brücke als Ziel konzeptioneller Vereinheitlichung mit grundsätzlichen funktionalen Varianten sowie generellen Aspekten der technischen Umsetzung (z. B. grundsätzliche örtliche Anordnung von Anlagenteilen) *PLAN*. Zudem können hier Grundzüge der Entwurfs- und Entwicklungssystematik im Sinne eines Musterentwurfsprozesses mit vorrangig zu verwendenden Spezifikationsmitteln und Gliederungssystematik der Produkt-/Anlagenentwicklungsdokumentation vorgegeben werden.
- Standardisierte Systemarchitektur der Informationstechnik mit Rechnern auf verschiedenen Ebenen und Kommunikationssystem analog den Regelungen in TLS 2012 sowie RABT (vgl. Kap. 2.2.4.2 und 2.2.4.3) *SA-IT*. Diese hat auch Einfluss auf die funktionale Sicherheit.
- Schnittstellendokument zur standardisierten Übergabe bautechnisch gewonnener Informationen bzw. der bautechnischen Konzeption mit den zu erfassenden / zu steuernden Bauwerkparametern als Vorspezifikation des Entwurfsprozesses *BAUT*. Es setzt bautechnische Anforderungen in anlagen-

technische Anforderungen um, ist intern bzw. extern zu prüfen und freizugeben (vgl. Kap. 2.3.3).

- Anlagendokumentation mit einheitlicher Bezeichnungssystematik von Betriebsmitteln, Baugruppen, Geräten usw. *RI-ADO*.
- Standardvorgaben zur Installation der Funktionsgruppen bzw. Betriebsmitteln am Bauwerk (insbesondere Einbaulage für Sensorik zur Erfassung verschiedener Parameter (vgl. Tabelle F-2, Anlage F) in Abhängigkeit vom verwendeten Funktionsprinzip sowie für Netzknoten, Bauwerksübergabepunkt und vandalismusgeschützte Kabelführungen usw.) an den jeweiligen Bauwerksteilen (Tabelle F-2, Anlage F) im Sinne von „Baugrundsätzen“ und „Richtzeichnungen“ *INST*. Zudem entsprechende Vorgaben für die Errichtung der Zentrale.
- Vorgaben zur standardisierten Eignungsprüfung von (bereits entwickelten / am Markt vorhandenen) Betriebsmitteln als Mindestanforderung, insbesondere zu Sensorik, Aktorik und Übertragungstechnik zwecks Integration dieser Betriebsmittel in den Entwicklungsprozess *EIGN*. Eine Ermittlung des Technologie-Reifegrads von Betriebsmitteln kann zuvor in Anlehnung an den NASA-Technology-Readiness-Level (TRL) erfolgen (vgl. ISO 16290).
- Checkliste als Hilfestellung zur Vervollständigung der auf der Spezifikation basierenden Abnahmekriterien *ABNA* im Sinne einer M-BÜ-ING.

Ebenso können gemäß obigem Schema standardisierte Mindestanforderungen in den drei Bereichen *Software*, *Hardware* und *Gesamtanlage* perspektivisch in den Dokumenten *SOFT*, *HARD*, und *GESA* zusammengeführt werden. Tabelle 2.4 stellt funktionsgruppenbezogen mögliche Anforderungskategorien in Form einer Checkliste dar.

Diese Regelwerksdokumente sind im Sinne der Regelwerkssystematik dem Stand der Technik sowie den gewonnenen Erfahrungen entsprechend regelmäßig fortzuschreiben.

Weitere Entwurfsprodukte

Zudem sind im technischen Anlagenbau mit zunehmendem Reifegrad der Entwicklung übliche

bzw. erforderlichen Prüf- und Abnahmeschritte als formaler Abschluss einer Entwicklungsphase notwendig (siehe auch Dokument *ABNA*). Mit Beginn des Entwurfs- und Entwicklungsprozesses zu behandelnde sowie bei der Endabnahme zu berücksichtigende wesentliche Produkte sind insbesondere:

- Gesamtanlage, Teil: Bauwerk,
- Gesamtanlage, Teil: Zentrale / Verwaltung,
- Betriebsanweisung („Anwenderdokumentation“) *BE-AN*,
- Wartungsanweisung (Hard- und Softwarewartung) *WA-AN*,
- Regeln zur Erhaltung / Aktualisierung / Erweiterung *ER-AK*,
- Regeln zum Rückbau / Recycling *RÜ-RE*.

Betriebsanweisung, Wartungsanweisung, Regeln zur Erhaltung / Aktualisierung / Erweiterung sowie zum Rückbau / Recycling werden vertieft in der Phase *Technischer Entwurf* gedacht (in Tabelle 2.4 kursiv dargestellt). Sie sind bei der Endabnahme ebenfalls systematisch auf Fehler und Lücken zu prüfen.

Für Betriebs- und Wartungsanweisung ist zudem festzulegen, mit welchem nachgewiesenen Qualifikationsgrad Betriebs- und Wartungsarbeiten an der Anlage durchgeführt werden dürfen.

Vorstehend genannte Dokumente gewährleisten spezifizierten Betrieb, Wartung, Erhaltung / Aktualisierung / Erweiterung und Rückbau / Recycling und sind somit zentrale Elemente eines Qualitätssicherungskonzepts (vgl. Betriebshandbuch bzw. Serviceplänen beim KFZ).

Die Dokumente *PLAN* und *SA-IT* wären im Sinne einer *RE-ING* einzuordnen, das Dokument *INST* und *EIGN* im Sinne einer *ZTV-ING*, *BAUT* und *RI-ADO* haben Merkblatt-Charakter. *ABNA* hat den Charakter einer *M-BÜ-ING*.

Allgemeine Technische Vertragsbedingungen

Zudem ist bei der Auftragsvergabe ggf. die *VOB*, Teil C als Allgemeine Technische Vertragsbedingungen (*ATV*) zu berücksichtigen. Für die Errichtung elektrotechnischer Anlagen gilt die *ATV DIN 18382* „Elektro-, Sicherheits- und Informationstechnische Anlagen“. Für umfangreichere Metallkonstruktionen kann Bezug genommen werden auf *ATV DIN 18360* „Metallbauarbeiten“.

Vollständiger fiktiver Muster-Anlagenentwurf

Durch die Durchführung eines vollständigen *fiktiven Muster-Anlagenentwurfs* an einem (Muster-)Bauwerk können in einem ersten Schritt sowohl Struktur als auch (Regelungs-)Inhalte für alle o. g. perspektivisch zu erstellenden Regelungen sowie zudem für Betriebsanweisung, Wartungsanweisung und Regeln zum Rückbau / Recycling gewonnen werden.

2.3.3 Projektbeteiligte / Zuständigkeitsbereiche

Die Projektbeteiligten der Produkt-/Anlagenentwicklung gehören sowohl der Auftraggeber- sowie der Auftragnehmerseite an. Hierbei ergeben sich verschiedene Rollen, die in Summe sehr interdisziplinär geprägt sind.

Bei der Straßenbauverwaltung (Auftraggeber) sind Kompetenzen hinsichtlich *Ausschreibung / Vertragsgestaltung* sowie Fachkunde im Bereich *Bautechnik* sowie *Anlagentechnik / Entwurfsverfahren* erforderlich (vgl. Bild 2.17). Ggf. können zur Unterstützung bzw. Ergänzung der Bewältigung der Aufgaben in den beiden letztgenannten Bereichen Kapazitäten in Form von Zuarbeit bzw. gutachterlicher Tätigkeit eingebunden werden.

Auf Seiten des Auftragnehmers sind neben der *organisatorischen und betriebswirtschaftlichen Projektentwicklung* Fachkunde in der *Anlagentechnik / Entwurfsverfahren* sowie ferner *Bautechnik* erforderlich, ggf. um externe Expertise ergänzt.

Zusammengefasst ergeben sich folgende Rollen (*mit Rollen-Kurzbezeichnungen*);

auftraggeberseitig:

- Ausschreibung / vertragliche Projektentwicklung „*AG-V*“,
- Bautechnik „*AG-B*“
→ ggf. *bautechnische Fachvorplanung*, ggf. durch externe Ressourcen bzw. Expertisen (ergänzt),
- Anlagentechnik / Entwurfsverfahren „*AG-A*“
→ *anlagentechnische Begleitung des Entwurfsprozesses bzw. anlagentechnische Fachplanung*, ggf. durch externe Ressourcen bzw. Expertisen (ergänzt).

auftragnehmerseitig:

- *projektorganisatorische / betriebswirtschaftliche Abwicklung* „*AN-O*“,

- Anlagentechnik / Entwurfsverfahren „AN-A“
→ *anlagentechnische Entwicklung und Umsetzung*,
- Bautechnik „AN-B“
→ *bautechnische Begleitung des Entwurfsprozesses*, ggf. durch externe Ressourcen bzw. Expertisen (ergänzt).

Somit können im Gesamtprozess

- Vorbereitung der Ausschreibung mit zuvoriger bautechnischer (und ggf. anlagentechnischer) Fachvorplanung
- Ausschreibung
- Angebotsbewertung und Zuschlagserteilung
- anlagentechnischem Entwurf und Umsetzung
- auftraggeberseitige bau- und anlagentechnische Begleitung des Entwurfsprozesses (sowie Abnahmen)

durch Kombinationen bis zu neun Projektbeteiligte bzw. Bereiche eingebunden sein, was vertragstechnisch, organisatorisch und fachtechnisch zu definieren ist.

Projektablaufschema

Tabelle 2.5 zeigt ein entsprechendes Projektablaufschema mit Einbindung der möglichen Projektbeteiligten sowie Einbettung der Phasen des Anlagen-Entwurfs-/Entwicklungsverfahrens nach Kap. 2.3.1 in den administrativen sowie fachtechnischen Gesamtablauf der Projektabwicklung.

(Vor-)Fachplanungsleistungen zum Nachweis der grundsätzlichen Umsetzbarkeit von Konzeptansätzen sowie zur Erstellung der Leistungsbeschreibung werden hiernach vom *Auftraggeber* bzw. seinen Beauftragten vorgenommen (vergleichbar der Festlegung von Verantwortlichkeiten bei der Umsetzung von Projekten im Bereich der Verkehrsbeeinflussungsanlagen, vgl. Kap 2.2.4.2).

Die Fortführung und Verfeinerung der Vor-Fachplanung sowie die anlagentechnische Entwicklung und Umsetzung erfolgt durch den *Auftragnehmer* bzw. seine Beauftragten. Diese wird durch den *Auftraggeber* kontinuierlich begleitet.

Eine Trennung der Prozesse „Planung / Entwicklung“ und „Ausführung“ durch unterschiedliche Bearbeiter (z. B. analog der Trennung in „Fachplaner Monitoring“ und „Spezialdienstleister Monitoring“ beim DBV Merkblatt Brückenmonitoring

[40]) ist bei komplexeren Anlagen mit umfangreicheren Systemanforderungen (z. B. weitergehenden, möglicherweise sicherheitsrelevanten Funktionalitäten und somit größerem Entwicklungsaufwand), der möglichen Verwendung auftragsindividueller Realisierungsmittel (d. h. Nicht-Standard-Betriebsmittel bzw. -Komponenten, z. B. besondere Lösungen aufgrund der möglichen größeren Bandbreite an zu erfassenden Parametern am Bauwerk) sowie den im Entwurfs- und Entwicklungsprozess vorgesehenen standardmäßigen übergreifenden Rückkopplungen zu früheren Planungs- und Entwurfsschritten aus dem Blickwinkel der Qualitätssicherung nicht generell zielführend. Oftmals sind bei komplexen Systemen an dieser Schnittstelle zudem die Leistungen nicht eindeutig oder nur mit großem Aufwand beschreibbar.

Planung, Entwurf und Ausführung durch einen federführenden Bearbeiter aus einer Hand bündelt die zentrale (Entwicklungs-)Verantwortung, insbesondere vor dem Hintergrund der Schuldung der generellen konzeptionellen Realisierbarkeit sowie dem Ziel der Übergabe einer betriebsfertigen Anlage unter Erfüllung aller zuvor vereinbarten Spezifikationsvorgaben. Unnötige Reibungsverluste an Schnittstellen von Beteiligten werden somit minimiert.

Zudem wird hiermit unterstützt, dass vorab funktionale und technologisch einengende Vorabfestlegungen in der Planungsphase durch weitere eingebundene Planungsbeteiligte unterbleiben sowie später die Anlage und die zugehörigen Entwurfs- und Dokumentationsprodukte „aus einem Guss“ entworfen bzw. erstellt sind und somit keine weitergehenden konzeptionellen Brüche aufweisen.

Möglicherweise wird der entwickelnde Auftragnehmer später planmäßig auch selbst Wartung, Erhaltung, Aktualisierung und Erweiterung der Anlage durchführen.

Weitere Aspekte

Hinsichtlich der Qualität des Gesamtergebnisses sowie der Effektivität von Projektgruppen bzw. Projektteams sind diesbezügliche Steigerungen durch Anwendung neu entwickelter Projektablaufentwicklungsmodelle zu erwarten (vgl. Untersuchungen der Universität Stuttgart, Institut für Baubetriebslehre [48]).

Die im Vorfeld zur bautechnischen Fachvorplanung erforderliche bauliche Bestandsaufnahme an Bestandsbauwerken kann unter Zuhilfenahme von in *DBV* (Kap. 2.2.4.1) beschriebenen Arbeitsschritten von „B1“/„W1“ und „B2“/„W2“ (vgl. [40]) erfolgen. Die Übersetzung der bautechnischen Anforderungen in anlagentechnische als Vorspezifikation kann mit dem Dokument *BAUT* (vgl. Kap. 2.3.2) erfolgen. Eine konsequente Übersetzung in anlagentechnische Anforderungen kann zudem zu einer Erweiterung des Marktes hin zu reinen Anlagenbauern beitragen, so dass die spezifischen Kompetenzen und Erfahrungen dieser Anbietergruppe für die Verkehrsinfrastruktur nutzbar gemacht werden können.

Durch eine kontinuierliche Einbindung des Auftraggebers in die fortlaufende Verfeinerung der Spezifikation hat eine Überwachung der Ausführung einen geringeren Stellenwert. Die Ausführung ist hierbei eine Umsetzung eines bis ins letzte Detail ausgearbeiteten und geprüften Anlagenentwurfs. Neben der Installation der Betriebsmittel am Bauwerk sowie in der Zentrale ist auch die softwaremäßige Umsetzung zu prüfen. Grundlage hierfür sind die Prüfberichte und Prüfscenarien der Softwaretests von Funktionsgruppen / Modulen sowie Gesamtanlage. Die Wahrnehmung dieser Aufgaben kann wiederum durch die bau- und insbesondere anlagentechnischen Bereiche des Auftraggebers wahlweise mit bzw. ohne Hinzuziehung externer Expertise / Gutachter erfolgen.

In einem Planungspool für BFStr können die Anlagendokumente zu bei verschiedenen Straßenbauverwaltungen durchgeführten Projekten zur Intelligenten Brücke zusammengeführt werden (Open-Source-Informationen). Somit können im Sinne einer Informations- und Ressourcenteilung Elemente zu Planung, Entwurf und Ausführung der Anlage sowie Betrieb, Wartung, Erhaltung, Aktualisierung, Erweiterung und Abbruch / Rückbau für aktuell anstehende Projekte weiter genutzt werden. Zudem können Informationen zu Erfahrungen in den o. g. Bereichen im Sinne einer Erfahrungssammlung verwaltungsintern zentral zugänglich gemacht werden. Durch die Vereinheitlichung von Dokumentenbezeichnungen kann gesuchte Inhalte schnell gefunden und nutzbar gemacht werden.

Übliche abzufangende *Risiken* der Planung, Entwicklung und Ausführung der Anlage sind insbesondere:

- Anlage arbeitet nicht regel- und anforderungsgerecht,
- Anlage weist in Bezug auf den Lebenszyklus des Bauwerks unzureichende Dauerhaftigkeitseigenschaften auf,
- Anlage ist nicht im erforderlichen Umfang wartungs-, erhaltungs-, aktualisierungs- und erweiterungsfähig,
- der Fertigstellungstermin verzögert sich deutlich.

Tabelle 2.4: Checkliste zur Einbeziehung von Regelungen in den Entwurfsprozess mit Zuordnung zu Funktionsgruppen - Berücksichtigung von Anforderungskategorien (alle Anforderungsstufen), perspektivisch noch erstellenden Regelwerksdokumenten (kursiv) sowie weiteren Entwurfsprodukten (kursiv)

		Funktionsgruppen am Bauwerk (Instrumentierung)				
Bezeichnung der Phasen nach ZTV-ING	Entwurfs-/Entwicklungs- bzw. Lebenszyklusphasen	Sensorik / Datenübertragung zum Bauwerksübergabepunkt SE/DÜ	Messdatenvorverarbeitung MVV	Bauwerksübergabepunkt / Datenübertragung Mobilfunk BÜP	Aktoren zur Bauwerkssteuerung AK/ST	Gesamtanlage Teil: Bauwerk
Planungs und Entwurf	Informationsgewinnung / Problemanalyse (IG-PA) (→ technische Leitkonzeption)	AUS, MH_IG-PA, FSI, EEA, DAÜ, ITSI, CYS, DBV, TLS, STU, ESI, PLAN, SA-IT, BAUT	AUS, MH_IG-PA, FSI, EEA, DAÜ, ITSI, CYS, DBV, TLS, STU, ESI, PLAN, SA-IT, BAUT	AUS, MH_IG-PA, FSI, EEA, DAÜ, ITSI, CYS, DBV, TLS, STU, ESI, PLAN, SA-IT, BAUT	AUS, MH_IG-PA, FSI, EEA, DAÜ, ITSI, CYS, DBV, TLS, STU, ESI, PLAN, SA-IT, BAUT	AUS, MH_IG-PA, FSI, EEA, DAÜ, ITSI, CYS, DBV, TLS, STU, ESI, PLAN, SA-IT, BAUT
	Anlagenspezifikation (AN-SP) (→ Lasten- und Pflichtenheft)	AUS, ADO, FSI, SWE, SWT, HWE, EEA, STR, UMV, EMVK, EMUV, DAÜ, ITSI, CYS, FAN, ERH, GST, DBV, TLS, STU, ESI, PLAN, SA-IT, BAUT, RI-ADO, INST	AUS, ADO, FSI, SWE, SWT, HWE, EEA, STR, UMV, EMVK, EMUV, DAÜ, ITSI, CYS, (FAN,) ERH, GST, DBV, TLS, STU, ESI, PLAN, SA-IT, BAUT, RI-ADO, INST	AUS, ADO, FSI, SWE, SWT, HWE, EEA, STR, UMV, EMVK, EMUV, DAÜ, ITSI, CYS, FAN, ERH, GST, DBV, TLS, STU, ESI, PLAN, SA-IT, BAUT, RI-ADO, INST	AUS, ADO, FSI, SWE, SWT, HWE, EEA, STR, UMV, EMVK, EMUV, DAÜ, ITSI, CYS, (FAN,) ERH, GST, DBV, TLS, STU, ESI, PLAN, SA-IT, BAUT, RI-ADO, INST	AUS, ADO, FSI, SWE, SWT, HWE, EEA, STR, UMV, EMVK, EMUV, DAÜ, ITSI, CYS, FAN, ERH, GST, DBV, TLS, STU, ESI, PLAN, SA-IT, BAUT, RI-ADO, INST
	Abnahme durch AG	✓	✓	✓	✓	✓
	Funktionaler Entwurf (FU-EN) (→ Systementwurf)	AUS, ADO, FSI, SWE, SWT, DAÜ, ITSI, CYS, TLS, STU, ESI, PLAN, SA-IT, BAUT, BE-AN, WA-AN	AUS, ADO, FSI, SWE, SWT, DAÜ, ITSI, CYS, TLS, STU, ESI, PLAN, SA-IT, BAUT, BE-AN, WA-AN	AUS, ADO, FSI, SWE, SWT, DAÜ, ITSI, CYS, TLS, STU, ESI, PLAN, SA-IT, BAUT, BE-AN, WA-AN	AUS, ADO, FSI, SWE, SWT, DAÜ, ITSI, CYS, TLS, STU, ESI, PLAN, SA-IT, BAUT, BE-AN, WA-AN	AUS, ADO, FSI, SWE, SWT, DAÜ, ITSI, CYS, TLS, STU, ESI, PLAN, SA-IT, BAUT, BE-AN, WA-AN
	ggf. Zwischenabnahme (durch Experten)	✓	✓	✓	✓	✓
	Technischer Entwurf/ Aufbau und Test der Funktionseinheiten (TE-EN) (→ getestete Komponenten/Modulen und Sub-Systeme, EIGN)	AUS, ADO, FSI, SWE, SWT, HWE, EEA, STR, UMV, EMVK, EMUV, ZHW, DAÜ, ITSI, CYS, FAN, ERH, GST, DBV, TLS, STU, ESI, PLAN, SA-IT, BAUT, RI-ADO, INST, BE-AN, WA-AN, RÜ-RE	AUS, ADO, FSI, SWE, SWT, HWE, EEA, STR, UMV, EMVK, EMUV, ZHW, DAÜ, ITSI, CYS, (FAN,) ERH, GST, DBV, TLS, STU, ESI, PLAN, SA-IT, BAUT, RI-ADO, INST, BE-AN, WA-AN, RÜ-RE	AUS, ADO, FSI, SWE, SWT, HWE, EEA, STR, UMV, EMVK, EMUV, ZHW, DAÜ, ITSI, CYS, (FAN,) ERH, GST, DBV, TLS, STU, ESI, PLAN, SA-IT, BAUT, RI-ADO, INST, BE-AN, WA-AN, RÜ-RE	AUS, ADO, FSI, SWE, SWT, HWE, EEA, STR, UMV, EMVK, EMUV, ZHW, DAÜ, ITSI, CYS, (FAN,) ERH, GST, DBV, TLS, STU, ESI, PLAN, SA-IT, BAUT, RI-ADO, INST, BE-AN, WA-AN, RÜ-RE	AUS, ADO, FSI, SWE, SWT, HWE, EEA, STR, UMV, EMVK, EMUV, ZHW, DAÜ, ITSI, CYS, (FAN,) ERH, GST, DBV, TLS, STU, ESI, PLAN, SA-IT, BAUT, RI-ADO, INST, BE-AN, WA-AN, RÜ-RE
Ausführung	Inbetriebnahme / Erprobung (IN-EP) (→ betriebsfertige Anlage/Produkt)	AUS, ADO, FSI, SWE, SWT, HWE, EEA, STR, UMV, EMVK, EMUV, ZHW, DAÜ, ITSI, CYS, FAN, ERH, GST, PLAN, SA-IT, BAUT, RI-ADO, INST, BE-AN, WA-AN, RÜ-RE	AUS, ADO, FSI, SWE, SWT, HWE, EEA, STR, UMV, EMVK, EMUV, ZHW, DAÜ, ITSI, CYS, (FAN,) ERH, GST, PLAN, SA-IT, BAUT, RI-ADO, INST, BE-AN, WA-AN, RÜ-RE	AUS, ADO, FSI, SWE, SWT, HWE, EEA, STR, UMV, EMVK, EMUV, ZHW, DAÜ, ITSI, CYS, FAN, ERH, GST, PLAN, SA-IT, BAUT, RI-ADO, INST, BE-AN, WA-AN, RÜ-RE	AUS, ADO, FSI, SWE, SWT, HWE, EEA, STR, UMV, EMVK, EMUV, ZHW, DAÜ, ITSI, CYS, (FAN,) ERH, GST, PLAN, SA-IT, BAUT, RI-ADO, INST, BE-AN, WA-AN, RÜ-RE	AUS, ADO, FSI, SWE, SWT, HWE, EEA, STR, UMV, EMVK, EMUV, ZHW, DAÜ, ITSI, CYS, FAN, ERH, GST, PLAN, SA-IT, BAUT, RI-ADO, INST, BE-AN, WA-AN, RÜ-RE
	Endabnahme (ABNA)	✓	✓	✓	✓	✓
Betrieb	Betrieb / Wartung (BETR) (→ Betriebsanweisung BE-AN, Wartungsanweisung WA-AN)	AUS, ADO, FSI, SWE, SWT, HWE, EEA, STR, UMV, EMVK, EMUV, ZHW, DAÜ, ITSI, CYS, FAN, ERH, GST, DBV, TLS, STU, ESI, PLAN, SA-IT, BAUT, RI-ADO, INST, BE-AN, WA-AN, RÜ-RE	AUS, ADO, FSI, SWE, SWT, HWE, EEA, STR, UMV, EMVK, EMUV, ZHW, DAÜ, ITSI, CYS, (FAN,) ERH, GST, DBV, TLS, STU, ESI, PLAN, SA-IT, BAUT, RI-ADO, INST, BE-AN, WA-AN, RÜ-RE	AUS, ADO, FSI, SWE, SWT, HWE, EEA, STR, UMV, EMVK, EMUV, ZHW, DAÜ, ITSI, CYS, FAN, ERH, GST, DBV, TLS, STU, ESI, PLAN, SA-IT, BAUT, RI-ADO, INST, BE-AN, WA-AN, RÜ-RE	AUS, ADO, FSI, SWE, SWT, HWE, EEA, STR, UMV, EMVK, EMUV, ZHW, DAÜ, ITSI, CYS, (FAN,) ERH, GST, DBV, TLS, STU, ESI, PLAN, SA-IT, BAUT, RI-ADO, INST, BE-AN, WA-AN, RÜ-RE	AUS, ADO, FSI, SWE, SWT, HWE, EEA, STR, UMV, EMVK, EMUV, ZHW, DAÜ, ITSI, CYS, (FAN,) ERH, GST, DBV, TLS, STU, ESI, PLAN, SA-IT, BAUT, RI-ADO, INST, BE-AN, WA-AN, RÜ-RE
	Erhaltung / Aktualisierung / Erweiterung (ER-AK) (→ Regeln zur Erhaltung / Aktualisierung / Erweiterung ER-AN)	AUS, ADO, FSI, SWE, SWT, HWE, EEA, STR, UMV, EMVK, EMUV, ZHW, DAÜ, ITSI, CYS, FAN, ERH, GST, DBV, TLS, STU, ESI, PLAN, SA-IT, BAUT, RI-ADO, INST, BE-AN, WA-AN, RÜ-RE	AUS, ADO, FSI, SWE, SWT, HWE, EEA, STR, UMV, EMVK, EMUV, ZHW, DAÜ, ITSI, CYS, (FAN,) ERH, GST, DBV, TLS, STU, ESI, PLAN, SA-IT, BAUT, RI-ADO, INST, BE-AN, WA-AN, RÜ-RE	AUS, ADO, FSI, SWE, SWT, HWE, EEA, STR, UMV, EMVK, EMUV, ZHW, DAÜ, ITSI, CYS, FAN, ERH, GST, DBV, TLS, STU, ESI, PLAN, SA-IT, BAUT, RI-ADO, INST, BE-AN, WA-AN, RÜ-RE	AUS, ADO, FSI, SWE, SWT, HWE, EEA, STR, UMV, EMVK, EMUV, ZHW, DAÜ, ITSI, CYS, (FAN,) ERH, GST, DBV, TLS, STU, ESI, PLAN, SA-IT, BAUT, RI-ADO, INST, BE-AN, WA-AN, RÜ-RE	AUS, ADO, FSI, SWE, SWT, HWE, EEA, STR, UMV, EMVK, EMUV, ZHW, DAÜ, ITSI, CYS, (FAN,) ERH, GST, DBV, TLS, STU, ESI, PLAN, SA-IT, BAUT, RI-ADO, INST, BE-AN, WA-AN, RÜ-RE
Abbruch	Rückbau / Recycling (RÜCK) (→ Regeln zum Rückbau / Recycling RÜ-RE)	AUS, ADO, ZHW, ERH, GST, PLAN, SA-IT, BAUT, RI-ADO, INST, RÜ-RE	AUS, ADO, ZHW, ERH, GST, PLAN, SA-IT, BAUT, RI-ADO, INST, RÜ-RE	AUS, ADO, ZHW, ERH, GST, PLAN, SA-IT, BAUT, RI-ADO, INST, RÜ-RE	AUS, ADO, ZHW, ERH, GST, PLAN, SA-IT, BAUT, RI-ADO, INST, RÜ-RE	AUS, ADO, ZHW, ERH, GST, PLAN, SA-IT, BAUT, RI-ADO, INST, RÜ-RE

Tabelle 2.4: Checkliste zur Einbeziehung von Regelungen in den Entwurfsprozess mit Zuordnung zu Funktionsgruppen - Fortsetzung

		Funktionsgruppen in der Zentrale / beim Anwender			
Bezeichnung der Phasen nach ZTV-ING	Entwurfs-/Entwicklungs- bzw. Lebenszyklusphasen	Datenspeicherung und -historisierung DS/IDH	Schädigungs- und Prognosemodelle / Bewertung SPM	Datenzugriff und -darstellung DZ/DD	Gesamtanlage Teil: Zentrale / Verwaltung / Anwender
Planungs und Entwurf	Informationsgewinnung / Problemanalyse (IG-PA) (→ technische Leitkonzeption)	AUS, MH_IG-PA, FSI, EEA, DAÜ, ITSI, CYS, DBV, TLS, STU, ESI, PLAN, SA-IT, BAUT	AUS, MH_IG-PA, FSI, EEA, DAÜ, ITSI, CYS, DBV, TLS, STU, ESI, PLAN, SA-IT, BAUT	AUS, MH_IG-PA, FSI, EEA, DAÜ, ITSI, CYS, DBV, TLS, STU, ESI, PLAN, SA-IT, BAUT	AUS, MH_IG-PA, FSI, EEA, DAÜ, ITSI, CYS, DBV, TLS, STU, ESI, PLAN, SA-IT, BAUT
	Anlagenspezifikation (AN-SP) (→ Lasten- und Pflichtenheft)	AUS, ADO, FSI, SWE, SWT, HWE, EEA, STR, EMVK, EMUV, DAÜ, ITSI, CYS, ERH, GST, DBV, TLS, STU, ESI, PLAN, SA-IT, BAUT, RI-ADO, INST	AUS, ADO, FSI, SWE, SWT, HWE, EEA, STR, EMVK, EMUV, DAÜ, ITSI, CYS, ERH, GST, DBV, TLS, STU, ESI, PLAN, SA-IT, BAUT, RI-ADO, INST	AUS, ADO, FSI, SWE, SWT, HWE, EEA, STR, EMVK, EMUV, DAÜ, ITSI, CYS, ERH, GST, DBV, TLS, STU, ESI, PLAN, SA-IT, BAUT, RI-ADO, INST	AUS, ADO, FSI, SWE, SWT, HWE, EEA, STR, EMVK, EMUV, DAÜ, ITSI, CYS, ERH, GST, DBV, TLS, STU, ESI, PLAN, SA-IT, BAUT, RI-ADO, INST
	Abnahme durch AG	✓	✓	✓	✓
	Funktionaler Entwurf (FU-EN) (→ Systementwurf)	AUS, ADO, FSI, SWE, SWT, DAÜ, ITSI, CYS, TLS, STU, ESI, PLAN, SA-IT, BAUT, BE-AN, WA-AN	AUS, ADO, FSI, SWE, SWT, DAÜ, ITSI, CYS, TLS, STU, ESI, PLAN, SA-IT, BAUT, BE-AN, WA-AN	AUS, ADO, FSI, SWE, SWT, DAÜ, ITSI, CYS, TLS, STU, ESI, PLAN, SA-IT, BAUT, BE-AN, WA-AN	AUS, ADO, FSI, SWE, SWT, DAÜ, ITSI, CYS, TLS, STU, ESI, PLAN, SA-IT, BAUT, BE-AN, WA-AN
	ggf. Zwischenabnahme (durch Experten)	✓	✓	✓	✓
	Technischer Entwurf/ Aufbau und Test der Funktionseinheiten (TE-EN) (→ getestete Komponenten/Modulen und Sub-Systeme, EIGN)	AUS, ADO, FSI, SWE, SWT, HWE, EEA, STR, EMVK, EMUV, ZHW, DAÜ, ITSI, CYS, ERH, GST, DBV, TLS, STU, ESI, PLAN, SA-IT, BAUT, RI-ADO, INST, BE-AN, WA-AN, RÜ-RE	AUS, ADO, FSI, SWE, SWT, HWE, EEA, STR, EMVK, EMUV, ZHW, DAÜ, ITSI, CYS, ERH, GST, DBV, TLS, STU, ESI, PLAN, SA-IT, BAUT, RI-ADO, INST, BE-AN, WA-AN, RÜ-RE	AUS, ADO, FSI, SWE, SWT, HWE, EEA, STR, EMVK, EMUV, ZHW, DAÜ, ITSI, CYS, ERH, GST, DBV, TLS, STU, ESI, PLAN, SA-IT, BAUT, RI-ADO, INST, BE-AN, WA-AN, RÜ-RE	AUS, ADO, FSI, SWE, SWT, HWE, EEA, STR, EMVK, EMUV, ZHW, DAÜ, ITSI, CYS, ERH, GST, DBV, TLS, STU, ESI, PLAN, SA-IT, BAUT, RI-ADO, INST, BE-AN, WA-AN, RÜ-RE
Ausführung	Inbetriebnahme / Erprobung (IN-EP) (→ betriebsfertige Anlage/Produkt)	AUS, ADO, FSI, SWE, SWT, HWE, EEA, STR, EMVK, EMUV, ZHW, DAÜ, ITSI, CYS, ERH, GST, BAUT, SA-IT, INST, BE-AN, WA-AN, RÜ-RE	AUS, ADO, FSI, SWE, SWT, HWE, EEA, STR, EMVK, EMUV, ZHW, DAÜ, ITSI, CYS, ERH, GST, PLAN, SA-IT, BAUT, RI-ADO, INST, BE-AN, WA-AN, RÜ-RE	AUS, ADO, FSI, SWE, SWT, HWE, EEA, STR, EMVK, EMUV, ZHW, DAÜ, ITSI, CYS, ERH, GST, PLAN, SA-IT, BAUT, RI-ADO, INST, BE-AN, WA-AN, RÜ-RE	AUS, ADO, FSI, SWE, SWT, HWE, EEA, STR, EMVK, EMUV, ZHW, DAÜ, ITSI, CYS, ERH, GST, PLAN, SA-IT, BAUT, RI-ADO, INST, BE-AN, WA-AN, RÜ-RE
	Endabnahme (ABNA)	(✓)	(✓)	(✓)	(✓)
Betrieb	Betrieb / Wartung (BETR) (→ Betriebsanweisung BE-AN, Wartungsanweisung WA-AN)	AUS, ADO, FSI, SWE, SWT, HWE, EEA, STR, EMVK, EMUV, ZHW, DAÜ, ITSI, CYS, FAN, ERH, GST, DBV, TLS, STU, ESI, PLAN, SA-IT, BAUT, RI-ADO, INST, BE-AN, WA-AN, RÜ-RE	AUS, ADO, FSI, SWE, SWT, HWE, EEA, STR, EMVK, EMUV, ZHW, DAÜ, ITSI, CYS, FAN, ERH, GST, DBV, TLS, STU, ESI, PLAN, SA-IT, BAUT, RI-ADO, INST, BE-AN, WA-AN, RÜ-RE	AUS, ADO, FSI, SWE, SWT, HWE, EEA, STR, EMVK, EMUV, ZHW, DAÜ, ITSI, CYS, FAN, ERH, GST, DBV, TLS, STU, ESI, PLAN, SA-IT, BAUT, RI-ADO, INST, BE-AN, WA-AN, RÜ-RE	AUS, ADO, FSI, SWE, SWT, HWE, EEA, STR, EMVK, EMUV, ZHW, DAÜ, ITSI, CYS, FAN, ERH, GST, DBV, TLS, STU, ESI, PLAN, SA-IT, BAUT, RI-ADO, INST, BE-AN, WA-AN, RÜ-RE
	Erhaltung / Aktualisierung / Erweiterung (ER-AK) (→ Regeln zur Erhaltung / Aktualisierung / Erweiterung ER-AN)	AUS, ADO, FSI, SWE, SWT, HWE, EEA, STR, UMV, EMVK, EMUV, ZHW, DAÜ, ITSI, CYS, FAN, ERH, GST, DBV, TLS, STU, ESI, PLAN, SA-IT, BAUT, RI-ADO, INST, BE-AN, WA-AN, RÜ-RE	AUS, ADO, FSI, SWE, SWT, HWE, EEA, STR, UMV, EMVK, EMUV, ZHW, DAÜ, ITSI, CYS, FAN, ERH, GST, DBV, TLS, STU, ESI, PLAN, SA-IT, BAUT, RI-ADO, INST, BE-AN, WA-AN, RÜ-RE	AUS, ADO, FSI, SWE, SWT, HWE, EEA, STR, UMV, EMVK, EMUV, ZHW, DAÜ, ITSI, CYS, FAN, ERH, GST, DBV, TLS, STU, ESI, PLAN, SA-IT, BAUT, RI-ADO, INST, BE-AN, WA-AN, RÜ-RE	AUS, ADO, FSI, SWE, SWT, HWE, EEA, STR, UMV, EMVK, EMUV, ZHW, DAÜ, ITSI, CYS, FAN, ERH, GST, DBV, TLS, STU, ESI, PLAN, SA-IT, BAUT, RI-ADO, INST, BE-AN, WA-AN, RÜ-RE
Abbruch	Rückbau / Recycling (RÜCK) (→ Regeln zum Rückbau / Recycling RÜ-RE)	AUS, ADO, ZHW, ERH, GST, PLAN, SA-IT, BAUT, RI-ADO, INST, RÜ-RE	AUS, ADO, ZHW, ERH, GST, PLAN, SA-IT, BAUT, RI-ADO, INST, RÜ-RE	AUS, ADO, ZHW, ERH, GST, PLAN, SA-IT, BAUT, RI-ADO, INST, RÜ-RE	AUS, ADO, ZHW, ERH, GST, PLAN, SA-IT, BAUT, RI-ADO, INST, RÜ-RE

Tabelle 2.4: Checkliste zur Einbeziehung von Regelungen in den Entwurfsprozess mit Zuordnung zu Funktionsgruppen (Fortsetzung - Kurzbezeichnungen)

Entwurfs-/Entwicklungs- bzw. Lebenszyklus-Phasen		Kapitel
IG-PA AN-SP FU-EN TE-EN IN-EP BETR ER-AK RÜCK	Informationsgewinnung / Problemanalyse Anlagenspezifikation Funktionaler Entwurf Technischer Entwurf / Aufbau und Test der Funktionseinheiten, Inbetriebnahme / Erprobung Betrieb / Wartung Erhaltung / Aktualisierung / Erweiterung Rückbau / Recycling	2.3.2
MH_IG-PA	methodische Hilfsmittel der Informationsgewinnung / Problemanalyse	2.3.1.4
Technischer Ausschreibungstext / Anforderungskategorien		
AUS	technischer Ausschreibungstext als freizugebene Vorspezifikation	2.3.2
SWE	Softwareentwicklung	2.2.1.1
SWT	Softwaretesting	2.2.1.2
HWE	Hardwareentwicklung und –integration	2.2.2.1
EEA	allgemeine technische Standards zum Errichten elektrotechnischer Anlagen	2.2.2.2
UMW	Umgebungs- und Umwelteinflüsse	2.2.2.3
STR	Eigenschaften der Stromversorgung	2.2.2.4
EMVK	Elektromagnetische Verträglichkeit der Komponenten	2.2.2.5
ZHW	Grundsätze zum Aufbau zuverlässiger Hardware	2.2.2.6
FSI	Funktionale Sicherheit	2.2.3.1
EMVG	Elektromagnetische Verträglichkeit der Gesamtanlage	2.2.3.2
EMUV	Elektromagnetische Umweltverträglichkeit	2.2.3.3
FAN	Funkanlagen und –module	2.2.3.4
DAÜ	Datenübertragung	2.2.3.5
ITSI	IT-Sicherheit	2.2.3.6
ERH	Erhaltung - Verfügbarkeit und Austausch defekter / veralteter Komponenten	2.2.3.7
GST	Verwendung gefährlicher Stoffe	2.2.3.8
ADO	Grundsätze der Anlagendokumentation	2.2.3.9
DBV	Merkblatt Brückenmonitoring	2.2.4.1
TLS	Technische Lieferbedingungen für Streckenstationen TLS 2012	2.2.4.2
STU	Leit-, Automatisierungstechnik und Überwachung in Straßentunneln	2.2.4.3
ESI	Echtzeit-Sicherheitsmanagement-System (ESIMAS) in Tunnelleitzentralen	2.2.4.4
CYS	Leitfaden zum Projekt Cyber-Safe	2.2.4.5
SOFT HARD GESA	standardisierte Mindestanforderungen der drei Bereiche Software, Hardware, Gesamtanlage	2.3.2
Perspektivisch zu erstellende Regelwerksdokumente		
PLAN SA-IT BAUT RI-ADO INST EIGN ABNA	allgemeine Planungsgrundlagen zu Planung und Entwurf Standardisierte Systemarchitektur der Informationstechnik (inkl. Datenübertragungsprozesse) Schnittstellendokument Richtlinie Anlagendokumentation Installation der Funktionsgruppen bzw. Betriebsmittel am Bauwerk Eignungsprüfung zwecks Integration in den Entwicklungsprozess Checkliste Abnahmekriterien	2.3.2

Tabelle 2.4: Checkliste zur Einbeziehung von Regelungen in den Entwurfsprozess mit Zuordnung der Funktionsgruppen (Fortsetzung - Kurzbezeichnungen)

Weitere Entwurfsprodukte		Kapitel
BE-AN WA-AN ER AK RÜ-RE	Betriebsanweisung („Anwenderdokumentation“) Wartungsanweisung (Hard- und Softwarewartung) Regeln zur Erhaltung / Aktualisierung / Erweiterung Regeln zum Rückbau / Recycling	2.3.2
Funktionsgruppen		
SE/DÜ MVV BÜP AK/ST	<i>am Bauwerk:</i> Sensorik mit Datenübertragung zum Bauwerksübergabepunkt Messdatenvorverarbeitung Bauwerksübergabepunkt mit Datenübertragung (ggf. über Mobilfunk) ggf. Aktoren zur Bauwerkssteuerung und ihre Ansteuerung	1.3.1 2.1.1
DS/DH SPM DZ/DD	<i>in der Zentrale / beim Anwender:</i> Datenspeicherung und -historisierung Schädigungs- und Prognosemodelle / Bewertung Datenzugriff und -darstellung	

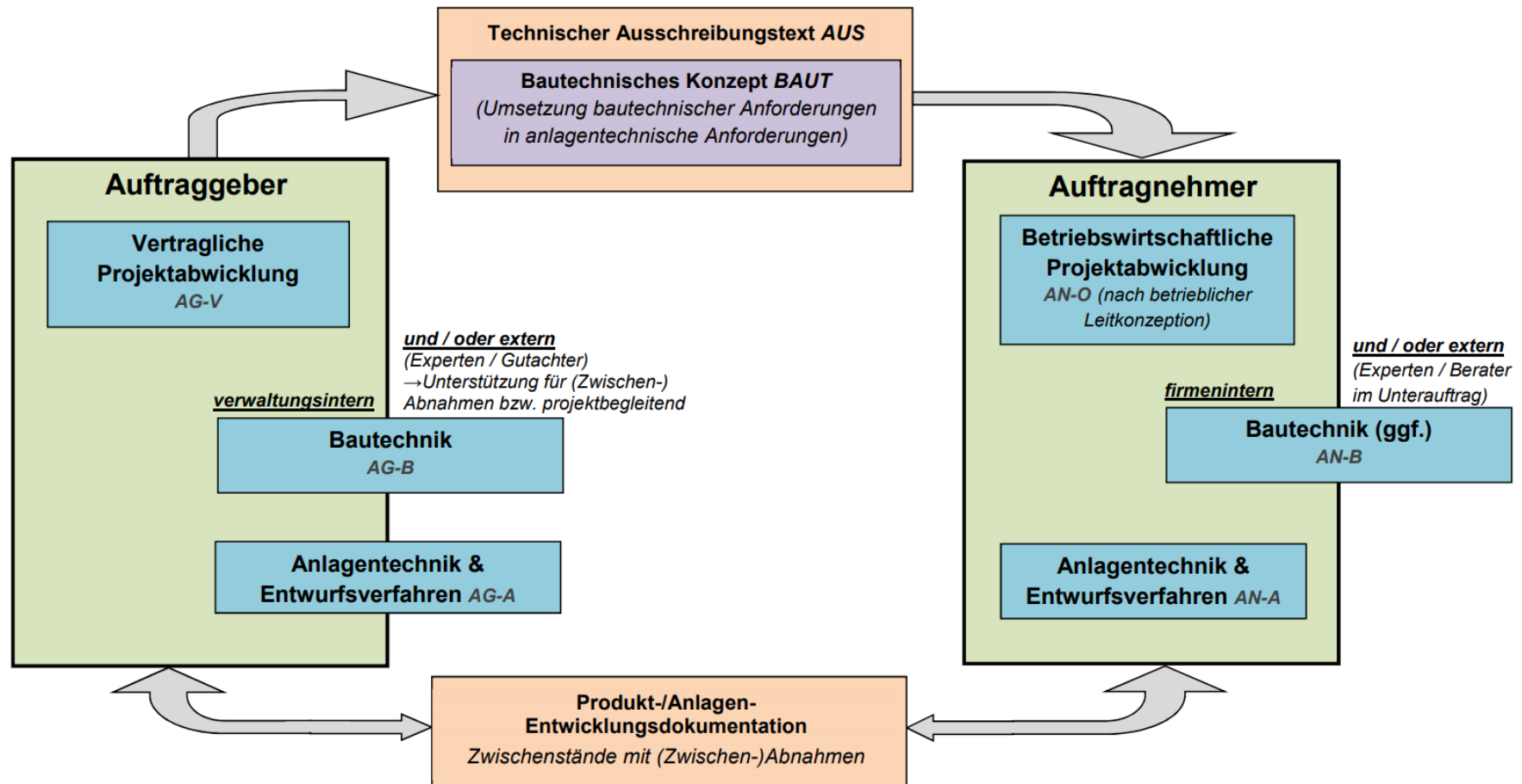


Bild 2.17: Projektbeteiligte und Zuständigkeitsbereiche mit Schwerpunkt fachtechnischer Kommunikation

Tabelle 2.5: Projektablaufschema mit Einbindung möglicher Projektbeteiligter und Einbettung der Phasen des Anlagen-Entwurfs-/Entwicklungsverfahrens in den Gesamtablauf der Projektabwicklung

Projektschritt		AG-V	AG-B	AG-A	AG-B (Ex)	AG-A (Ex)	AN-O	AN-B	AN-A	AN-B (Ex)	Phasen Entwurfs-/Entwicklungsverfahren	Haupt-Dokumente u. a.	Kapitel	
AG	Aufgabenstellung		x								IG-PA (Ph. 1) AN-SP (Ph. 2)	vgl. Tab. D-3	2.3.1.1, 2.3.1.4, 2.3.1.6 (Ph. 1), Vorgehensvorsch. S. 55	
	Vorplanung (Vor-Spezifikation)		x	x	(x)	(x)						BAUT	2.3.1.1, 2.3.1.4, 2.3.1.6 (Ph. 2), Vorgehensvorsch. S. 55	
	Ausschreibungsplanung	x	x	x										2.3.2, 2.3.3, Vorgehensvorsch. S. 55
	Ausschreibung (VOF / VOL)	x	x	x	(x)	(x)							BAUT, AUS (sowie PLAN, SA-IT RI-ADO, INST, EIGN)	2.3.2, 2.2.3, Vorgehensvorsch. S. 55
AN (AG)	Angebot	x	x	x	(x)	(x)	x	x	x	(x)	IG-PA (Ph. 1) AN-SP (Ph. 2)	vgl. Tab. D-3	2.3.1.1, 2.3.1.3, 2.3.1.4, 2.3.1.5, 2.3.1.6 (Ph. 1 u. 2), Vorgehensvorsch. S. 55	
	Planung / Entwicklung			x(!)		(x!)	x	x	x	(x)	AN-SP (Ph. 2) FU-EN (Ph. 3)	vgl. Tab. D-3	2.3.1.1, 2.3.1.3, 2.3.1.4, 2.3.1.5, 2.3.1.6 (Ph. 2 u. 3), Vorgehensvorsch. S. 55	
	Umsetzung / Ausführung			x(!)		(x!)	x		x*		TE-EN (Ph. 4) IN-EP (Ph. 5)	vgl. Tab. D-3	2.3.1.1, 2.3.1.3, 2.3.1.4, 2.3.1.5, 2.3.1.6 (Ph. 4 u. 5), 2.3.1.7, Vorgehensvorsch. S. 55	
AG (AN)	Abnahme		x	x	(x)	(x)	x	x	x	(x)	IN-EP (Ph. 5)	ABNA	2.3.1.1, 2.3.1.3, 2.3.1.4, 2.3.1.5, 2.3.1.6 (Ph. 5), 2.3.1.7, Vorgehensvorsch. S. 55	
Weitere Lebenszyklusphasen		AG-V	AG-B	AG-A	AG-B (Ex)	AG-A (Ex)	AN-O	AN-B	AN-A	AN-B (Ex)	Phasen Entwurfs-/Entwicklungsverfahren	Haupt-Dokumente u. a.	Kapitel	
AG (AN)	Betrieb / Wartung (BETR)		x	x					(x)			BE-AN WA-AN	2.3.2	
AG (AN)	Erhaltung / Aktualisierung / Erweiterung (ER-AK)	x	x	x	(x)	(x)		x	x		IG-PA (Ph. 1) bis IN-EP (Ph. 5)	ER AK	2.3.1.1, 2.3.1.3, 2.3.1.4, 2.3.1.5, 2.3.1.6 (Ph. 1 bis 5), 2.3.2, Vorgehensvorsch. S. 55	
	Rückbau / Recycling (RÜCK)		x	(x)				x	(x)			RÜ-RE	2.3.2	

*) ggf. auch (in Teilen) durch Unterauftragnehmer

Rollen des Auftraggebers (Bauherr)

„AG-V“ = Ausschreibung / vertragliche Projektabwicklung,

„AG-B“ = Bautechnik; „AG-B (Ex)“ = ggf. durch externe Ressourcen bzw. Expertisen / Gutachter (ergänzt)


„AG-A“ = Anlagentechnik / Entwurfsverfahren; „AG-A (Ex)“ = ggf. durch externe Ressourcen bzw. Expertisen / Gutachter (ergänzt)


Rollen des Auftragnehmers (ausführendes Unternehmen)

„AN-O“ = projektorganisatorische / betriebswirtschaftliche Abwicklung,

„AN-A“ = Anlagentechnik / Entwurfsverfahren

„AN-B“ = Bautechnik; „AN-B (Ex)“ = ggf. durch externe Ressourcen bzw. Expertisen / Berater (ergänzt)

 (Vor-)Fachplanungsleistungen des Auftraggebers bzw. seiner Beauftragten (bereits Bestandteil des Entwicklungs- und Entwurfsprozesses)

 Angebotserstellung / Fachplanungs- und Entwicklungsleistungen des Auftragnehmers bzw. seiner Beauftragten, (Bestandteil des Entwicklungs- und Entwurfsprozesses)

 Angebotsbewertung / Auftragserteilung

 kontinuierliche fachliche Projektbegleitung / Freigaben / Abnahme durch den Auftraggeber bzw. seine Beauftragten

 Ausführungsleistungen des Auftragnehmers bzw. seiner Beauftragten

3. Zusammenführung der Ergebnisse zu einem Regelwerk Intelligente Brücke

Vorstudie als Grundlage

Im vorliegenden Projekt wurden als Vorstudie Instrumente für eine projektbegleitende Qualitätssicherung sowie weiterhin erste Ansätze für eine standardisierte fachtechnische Umsetzung der Systematik Intelligente Brücke in der Fläche unter aktuellen bzw. möglicherweise perspektivischen funktionalen und technischen Rahmenbedingungen vorgeschlagen. Zudem wurden hierzu aktuell relevante Vorschriften und technische Auflagen sowie unterstützende prozessbezogene und technische Referenzen identifiziert und weitergehend analysiert.

Hierbei konnten verschiedene erprobte und bewährte Strategien, Verfahren und Lösungsansätze aus Bereichen mit vergleichbaren technischen Aufgabenstellungen als potentiell nutzbare Ressourcen aufgezeigt werden. Hiermit liegt nun in Summe eine einführende Behandlung sowie Zusammenstellung von wesentlichen zu berücksichtigenden Themenbereichen für die Erarbeitung eines Regelwerkes Intelligente Brücke als vertragliche Grundlage vor.

Weiteres Vorgehen

In einem nächsten Schritt sind nun aufbauend auf diesen Ergebnissen weitere Konkretisierungen vorzunehmen und in einem Regelwerk Intelligente Brücke zu einer konsistenten, belastbaren und flexibel anwendbaren Vertragsgrundlage zusammenzuführen. Hierbei ist zunächst insbesondere eine vertiefte Sichtung, Bewertung und weitere Behandlung bzw. ggf. Ergänzung der hier vorgelegten Inhalte vorzunehmen, im Hinblick auf eine grundsätzliche vertragliche Umsetzung zu prüfen sowie für die erforderlichen Themenbereiche vertragstextlich umfänglich auszuarbeiten.

Neben der weiteren Ausformulierung des fachtechnischen Konzepts der Systematik Intelligente Brücke – auch im Hinblick auf Standardisierungsaspekte – ist ein Grundkonzept für Aufbau und Pflege des Regelwerks zu erstellen. Hierbei ist dem Umstand Rechnung zu tragen, dass im Regelwerk behandelte Vorgehensweisen und Realisierungsansätze einem raschen stetigen technologischen Wandel unterworfen sein können. Somit muss das Regelwerk über seinen Lebenszyklus hinweg stetig fortentwicklungsfähig sein, was bei Struktur und Gliederung zu berücksichtigen

ist. Weiterhin ist die Möglichkeit der Aktualisierung der Vorgehensweisen zu den Entwurfs- und Entwicklungsverfahren sowie zu der Anlagenentwicklungsdokumentation vorzusehen.

Es sind hierbei Regelwerksteile für die Planung, Entwicklung, Ausführung und Wartung, ferner perspektivisch für Erhaltung, Aktualisierung, Erweiterung und Rückbau der Anlage zu berücksichtigen. Vorschläge zu möglichen Regelwerksinhalten finden sich Tab. G-1, Anlage G.

In den Kap. 1.3, 2.1, 2.2, sowie 2.3 wurden Vorgehensvorschläge für die Themenbereiche Grobkonzept, Planungs- und Entwicklungsaufgabe, bestehende Regelungen für die abzudeckenden technischen Bereiche sowie Musterentwurfprozess zur Produkt-/Anlagenentwicklung formuliert. Diese Vorgehensvorschläge unterstützen mit einer dort gegebenen ersten Einordnung, Bewertung und Vorauswahl eine weitere Ausarbeitung der im Regelwerk zu berücksichtigenden Themenbereiche.

Aufgrund des Aufwands, des erforderlichen Regelungsumfangs sowie der großen Bandbreite der abzudeckenden technischen Bereiche ist geplant, eine Zusammenführung der Ergebnisse der Studie zwecks Erstellung eines Regelwerkkonzepts sowie -entwurfs im Rahmen eines Forschungsauftrags erbringen zu lassen.

Hierfür ergibt sich zusammengefasst folgendes vorgeschlagenes Vorgehen:

- fachtechnische Sichtung und Auswertung der zusammengestellten Grundlagen aus dieser Vorstudie als rahmengebende, prozessbezogene und technische Bausteine für die Regelerstellung in den einzelnen Themenbereichen, Dokumentation hierzu,
- fachtechnische Wertung im Hinblick auf eine vertragliche Umsetzung,
- ggf. notwendige Ergänzungen durch weitere Informationsgewinnung, Schließung von Verfahrens- und Regelungslücken,
- Entwicklung einer Leitkonzeption für ein Regelwerk hinsichtlich Aufbau und Pflege (zwecks technischer und vertraglicher Aktualisierung mit Versionsmanagement, z. B. turnusmäßige Überprüfung der technischen Inhalte alle 5 Jahre),
- hierbei Erarbeitung einer modularen, fortentwickelbaren Regelwerksstruktur, Erstellung

einer regelwerkslebenszyklusbasierten Gliederungssystematik,

- Priorisierung von vordringlich zu erstellenden Regelwerksteilen, Erstellung eines Entwicklungsplans für die sukzessive Erarbeitung und Fortentwicklung des Regelwerks,
- fachtechnisch begründete Auswahl von Verfahrensweisen und Aufnahme von Regelungsinhalten für die einzelnen Regelungsbereiche, Diskussion der Form der Integration,
- Konkretisierung und Anpassung von Verfahrensweisen bezogen auf bereits verständigte Standardisierungen bzw. Anlagendesigns, ggf. auch begründete Modifikationsvorschläge,
- hierbei Festlegung praktikabler Anforderungen für die berücksichtigten technischen und organisatorischen Bereiche, praxistaugliche Darstellung der abgestuften Berücksichtigung der Anforderungen an den Anlagenentwurf,
- Zuordnung der Inhalte in Planungs-, Entwicklungs- und Ausführungsregelwerksteile,

Konzept einer fortschreibbaren Vernetzungs-/Verweissystematik der verschiedenen Regelwerksteile untereinander,

- Integration von Vorgehensmodell, Musterentwurfsprozess und Projektablaufschema,
- Auswahl und Empfehlung von Kooperationsmodellen für die vertragliche Projektabwicklung,
- Entwurf für die Gliederung der Anlagenentwicklungsdokumentation (u. a. unter Einbeziehung der Bezeichnungssystematik nach Tab. D-3, Anlage D),
- Ergänzung einer Checkliste für Ausführungsleistungen (im Sinne von M-BÜ-ING),
- Erarbeitung, Durchführung und Dokumentation einer Plausibilitätsüberprüfung für die Regelungsinhalte anhand von Musterentwicklungsszenarien,
- Bereitstellung der elektronischen Dokumente für die Fortschreibung.

4. Zusammenfassung

Das System Intelligente Brücke in seiner Gesamtarchitektur stellt mit seinen Funktionsgruppen am Bauwerk und in der Zentrale / beim Anwender, den vielzahligen zugehörigen physikalischen und logischen Schnittstellen sowie den vielfältigen Übertragungsprozessen eine umfangreiche technische Anlage mit z. T. hohem Komplexitätsgrad dar.

Darüber hinaus soll diese messtechnische Anlage über einen an das Bauwerk angeglichenen Lebenszyklus als integraler Bestandteil dieses anforderungskonform, betriebssicher und wirtschaftlich betrieben werden, was insbesondere auch weitere Anforderungen an Dauerhaftigkeit sowie Wartungs-, Erhaltungs-, Aktualisierungs- und Erweiterungsfähigkeit über diese Zeiträume stellt.

Ziel des Projekts ist daher die Erstellung eines Konzepts zur systematischen Erfassung erforderlicher Anforderungen an diese Anlagen in einem qualitätsgesicherten Planungs-, Entwurfs- und Entwicklungs-, Ausführungs- und Abnahmeprozess.

Vor dem Hintergrund steigender Vernetzung und vermehrter Nutzbarmachung von Datenquellen sind über die ursprünglich angedachten Fernüberwachungs- sowie Analyse- und Prognosefunktion der Systematik Intelligente Brücke perspektivisch weitere Funktionen denkbar wie beispielsweise die Erzeugung von (Verkehrs-)Statusinformationsfunktionen für den telematischen Bereich sowie z. B. Schalt- bzw. Steuerungsfunktionen für verschiedene Parameter am Bauwerk. Hierbei können erhöhte Sicherheitsanforderungen (funktionale – und IT-Sicherheit) sowie Echtzeitanforderungen erforderlich sein. Ein Konzept zur Qualitätssicherung und zur Erreichung vorgegebener Betriebssicherheitsanforderungen sollte daher diese Betriebsfälle im Sinne eines Anforderungsbaukastens bereits fakultativ mit berücksichtigen.

Zu berücksichtigen ist zudem, dass für die Systematik Intelligente Brücke im Anschluss ein Regelwerk mit vertraglichen Grundlagen zu erstellen ist. Somit sind Konzepte aus dem Forschungs- und Erprobungsbereich nun in einen standardisierten und spezifizierten Bereich zu überführen.

Da die zu erstellenden technischen Anlagen vorwiegend mit elektrischen, elektronischen,

mechatronischen bzw. Mitteln der Informationstechnologie als Basis-Technologien realisiert werden, ist es aus Aufwands-, Spezifikationsvereinfachungs- und Standardisierungsgründen naheliegend, auf bereits bestehende und erprobte Regelungen aus diesen technischen Bereichen mit vergleichbaren Aufgabenstellungen im Sinne von Best-Practice zurückzugreifen. Hierzu wurden mögliche relevante Regelungen sowie gesetzliche Vorgaben identifiziert, überblicksartig in Anforderungskategorien für Software, Hardware und Gesamtanlage zusammengefasst und weitergehend für eine Berücksichtigung bzw. Nutzung eingeordnet.

Strukturierte Entwurfs- und Entwicklungsverfahren erlauben mit ihren konsistenten Spezifikations- und Dokumentationsstrategien und -mitteln als weitere Ressource konzeptionell eine durchgehend für alle Akteure transparente und qualitätsgesicherte Durchführung von Planung, Entwurf und Ausführung. Von vorneherein unflexible, stark einschränkende rein technologiebezogene und umsetzungslastige Entwurfs- und Entwicklungsszenarios werden hierdurch zuverlässig vermieden.

Die vorstehenden beiden Ressourcen bzw. Instrumente ‚bestehende und erprobte Regelungen‘ sowie ‚Entwurfs- und Entwicklungsverfahren‘ werden zusammen mit einem Einbeziehungskonzept für projektbezogen erforderliche Anforderungen an die Anlage zu einem Vorgehensmodell zusammenfasst.

Zudem erfolgt zur Orientierung eine überblicksartige Zuordnung von möglichen Anforderungskategorien zu den drei vorgeschlagenen Anforderungsstufen zur Systematik Intelligente Brücke: ‚Erprobungsanlagen‘, ‚Regelaufbau‘ und ‚Aufbau mit ergänzenden Funktionen‘. Eine Checkliste fasst fakultative verwendbare Anforderungskategorien für die einzelnen Funktionsgruppen der Systematik Intelligente Brücke für alle Anforderungsstufen nochmals zusammen. Projektentwicklungsaspekte - auch im Hinblick auf die jeweiligen auftraggeber- und auftragnehmerseitigen Rollen und Aufgaben - werden ebenfalls angesprochen.

Im Hinblick auf zu erarbeitende Regelwerke werden zudem inhaltlich abgegrenzte Regelwerkdokumentkategorien vorgeschlagen. Ihre zukünftigen Inhalte unterstützen konzeptionell eine bundeseinheitliche Umsetzung der Systematik

Intelligente Brücke „in der Fläche“ - ggf. u. a. auch mit Standard-Architekturen -, was ebenfalls positive Effekte hinsichtlich Betriebssicherheit und Wirtschaftlichkeit des Anlagenbetriebes und damit auch für die Akzeptanz der Systematik Intelligente Brücke erwarten lässt.

Fazit

Das *Qualitätssicherungskonzept zur Systematik Intelligente Brücke* beinhaltet einen für alle Projektbeteiligten durchgängig transparenten und fortwährend qualitätsgesicherten *strukturierten Entwicklungs- und Entwurfsprozess* („Secure by Design“) sowie eine *systematische Einbeziehung nutzbarer technischer Regeln und Standards* in diesen. Hiermit lassen sich erforderliche Entwicklungsziele umfänglich darstellen, somit insbesondere auch der Aspekt der *Betriebssicherheit*. Konzeptionell angelegte *Standardisierungsbestrebungen* unterstützen ebenso dieses Ziel. Mit Hilfe der hier dargestellten Ergebnisse liegt ein Beitrag zur konzeptionellen Fortentwicklung der

Systematik Intelligente Brücke vor, insbesondere im Hinblick auf die Berücksichtigung der nachstehend zusammengefassten grundlegenden Anforderungen an Planung, Entwicklung, Ausführung, Wartung, Erhaltung, Aktualisierung, Erweiterung und Rückbau der Anlage

- Standardisierung,
- Regelkonformität,
- Anforderungskonformität,
- Betriebssicherheit,
- Dauerhaftigkeit,
- Wartbarkeit / Erhaltbarkeit,
- Aktualisierbarkeit / Erweiterbarkeit sowie
- Wirtschaftlichkeit

für eine weitere Ausgestaltung des Regelwerks Intelligente Brücke.

Eine weitere Ausarbeitung und Zusammenführung der dargestellten Ergebnisse zu einem Regelwerksentwurf ist im Rahmen eines sich hieran anschließenden Forschungsauftrags geplant.

5. Literatur

- [1] Brückenstatistik der Bundesfernstraßen, Bundesanstalt für Straßenwesen, Stand 01.09.2020, www.bast.de
- [2] Der Elsner - Handbuch für Straßen und Verkehrswesen 2020, Otto Elsner Verlagsgesellschaft, Berlin, 2019.
- [3] www.intelligentebruecke.de
- [4] T. Neumann, E. Kempkens, P. Haardt: „Intelligente Brücke - Qualitätsmanagement und Koordination des Themenschwerpunkts“, AP-Projekt, F1100.2111013, BASt 2015.
- [5] M. Schnellenbach-Held: „Entwicklung einer adaptiven Spannbetonstruktur mit lernfähigen Fuzzy-Regelungssystem“, FE 88.0107/2010, Essen 2012.
- [6] U. Piller, W. Nüchel: Entwurf MC-gesteuerter Produkte und Anlagen. VDE-Verlag GmbH, Berlin und Offenbach 1988.
- [7] F. Sawo, V. Klumpp, F. Beutler: „Intelligente Bauwerke - Anforderungen an die Aufbereitung von Messgrößen und ihrer Darstellungsform“, Schlussbericht Projekt FE 15.548, Berichte der Bundesanstalt für Straßenwesen, Heft B 114, Juni 2015.
- [8] K. Franz: Handbuch zum Testen von Web- und Mobile-Apps – Testverfahren, Werkzeuge, Praxistipps. Springer 2015.
- [9] M. Pol, T. Koomen, A. Spillner: Management und Optimierung des Testprozesses. Ein praktischer Leitfaden für erfolgreiches Testen von Software mit TPI und TMAP. dPunkt.verlag, Heidelberg 2002.
- [10] M.-F. Wendland: Teststandardfamilie - Einblick in den ISO 29119 „Software Testing Standard“. Online-Themenspecial Testing 2014, www.objektspektrum.de.
- [11] M. Daigl, R. Glunz: ISO 29119 – Die Softwaretest-Normen verstehen und anwenden, dpunkt.verlag, Heidelberg 2016.
- [12] VDE/VDI 2180 „Sicherung von Anlagen der Verfahrenstechnik mit Mitteln der Prozessleittechnik (PLT) – Nachweis der Hardwareintegrität einer PLT-Schutzeinrichtung“, Düsseldorf 2010.
- [13] VDI 2206 „Entwicklungsmethodik für mechatronische Systeme, Düsseldorf 2004.
- [14] „HIL – Hardware-in-the-Loop im Maschinen- und Anlagenbau“, Fraunhofer-Institut für Techno- und Wirtschaftsmathematik ITWM, Kaiserslautern, 2016.
- [15] DO-254 – Eine Einführung. www.2solution.de.
- [16] „LV 124 in der Praxis – Test Strategien“, Ravensburg, Oktober 2014, www.wks-informatik.de.
- [17] L. Hofmann, H. Huisinga, M. Mohrmann: „Intelligente Bauwerke - Konzepte und Verfügbarmachung intelligenter Energieversorgung am Bauwerk - die energieautarke Brücke“, Schlussbericht Projekt FE 29.0326/2013/BASt, Mai 2014.
- [18] Richtlinie 2014/30/EU des Europäischen Parlaments und des Rates vom 26. Februar 2014 zur Harmonisierung der Rechtsvorschriften der Mitgliedstaaten über die elektromagnetische Verträglichkeit (Neufassung).
- [19] Gesetz über die elektromagnetische Verträglichkeit von Betriebsmitteln (Elektromagnetische-Verträglichkeit-Gesetz - EMVG).
- [20] M. Scherkenbach: CE-Kennzeichnung – Relevanz und Konsequenz der BASt-eigen entwickelten Elektronik; AP-Projekt F1100.3408004; 2008.
- [21] Wikipedia: IEC 61508. Aufruf 16.09.2020.
- [22] Einführung und Begriffe zur funktionalen Sicherheit von Maschinen und Anlagen - Nachschlagewerk 2013. Siemens AG Fürth.
- [23] VDI/VDE 3527 „Kriterien zur Gewährleistung der Unabhängigkeit von

- Sicherheitsfunktionen bei der Leittechnik-Auslegung“, Düsseldorf 2002.
- [24] A. Singh: RTCA DO-178B (EUROCAE ED-12B). Technical Report, 2001, www.researchgate.net.
- [25] ED-153 “Guidelines for ANS Software Safety Assurance“, EUROCAE, 2009.
- [26] Leitfaden zur Anwendung der Richtlinie 2004/108/EG des Rates vom 15. Dezember 2004 zur Angleichung der Rechtsvorschriften der Mitgliedsstaaten über die elektromagnetische Verträglichkeit (EMV-Leitfaden), Stand 21.05.2007, Deutsche Übersetzung, Bundesnetzagentur.
- [27] Sechszwanzigste Verordnung zur Durchführung des Bundes-Immissionsschutzgesetzes (Verordnung über elektromagnetische Felder - 26. BImSchV) vom 16.12.1996 / 14.8.2013.
- [28] Empfehlung des Rates vom 12. Juli 1999 zur Begrenzung der Exposition der Bevölkerung gegenüber elektromagnetischen Feldern (0 Hz bis 300 GHz); 1999 / 519 /EG.
- [29] Richtlinie 2013/35/EU des Europäischen Parlaments und des Rates vom 26. Juni 2013 über Mindestvorschriften zum Schutz von Sicherheit und Gesundheit der Arbeitnehmer vor der Gefährdung durch physikalische Einwirkungen (elektromagnetische Felder).
- [30] Berufsgenossenschaftliche Vorschrift für Sicherheit und Gesundheit bei der Arbeit, BGV B11 (VBG 25), Unfallverhütungsvorschrift Elektromagnetische Felder vom 1. April 2002.
- [31] Richtlinie 2014/53/EU des Europäischen Parlaments und des Rates vom 16. April 2014 über die Harmonisierung der Rechtsvorschriften der Mitgliedstaaten über die Bereitstellung von Funkanlagen auf dem Markt und zur Aufhebung der Richtlinie 1999/5/EG.
- [32] Gesetz über die Bereitstellung von Funkanlagen auf dem Markt (Funkanlagen-gesetz - FuAG) vom 27.06.2017.
- [33] Gesetz zur Erhöhung der Sicherheit informationstechnischer Systeme vom 17. Juli 2015.
- [34] Verordnung zur Bestimmung kritischer Infrastrukturen nach dem BSI-Gesetz (BSI-Kritisverordnung – BSI-KRITIS V), 22. 04. 2016.
- [35] IT-Grundschutz-Kataloge. 15. Ergänzungslieferung, Bundesamt für Sicherheit in der Informationstechnik, Bonn, Stand 2016.
- [36] Wikipedia: ISO/IEC 15408 Aufruf 08.10.2020.
- [37] Orientierungsleitfaden für Hersteller zur IEC 62443, Zentralverband Elektrotechnik- und Elektronikindustrie e. V. - Fachverband Automation, Frankfurt April 2017.
- [38] VDI/VDE 2182, Blatt 1 „Informationssicherheit in der industriellen Automatisierung – Allgemeines Vorgehensmodell“, Düsseldorf 2020.
- [39] Richtlinie 2011/65/EU (RoHS 2) des Europäischen Parlaments und des Rates vom 8. Juni 2011.
- [40] DBV-Merkblatt „Brückenmonitoring – Planung, Ausschreibung, Umsetzung“, Deutscher Beton- und Bautechnik Verein, Berlin, August 2018.
- [41] Technische Lieferbedingungen für Streckenstationen, Ausgabe 2012 (TLS 2012), BMVI, Berlin
- [42] Wikipedia: DIN EN 60870 Aufruf 16.09.2020.
- [43] „Richtlinien für die Ausstattung von und den Betrieb von Straßentunneln“ RABT, FGSV, Köln, Ausgabe 2016.
- [44] „Empfehlungen für die Ausstattung und den Betrieb von Straßentunneln mit einer Planungsgeschwindigkeit von 80 km/h oder 100 km/h“ EABT-80/100, FGSV, Köln, Ausgabe 2019.
- [45] ZTV-ING 5-4 „Tunnelbau – Betriebstechnische Ausstattung“, FGSV, Köln, Ausgabe 2007.

- [46] Broschüre „Echtzeit-Sicherheitsmanagement-System (ESIMAS) in Tunnelzentralen - Einsatzmöglichkeiten, Systembestandteile und Integration“. BAST 2015.
- [47] Schutz von Tunnelzentralen vor Cyber-Angriffen – Leitfaden zur Beurteilung und Verbesserung der IT-Sicherheit. Cyber-Save Verbundpartner, BAST, Bergisch Gladbach 2018.
- [48] H.C. Jünger, S. Scharpf: „Effektivität in Projektteams integrierter Projektentwicklungsmodelle mit Mehrparteienverträgen gegenüber konventionellen und partnerschaftlichen Modellen“. Bauingenieur 09.2020, VDI Fachmedien, Düsseldorf.
- [49] Wikipedia: MIL-STD-810G. Aufruf 16.09.2020.
- [50] FE15.0510/2011/DRB: „Intelligente Bauwerke – Schädigungsrelevante Einwirkungen und Schädigungspotenziale von Brückenbauwerken aus Beton“, Heft B 110, BAST 2015.

Anlage A:

**Ergänzungen zu:
Grundlegende Anforderungen an die Software**

Tabelle A-1: Normenreihe ISO/IEC 25000

Normenreihe ISO/IEC 25000 System- und Software-Engineering	
ISO/IEC 25000	System- und Software-Engineering – Qualitätskriterien und Bewertung von Softwareprodukten (SQuaRE) – Leitfaden für SQuaRE
ISO/IEC 25001	System- und Software-Engineering – Qualitätskriterien und Bewertung von Softwareprodukten (SQuaRE) – Planung und Management
ISO/IEC 25010	System- und Software-Engineering – Qualitätskriterien und Bewertung von System und Softwareprodukten (SQuaRE) – Qualitätsmodell und Leitlinien
ISO/IEC 25012	Software-Engineering – Qualitätskriterien und Bewertung von Softwareprodukten (SQuaRE) – Modell der Datenqualität
ISO/IEC 25020	Software-Engineering – Qualitätskriterien und Bewertung von Softwareprodukten (SQuaRE) – Qualitätsmessung – Messungsreferenzmodell und Leitfaden
ISO/IEC 25021	System- und Software-Engineering Qualitätsanforderungen und Bewertung von Software-Produkten (SQuaRE) – Elemente zur Qualitätsmessung
ISO/IEC 25022	System- und Software-Engineering – Qualitätskriterien und Bewertung von System- und Softwareprodukten (SQuaRE) – Messung der Einsatzqualität
ISO/IEC 25023	System- und Software-Engineering – Qualitätskriterien und Bewertung von System- und Softwareprodukten (SQuaRE) – Messung von System- und Softwareproduktqualität
ISO/IEC 25024	System- und Software-Engineering – Qualitätskriterien und Bewertung von System- und Softwareprodukten (SQuaRE) – Messung der Datenqualität
ISO/IEC 25030	Software-Engineering – Qualitätskriterien und Bewertung von Softwareprodukten (SQuaRE) – Qualitätsanforderungen
ISO/IEC 25040	System- und Software-Engineering – Qualitätskriterien und Bewertung von System- und Softwareprodukten (SQuaRE) – Bewertungsprozess
ISO/IEC 25041	System- und Software-Engineering – Qualitätskriterien und Bewertung von System- und Softwareprodukten (SQuaRE) – Evaluierungshandbuch für Entwickler, Ankäufer und unabhängige Gutachter
ISO/IEC 25045	System und Software-Engineering – Qualitätskriterien und Bewertung von System- und Softwareprodukten (SQuaRE) – Auswertungsmodul für die Werthaltigkeit
ISO/IEC 25051	Software-Engineering – Softwareproduktbewertung – Qualitätsanforderungen an kommerzielle serienmäßig produzierte Softwareprodukte (COTS) und Prüfanweisungen
ISO/IEC 25051	Software-Engineering – Softwareproduktbewertung – Qualitätsanforderungen an Ready to Use Software Produkte (RUSP) und Prüfanweisungen
ISO/IEC TR 25060	Qualitätskriterien und Bewertung von Softwareprodukten (SQuaRE) – Gemeinsames Industrieformat (CIF) zur Gebrauchstauglichkeit – Allgemeine Rahmenbedingungen für Informationen zur Gebrauchstauglichkeit
ISO/IEC 25062	Software-Engineering – Qualitätskriterien und Bewertung von Softwareprodukten (SQuaRE) – Gemeinsames Industrieformat (CIF) für Berichte über Gebrauchstauglichkeitsprüfungen
ISO/IEC 25063	System und Software-Engineering – Anforderungen und Bewertung der Produktqualität bei Systemen und Software (SQuaRE) – Allgemeines Industrieformat (CIF) für Bedienbarkeit: Beschreibung des Verwendungskontext
ISO/IEC 25064	System- und Software-Engineering – Qualitätskriterien und Bewertung von Softwareprodukten (SQuaRE) – Gemeinsames Industrieformat (CIF) für Bedienbarkeit: Bericht der Anwenderanforderungen
ISO/IEC 25066	System- und Software-Engineering – Qualitätskriterien und Bewertung von Softwareprodukten (SQuaRE) – Gemeinsames Industrieformat (CIF) für Bedienbarkeit: Evaluationsberichte

Tabelle A-2: Normenreihe ISO/IEC/IEEE 29119

Normenreihe ISO/IEC/IEEE 29119 Software-und Systemengineering - Software-Test	
ISO/IEC/IEEE 29119-1	Software-und Systemengineering - Software-Test - Teil 1: Konzepte und Definitionen
ISO/IEC/IEEE 29119-2	Software-und Systemengineering - Software-Test - Teil 2: Testprozesse
ISO/IEC/IEEE 29119-3	Software-und Systemengineering - Software-Test - Teil 3: Testdokumentation
ISO/IEC/IEEE 29119-4	Software-und Systemengineering - Software-Test - Teil 4: Testtechniken
ISO/IEC/IEEE 29119-5	Software-und Systemengineering - Software-Test - Teil 5: Keyword-driven Testen

Anlage B:

**Ergänzungen zu:
Grundlegende Anforderungen an die Hardware**

Tabelle B-1: MIL-STD 810g – Überblick über die Prüfverfahren zu den Umwelteinflussgrößen [49]

Prüfverfahren MIL-STD 810g	
Nr.	Bezeichnung
500	Low Pressure (Altitude)
501	High Temperature
502	Low Temperature
503	Temperature Shock
504	Contamination by Fluids
505	Solar Radiation (Sunshine)
506	Rain
507	Humidity
508	Fungus
509	Salt Fog
510	Sand and Dust
511	Explosive Atmosphere
512	Immersion
513	Acceleration
514	Vibration
515	Acoustic Noise
516	Shock
517	Pyroshock
518	Acidic Atmosphere
519	Gunfire Shock
520	Temperature, Humidity, Vibration, and Altitude
521	Icing/Freezing Rain
522	Ballistic Shock
523	Vibro-Acoustic/Temperature
524	Freeze-Thaw
525	Time Waveform Replication
526	Rail Impact
527	Multi-Exciter Testing
528	Mechanical Vibrations Of Shipboard Materiel (Type I – Environmental And Type II – Internally Excited)

Tabelle B-2: Normen der Reihe DIN EN 60721

DIN EN 60721 Klassifizierung von Umweltbedingungen	
Teil 1: Vorzugswerte für Einflussgrößen	
Teil 2-1: Natürliche Umgebungsbedingungen - Temperatur und Luftfeuchte	
Teil 2-2: Natürliche Umgebungsbedingungen - Niederschlag und Wind	
Teil 2-3: Natürliche Umgebungsbedingungen - Luftdruck	
Teil 2-4: Natürliche Umgebungsbedingungen - Sonnenstrahlung und Temperatur	
Teil 2-7: Natürliche Umgebungsbedingungen - Fauna und Flora	
Teil 2-9: Natürliche Einflüsse - Beschreibung von Umgebungsbedingungen aus gemessenen Stoß- und Schwingungsdaten - Lagerung, Transport und Einsatz	
Teil 3: Klassifizierung von Einflussgrößen in Gruppen und deren Schärfegrade - Einführung	
Teil 3-1: Klassifizierung von Einflussgrößen in Gruppen und deren Schärfegrade - Abschnitt 1: Lagerung	
Teil 3-2: Klassifizierung von Einflussgrößen in Gruppen und deren Schärfegrade - Hauptabschnitt 2: Transport und Handhabung	
Teil 3-3: Klassen von Umwelteinflussgrößen und deren Grenzwerte; Hauptabschnitt 3: Ortsfester Einsatz, wettergeschützt	
Teil 3-4: Klassen von Umwelteinflussgrößen und deren Grenzwerte - Hauptabschnitt 4: Ortsfester Einsatz, nicht wettergeschützt	
Teil 3-5: Klassen von Umwelteinflussgrößen und deren Grenzwerte; Hauptabschnitt 5: Einsatz an und in Landfahrzeugen	
Teil 3-6: Klassen von Umwelteinflussgrößen und deren Grenzwerte; Hauptabschnitt 6: Einsatz auf Schiffen	
Teil 3-7: Klassen von Umwelteinflussgrößen und deren Grenzwerte - Hauptabschnitt 7: Ortsveränderlicher Einsatz	
Teil 3-9: Klassen von Umwelteinflussgrößen und deren Grenzwerte; Hauptabschnitt 9: Mikroklimata innerhalb von Erzeugnissen	

Tabelle B-3: DIN EN 60721 - Gliederung der Umwelteinflussgrößen

DIN EN 60721 - Gliederung der Umwelteinflussgrößen	
K	Klimatische Umweltbedingungen (z.B. niedrige / hohe Lufttemperatur, Sonnenstrahlung, Btauung, Niederschlag)
Z	Weitere klimatische Umweltbedingungen (z.B. Wärmestrahlung, Luftbewegung / Wind, Spritzwasser)
B	Biologische Umweltbedingungen (z. B. Schimmelbildung, Nagetiere / andere tierische Schädlinge)
C	Chemisch-aktive Stoffe (z. B. Meersalz, Schwefeldioxid, Ozon)
S	Mechanisch-aktive Stoffe (z. B. Sand, Staub)
M	Mechanische Umweltbedingungen (z.B. Schwingungen, Stöße, Schock)

Tabelle B-4: Teile der DIN V 40046-721

DIN V 40046-721: Leitfaden für die Korrelation und Umsetzung der Klassen von Umgebungsbedingungen nach IEC 60721-3 in Umgebungsverfahren nach IEC 60068 – Entwurf
Teil 1: Lagerung
Teil 2: Transport
Teil 3: Ortsfester Einsatz, wettergeschützt
Teil 4: Ortsfester Einsatz nicht wettergeschützt
Teil 5: Einsatz an und in Landfahrzeugen
Teil 6: Einsatz auf Schiffen
Teil 7: Ortsveränderlicher Einsatz

Tabelle B-5: IEC 60068 Umgebungseinflüsse - Teil 2

IEC 60068 Umgebungseinflüsse - Teil 2: Prüfverfahren	
Teil 2-1: Prüfverfahren - Prüfung A: Kälte	Teil 2-52: Prüfverfahren - Prüfung Kb: Salznebel, zyklisch (Natriumchloridlösung)
Teil 2-2: Prüfverfahren - Prüfung B: Trockene Wärme	Teil 2-53: Prüfverfahren - Prüfungen und Leitfaden - Kombinierte klimatische (Temperatur/Luftfeuchte) und dynamische (Schwingung/Schock) Prüfungen
Teil 2-5 Prüfverfahren - Prüfung S: Nachgebildete Sonnenbestrahlung in Bodennähe und Leitfaden zur Sonnenstrahlung und Bewitterung	Teil 2-55: Prüfverfahren - Prüfung Ee und Leitfaden: Prüfung loser Packstücke einschließlich Prellen
Teil 2-6: Prüfverfahren - Prüfung Fc: Schwingen (sinusförmig)	Teil 2-57: Prüfungen - Prüfung Ff: Schwingen - Zeitverlaufverfahren und Sinusimpulse
Teil 2-7: Prüfungen; Prüfung Ga und Leitfaden: Gleichförmiges Beschleunigen	Teil 2-58: Prüfungen - Prüfung Td: Prüfverfahren für Lötbarkeit, Widerstandsfähigkeit gegenüber Auflösen der Metallisierung und Lötwärmebeständigkeit bei oberflächenmontierbaren Bauelementen (SMD)
Teil 2-10: Prüfverfahren - Prüfung J und Leitfaden: Schimmelpilzwachstum	Teil 2-60: Prüfungen - Prüfung Ke: Korrosionsprüfung mit strömendem Mischgas
Teil 2-11: Prüfungen; Prüfung Ka: Salznebel	Teil 2-61: Prüfverfahren; Prüfung Z/ABDM: Reihenfolge von klimatischen Prüfungen
Teil 2-13: Prüfungen; Prüfgruppe M: Niedriger Luftdruck	Teil 2-64: Prüfverfahren - Prüfung Fh: Schwingen, Breitbandrauschen (digital geregelt) und Leitfaden
Teil 2-14: Prüfverfahren - Prüfung N: Temperaturwechsel	Teil 2-65: Prüfverfahren - Prüfung Fg: Schwingen - Akustisch angeregt
Teil 2-17: Prüfungen - Prüfung Q: Dichtheit	Teil 2-66: Prüfverfahren - Prüfung Cx: Feuchte Wärme, konstant (ungesättigter Druckdampf)
Teil 2-18: Prüfverfahren - Prüfung R und Leitfaden: Wasser	Teil 2-67: Prüfungen; Prüfung Cy: Feuchte Wärme, konstant, beschleunigte Prüfung, vorzugsweise für Bauelemente
Teil 2-20: Prüfungen - Prüfung T: Prüfverfahren für die Lötbarkeit und Lötwärmebeständigkeit von Bauelementen mit herausgeführten Anschlüssen	Teil 2-68: Prüfungen; Prüfung L: Staub und Sand
Teil 2-21: Prüfungen - Prüfung U: Widerstandsfähigkeit der Anschlüsse und integrierter Befestigungsmittel	Teil 2-69: Prüfungen - Prüfung Te/Tc: Prüfung der Lötbarkeit von Bauelementen der Elektronik und Leiterplatten mit der Benetzungswaage (Kraftmessung)
Teil 2-27: Prüfverfahren - Prüfung Ea und Leitfaden: Schocken	Teil 2-70: Prüfungen - Prüfung Xb: Prüfung der Beständigkeit von Kennzeichnungen und Aufschriften gegen Abrieb, verursacht durch Wischen mit Fingern und Händen
Teil 2-30: Prüfverfahren - Prüfung Db: Feuchte Wärme, zyklisch (12 + 12 Stunden)	Teil 2-74: Prüfungen; Prüfung Xc: Verunreinigung durch Flüssigkeiten
Teil 2-31: Prüfverfahren - Prüfung Ec: Schocks durch raue Handhabung, vornehmlich für Geräte	Teil 2-75: Prüfungen - Prüfung Eh: Hammerprüfungen
Teil 2-38: Prüfverfahren - Prüfung Z/AD: Zusammengesetzte Prüfung, Temperatur/Feuchte, zyklisch	Teil 2-77: Prüfungen - Prüfung 77: Körperfestigkeit und Schlagprüfung
Teil 2-39: Prüfverfahren - Prüfungen und Leitfaden: Kombinierte Prüfung der Temperatur oder Temperatur und Luftfeuchte mit niedrigem Luftdruck	Teil 2-78: Prüfverfahren - Prüfung Cab: Feuchte Wärme, konstant
Teil 2-40: Prüfungen; Prüfung Z/AM: Kombinierte Prüfung; Kälte/Niedriger Luftdruck	Teil 2-80: Prüfverfahren - Prüfung Fi: Mixed-Mode Vibrationsprüfung
Teil 2-41: Prüfungen; Prüfung Z/BM: Kombinierte Prüfung; Trockene Wärme/Niedriger Luftdruck	Teil 2-81: Prüfungen - Prüfung Ei: Schocken - Synthese des Schockantwortspektrums
Teil 2-42: Prüfungen - Prüfung Kc: Schwefeldioxid für Kontakte und Verbindungen	Teil 2-82: Prüfungen - Prüfung XW1: Whisker-Prüfverfahren für elektronische und elektrische Bauelemente
Teil 2-43: Prüfungen - Prüfung Kd: Hydrogensulfid für Kontakte und Verbindungen	Teil 2-83: Prüfungen - Prüfung Tf: Prüfung der Lötbarkeit von Bauelementen der Elektronik für Oberflächenmontage (SMD) mit der Benetzungswaage unter Verwendung von Lotpaste
Teil 2-45: Prüfungen; Prüfung XA und Leitfaden: Tauchen in flüssige Reinigungsmittel	Teil 2-84: Prüfverfahren - Betauung: rasche Wechsel
Teil 2-47: Prüfverfahren - Befestigung von Prüflingen für Schwing-, Stoß- und ähnliche dynamische Prüfungen	Teil 2-85: Prüfverfahren - Prüfung Fj: Schwingen, Nachbildung von Langzeitsignalen
Teil 2-48: Prüfungen; Leitfaden zur Anwendung der Prüfungen nach IEC 60068 zur Nachbildung der Auswirkungen von Lagerung	

Tabelle B-6: Normenreihe DIN V 40046

Reihe DIN V 40046
DIN V 40046-36: Umgebungseinflüsse - Teil 36: Prüfverfahren - Prüfung Kx: Schwefeldioxid, niedrige Konzentration für Kontakte und Verbindungen
DIN V 40046-37: Umgebungseinflüsse - Teil 37: Prüfverfahren - Prüfung Ky: Schwefelwasserstoff, niedrige Konzentration, für Kontakte und Verbindungen
DIN V 40046-48: Elektrotechnik; Grundlegende Umweltprüfverfahren; Prüfgruppe L: Staub und Sand; Prüfung Lc: Einwirkung von Staub bei horizontaler Strömungsrichtung

Tabelle B-7: Auswahl Prüfnormen EMV (insbesondere Reihe EN 61000-4)

Prüfnormen EMV (Auswahl)	
DIN EN 50293	Straßenverkehrs-Signalanlagen – Elektromagnetische Verträglichkeit
DIN EN 55011	Industrielle, wissenschaftliche und medizinische Geräte - Funkstörungen - Grenzwerte und Messverfahren
EN 55022	Störaussendung: Einrichtungen der Informationstechnik – Grenzwerte und Messverfahren
EN 55024	Störfestigkeit: Einrichtungen der Informationstechnik – Grenzwerte und Messverfahren
EN 61000-4-2	Störfestigkeit gegen die Entladung statischer Elektrizität (ESD)
EN 61000-4-3	Störfestigkeit gegen hochfrequente elektromagnetische Felder
EN 61000-4-4	Störfestigkeit gegen schnelle transiente elektrische Störgrößen (Burst)
EN 61000-4-5	Störfestigkeit gegen Stoßspannungen (Surge)
EN 61000-4-6	Störfestigkeit gegen leitungsgeführte Störgrößen, induziert durch hochfrequente Felder
EN 61000-4-8	Störfestigkeit gegen Magnetfelder mit energietechn. Frequenz
EN 61000-4-11	Störfestigkeit gegen Spannungseinbrüche, Kurzzeitunterbrechungen und Spannungsschwankungen
EN 61000-4-20	Störfestigkeit gegen hochfrequente elektrom. Felder (TEM)
EN 61000-4-21	Prüf- und Messverfahren - Verfahren für die Prüfung in der Modenverwirbelungskammer

Anlage C:

**Ergänzungen zu:
Grundlegende Anforderungen an die
Gesamtanlage**

Tabelle C-1: Normenreihe DIN EN IEC 61508

Normenreihe DIN EN IEC 61508 Funktionale Sicherheit	
DIN EN IEC 61508-1	Funktionale Sicherheit sicherheitsbezogener elektrischer/elektronischer/programmierbarer elektronischer Systeme - Teil 1: Allgemeine Anforderungen
DIN EN IEC 61508-2	Funktionale Sicherheit sicherheitsbezogener elektrischer/elektronischer/programmierbarer elektronischer Systeme - Teil 2: Anforderungen an sicherheitsbezogene elektrische/elektronische/programmierbare elektronische Systeme
DIN EN IEC 61508-3	Funktionale Sicherheit sicherheitsbezogener elektrischer/elektronischer/programmierbarer elektronischer Systeme - Teil 3: Anforderungen an Software
DIN EN IEC 61508-4	Funktionale Sicherheit sicherheitsbezogener elektrischer/elektronischer/programmierbarer elektronischer Systeme - Teil 4: Begriffe und Abkürzungen
DIN EN IEC 61508-5	Funktionale Sicherheit sicherheitsbezogener elektrischer/elektronischer/programmierbarer elektronischer Systeme - Teil 5: Beispiele zur Ermittlung der Stufe der Sicherheitsintegrität
DIN EN IEC 61508-6	Funktionale Sicherheit sicherheitsbezogener elektrischer/elektronischer/programmierbarer elektronischer Systeme - Teil 6: Anwendungsrichtlinie für IEC 61508-2 und IEC 61508-3
DIN EN IEC 61508-7	Funktionale Sicherheit sicherheitsbezogener elektrischer/elektronischer/programmierbarer elektronischer Systeme - Teil 7: Überblick über Verfahren und Maßnahmen

Tabelle C-2: Normenreihe DIN EN IEC 62443 „IT-Sicherheit für industrielle Automatisierungssysteme“

Normenreihe DIN EN IEC 62443 IT-Sicherheit für industrielle Automatisierungssysteme	
Teil 1-1	Terminology, concepts and models
Teil 2-1:	Establishing an industrial automation and control system security program
Teil 2-3:	Patch management in the IACS environment
Teil 2-4:	Security program requirements for IACS service providers
Teil 3:	Security for industrial process measurement and control - Network and system security
Teil 3-1:	Security technologies for industrial automation and control systems
Teil 3-3:	System security requirements and security levels
Teil 4-1:	Secure product development lifecycle requirements
Teil 4-2:	Technical security requirements for IACS components

Anlage D:

**Ergänzungen zu:
Musterentwurfsprozess zur Produkt-/Anlagenentwicklung**

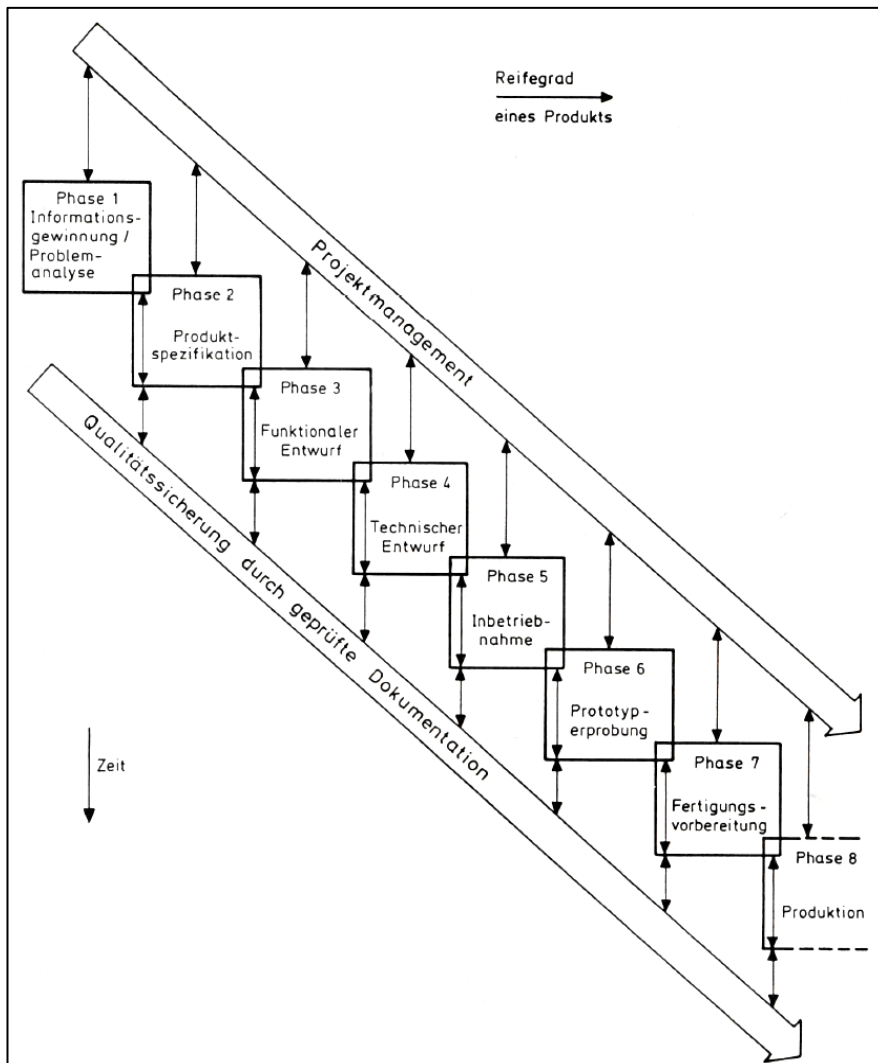


Bild D-1: Entwicklungsbegleitendes Produktmanagement sowie fortlaufende Produkt-/Anlagenentwicklungsdokumentation (verallgemeinerte Darstellung) [6]

Tabelle D-1: Anwendbarkeit üblicher Spezifikationsmittel in den Entwurfs-Hauptphasen (nach [6])

	Hauptphasen des Produktentwurfs	Spezifikationsmittel													
		Morphologischer Kasten	Syntaxdiagramm	Listen, Arbeitsblätter	Baumdiagramm	SADT-Diagramm	HIPO-Diagramm	Entscheidungstabelle	Strichdiagramm	Zustandsdiagramm	Funktionsplan	Programmablaufplan	Struktogramm	Semantische Logik	Petri-Netz
zeitlicher Ablauf ↓	Informations-gewinnung / Problemanalyse	■		■	■	■	■		■						
	Produktspezifikation		■	■	■	■	■	■	■						■
	Funktionaler Entwurf		■		■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■
	Technischer Entwurf				■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	
	Inbetriebnahme		■	■	■		■	■	■	■				■	■
	Prototyperprobung			■				■						■	■

Tabelle D-2: Vergleich zu Darstellung von Funktionsabläufen [6]

Kriterium	5 Bewertungsstufen		Flußdiagramm	Baumdiagramm	Struktogramm	Semantische Logik	Zustandsdiagramm	Entscheidungstabelle	Funktionsplan
	++	+ + - -							
Konstruktive Merkmale									
Anzahl Symbole	niedrig	hoch	+	++	+	+	++	-	--
Elementverbindung	einfach	komplex	++	+	-	+	++	-	--
Schrittnumerierung	leicht	schwierig	+ -	++	+	-	-	++	++
Platz für Zustandsbeschriftung	viel	wenig	-	-	-	-	+ ¹⁾	+	++
Funktionsbeschriftung			-	-	+	+	- ¹⁾	+	++
Variablenbeschriftung			-	+	+	+	- ¹⁾	++	++
Blockbenennungen			+ -	++	+	+	-	+	++
Erläuterungen			+ -	-	-	+	- ¹⁾	-	-
Darstellungsdichte (Funktionen/Blatt)	hoch	gering	+ -	-	-	+	++	++	--
Entwurfsgeschwindigkeit	schnell	langsam	+ -	+	+ -	+ -	++	-	+ -
logische Korrekturen	leicht	schwierig	+ -	++	-	+ -	++	-	-
Lesbarkeit									
Aussage auf den 1. Blick	hoch	niedrig	-	++	+ -	- -	++	- -	++
Modulabgrenzung	sichtbar	verborgen	-	++	+	+	-	+ -	-
Produktstruktur	sichtbar	verborgen	- -	++	+	+	+	+	+
Ablaufverfolgung	einfach	schwierig	-	+	+ -	-	++	-	+
Einbindung in Entwurfsprozeß									
Spezialisierungsgrad auf bestimmte Anwendung	gering	hoch	+ -	+	+ -	-	++	+	- -
Verfeinerungstechnik	einfach	schwierig	+ -	++	+ -	-	+	-	+
Detaildarstellung	einfach	schwierig	+	- -	+	+	+	+ -	++
Eignung bei gegebener Produktstruktur									
hierarchisch	hoch	gering	+ -	++	++	+	+	-	-
einfache Ablauffolge			++	+ -	+	+	++	-	++
stark vermascht			+ -	- -	- -	- -	+	++	-
mit parallelen Prozessen			+ -	- -	- -	- -	-	- -	+ -
Einsatz in den Produkt-Entwicklungsphasen									
Informationsgewinnung/ Problemanalyse	fördernd	schwierig	- -	+ -	- -	- -	++	-	+
Produkt-Spezifikation			-	++	-	-	++	+	+
Funktionaler Entwurf			+ -	++	+	+	++	++	++
Technischer Entwurf									
Umsetzung in strukturiertes Programm			-	++	++	+	-	-	-
Umsetzung in allgemeines Programm			+	+ -	+ -	+	+	+ -	-
Umsetzung in Hardware			+ -	-	-	-	+	+	++
Inbetriebnahme			-	+	+ -	+ -	+	+ -	++

¹⁾ bei Einsatz von Zusatztabelle Bewertung +

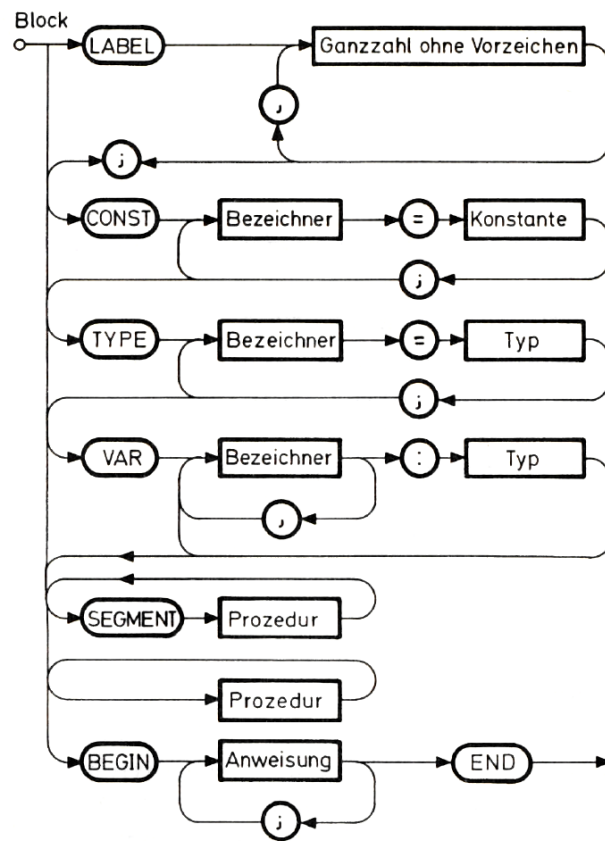


Bild D-2: Syntaxdiagramm - Beispiel Programmiersprache - Aufbau eines Blocks (PASCAL) [6]

Bereich	Projekt	Gliederung der Entwicklungsdokumentation (Auszug)			G	FH-Köln	
	Aufzug				Blatt 1		
A	Bearb. PH	Kontr.	Status 2	Datum 5.5.XX	Version 1		
B	A. <u>Allgemeine Angaben, Übersichten, generelle Anforderungen, Informationen</u>						
C	A1	Technische Anforderungen an die Anlagensteuerung (Begriffe, Entwicklungsziele)					
	A2	Übersicht Steuerungskonzept (Blockschaltbilder)					
	A3	Konzept: Intelligente Fahrlogistik					
	A4	Konzept: Dezentrale Anlagenkommunikation					
	A5	Vorversuch Steuerungskommunikation auf seriellem Bus					
D	*						
	*						
	A8	Konzept: Funktionstests (Eigendiagnose), Fehlersuche					
E	A10	Produktionsvorgaben					
	A11	Entwicklungsvorgaben					
	A12	Zeit-, Kosten- und Personaleinsatz-Rahmen					
	*						
F	A15	Begriffslexikon (Auszug)					
	A16	Syntaxlexikon der Dokumentation (Auszug)					
G	S. <u>Systembildung, Anlagen-Spezifikation</u>						
	F1 <u>Schnittstellen zur Anlagenumgebung</u> (ausgelöste Aktivitäten)						
	S1-1	Benutzer <-> Haltestellen-Bedienfeld					
	S1-2	Benutzer <-> Fahrkorb-Bedienfeld					
	S1-3	Wartpersonal <-> Warten-Bedienplatz					
H	S1-4	Servicepersonal <-> Diagnosegeräte					
	S2 <u>Vorgegebene Schnittstellen in der Anlage</u> (ausgelöste Aktivitäten)						
	S2-1	Informationsteil <-> Fahrteil in der Triebwerkssteuerung					
	S2-2	Korbsteuerung <-> Türantrieb im Fahrkorb					
I	S2-3	Korbsteuerung <-> Positionierungsleser im Fahrkorb					
	*						
K	*						
	S2-13	Versorgungsspannungen					
L							
	T	U	V	W	X	Y	Z

Bild D-3: Gliederung einer Produkt-/Anlagen-Entwicklungsdokumentation (Beispiel Aufzugssteuerung, Auszug, nach [6])

Bereich	Projekt	Gliederung der Entwicklungsdokumentation (Auszug)			6	FH-Köln	
	Aufzug				Blatt 2		
A	Bearb. PU	Kontr.	Status 2	Datum J.S. XX	Version 1		
B	S3 Spezifikation der restlichen Anlagen-Schnittstellen						
	S3-1	Zusammenstellung der Kommunikationselemente auf Anlagenbus					
	S3-2	Übertragungsprotokoll der Datagramme auf seriellem Bus					
	S3-3	Funktionsablauf des Kommunikationsmoduls "Datenübertragung abwickeln"					
	S3-4	Aufbau (Syntax) der Datagramme					
C	S3-5	Adress- und Prioritätenvergabe					
	*						
	*						
	S3-8	Zusammenstellung der Kommunikationselemente zwischen Triebwerks- und Korbsteuerung					
D	S3-9	Zeitrahen bei der Übertragung von Korb-Positionsmeldungen					
	*						
	*						
	S4 Funktionsspezifikation der einzelnen Anlagensteuerungen						
	*						
	*						
E	S9 Zusammenstellung aller Anlagenparameter (Übersicht)						
	*						
	*						
F	H. Entwurf Haltestellensteuerung						
	H1	Bisher definierte Funktionalität (Zusammenfassung von S1-1; S3; S4)					
	H2	SADT-Entwurf Haltestellensteuerung					
	H3	Funktionsabläufe und Datenstrukturen					
	H4	Ausführungsspezifikation					
	H5	Schaltungsentwurf					
G	H6	Softwareentwurf					
	*						
	*						
	H11	Inbetriebnahme und Steuerungstest					
H	K. Entwurf Korbsteuerung						
	*						
	*						
I	T. Entwurf Triebwerkssteuerung (Informationsteil)						
	*						
	*						
K							
L							
	T	U	V	W	X	Y	Z

Bild D-3: Gliederung einer Produkt-/Anlagen-Entwicklungsdokumentation (Fortsetzung Beispiel Aufzugssteuerung, Auszug nach [6])

Bereich	Projekt	Technische Anforderungen an die Anlagensteuerung Fahrtabwicklung, Fahrkomfort, Kundenwünsche				A1	FH-Köln
	Aufzug					Blatt 3	
Bearb.	PH	Kontr.	Status 4	Datum 4.5.XX	Version 2		
B	Anforderung		Quantisierung				
C	1. Fahrbetrieb: - schnell - sanfte Beschleunigung		- fahstreckenabhängige Geschwindigkeit - Einfahren in die Haltestelle mit offener Türe - geregelte Anfahr- und Bremsbeschleunigung - Türschwellen-Ausregelung (auf 2mm)				
D	2. zügige Auftragsabwicklung: - schnell - energiesparend		- Zweiknopf-Gruppensammelsteuerung - Berücksichtigung der Korblast bei der Bedienung von Außenrufen - intelligente Fahrlogistik - Verkürzung der Haltezeiten durch schnelleres Öffnen und Schließen der Türen um Faktor 2, aber Verlängerung mit Tür-Auf-Taster - wenn sich Fahrkorb aufnahmebereit an der Haltestelle befindet: bei sich wiederholendem Außenruf von dieser Haltestelle aus wird die Fahrkorbtüre max. 1x wiedergeöffnet - Verkürzen der Türzeiten beim Ansprechen von Schließkraftfühler und Lichtschranken um Faktor 2 bis 3				
E	- Anregung:						
F	3. spezielle Auftragsabwicklung: - Sonderfahrten		- Vorrechtsbedienung mit Schlüsselschalter - Feuerwehr- und Evakuierungsfahrten unter Berücksichtigung der Notstromversorgung				
G	4. verkehrsabhängige Fahrprogrammierung nach Kundenwunsch: - freie Wahl der Verkehrszeiten		- programmierbar in Stunden, Minuten; nach Wochentagen oder Kalender - frei wählbare Parkhaltestellenverteilung - dynamisches Abschalten einzelner Aufzüge in verkehrssarmen Zeiten - bei Fahrlogistik: Wahl zwischen schnellster Außenrufbedienung und minimalem Energieaufwand - Betrieb unter lfd. Kontrolle der Warte bzw. Betrieb ohne Warte (aber Notruf an eine Warte, die ggf. über eine automatisch aufgebaute Telefonverbindung erreicht wird)				
H							
I	5. Anpassung an Kundenbedürfnisse: - hohe Flexibilität		- freie Namensgebung der Haltestellen (Großen Beschriftungsplatz vorsehen!) - freie Auswahl unter verschiedenen Bedienfeld-Ausführungen, insbesondere Zustandsanzeigen wie Haltestellenstand - akustische Sprachausgabe von Haltestellenansagen (frei wählbare Texte) - statistische Fahrwegerfassung (Vorgaben für Fahrprogrammierung)				
K	Optionen:						
L							
	T	U	U	W	X	Y	Z

Bild D-4: Beispiel für die Zusammenstellung technischer Anforderungen (Beispiel Aufzugssteuerung, Auszug [6])

Bereich	Projekt	Technische Anforderungen an die Anlagensteuerung Fahrtabwicklung, Fahrkomfort, Kundenwünsche				PA	PH-Köln
	Aufzug					Blatt 4	
R	Bearb. PH	Kontr.	Status 4	Datum 4.5. XX	Version 2		
B	Anforderung		Quantisierung				
C	6. Konfigurierung an Auftrag:		<ul style="list-style-type: none"> - Kartenzusammenstellung entsprechend Aufzugsarchitektur und vereinbarter Leistung - Anzahl Schächte $2 \leq K \leq 8$ - Anzahl Haltestellen $2 \leq N \leq 100$ (25/Aufzug) - Anpassung an die diversen Aufzugstypen nur in Triebwerkssteuerung - einheitliche Kommunikation zwischen allen Anlagensteuerungen unabhängig vom Steuerungsumfang - Einbau in genormte Baugruppenrahmen - Standard-Verdrahtung, möglichst Bus oder Zweidrahtleitung 				
D	- nur Modulauswahl						
E	- volle Modularität, um einzelne Funktionen nachrüsten, verändern oder stückweise erneuern und/oder optimieren zu können						
F	7. Montage, Inbetriebnahme:		<ul style="list-style-type: none"> - Erstellung eindeutiger Vorschriften (Kochrezepte) - Eingabe der bauabhängigen Größen vor Ort durch Parametrierung (z.B. Stockwerkszahl) oder Lernprozesse während Montagefahrt (z.B. Haltestellenabstände) - Aktivierung von Optionen durch einfaches Zuschalten - Automatisches Generieren (Initialisieren) der Anlagensteuerungen nach Einschalten der Betriebsspannungen oder nach Zu- oder Abschalten beliebiger Baugruppen während des lfd. Betriebs 				
G	- minimale Installationszeiten						
H	- durch vorhandenes Personal (Nichtelektroniker)						
I	8. Wartung, Entstörung:		<ul style="list-style-type: none"> - volle Funktionsüberprüfung (Eigendiagnose) auf Kartenebene mit Freigabe-Anzeige bei allen intelligenten Baugruppen - ablaufgeführtes Wartungs- und Entstörungskonzept mittels Diagnosegerät (Analyse des Informationsflusses, Simulation von Datenströmen) - abgesetzte Anschaltung des Diagnosegerätes über Fernsprechleitung soll möglich sein - Reparatur durch Kartentausch - volle Einbindung der Anlagensteuerung in Sicherheitsservice, Kontrollservice und System-Vollwartung 				
K	- vorbeugendes Konzept						
L	- zielsichere Suchstrategie nach Fehler						
	- 24h-Service						
	9. Verfügbarkeit, Zuverlässigkeit, Sicherheit:		<ul style="list-style-type: none"> - Berücksichtigung aller relevanten Vorschriften (Aufz.V, LBO, TRA, TAB, EMEV, DIN- und FEM-Normung) - Ausfälle oder Abschalten eines beliebigen Steuerungsteils dürfen den Systemrest nicht in der verbleibenden Arbeitsfähigkeit behindern - Bei Ausfall der Gruppensteuerung muß eine Triebwerkssteuerung ihren Schacht auch bzgl. Außenruf weiterbedienen - elektr. vollkommen getrennte Notrufeinrichtung aus Fahrkorb, stromausfallsicher 				
T	U	U	W	X	Y	Z	

Bild D-4: Beispiel für die Zusammenstellung technischer Anforderungen (Fortsetzung Beispiel Aufzugssteuerung, Auszug [6])

Tabelle D-3: Vereinheitlichte Bezeichnungen der Entwurfsbeiträge im Rahmen der Produkt-/Anlagenentwicklungsdokumentation (Dokumentbereich-Kurzbezeichnungen) im Sinne eines Aktenplans.

		Funktionsgruppen								
		am Bauwerk (Instrumentierung)					in der Zentrale / beim Anwender			
Bezeichnung der Phasen nach ZTV-ING	Entwurfs-/Entwicklungs- bzw. Lebenszyklusphasen	Sensorik / Datenübertragung zum Bauwerksübergabepunkt	Messdatenvorverarbeitung	Bauwerksübergabepunkt / Datenübertragung Mobilfunk	Aktoren zur Bauwerkssteuerung	Gesamtanlage Teil: Bauwerk	Datenspeicherung und -historisierung	Schädigungs- und Prognosemodelle / Bewertung	Datenzugriff und -darstellung	Gesamtanlage Teil: Zentrale / Verwaltung / Anwender
Planungs und Entwurf	Informationsgewinnung / Problemanalyse (IG-PA) (→ technische Leitkonzeption)	IG-PA_SE/DÜ	IG-PA_MVV	IG-PA_BÜP	IG-PA_AK/ST	IG-PA_BAUW	IG-PA_DS/DH	IG-PA_SPM	IG-PA_DZ/DD	IG-PA_ZEN
	Anlagenspezifikation (AN-SP) (→ Lasten- und Pflichtenheft)	AN-SP_SE/DÜ	AN-SP_MVV	AN-SP_BÜP	AN-SP_AK/ST	AN-SP_BAUW	AN-SP_DS/DH	AN-SP_SPM	AN-SP_DZ/DD	AN-SP_ZEN
	Abnahme durch AG									
	Funktionaler Entwurf (FU-EN) (→ Systementwurf)	FU-EN_SE/DÜ	FU-EN_MVV	FU-EN_BÜP	FU-EN_AK/ST	FU-EN_BAUW	FU-EN_DS/DH	FU-EN_SPM	FU-EN_DZ/DD	FU-EN_ZEN
	ggf. Zwischenabnahme (durch Experten)									
	Technischer Entwurf/ Aufbau und Test der Funktionseinheiten (TE-EN) (→ getestete Komponenten/ Modulen und Sub-Systeme)	TE-EN_SE/DÜ	TE-EN_MVV	TE-EN_BÜP	TE-EN_AK/ST	TE-EN_BAUW	TE-EN_DS/DH	TE-EN_SPM	TE-EN_DZ/DD	TE-EN_ZEN
Ausführung	Inbetriebnahme / Erprobung (IN-EP) (→ betriebsfertige Anlage/ Produkt)	IN-EP_SE/DÜ	IN-EP_MVV	IN-EP_BÜP	IN-EP_AK/ST	IN-EP_BAUW	IN-EP_DS/DH	IN-EP_SPM	IN-EP_DZ/DD	IN-EP_ZEN
	Endabnahme (ABNA)									
Betrieb	Betrieb / Wartung (BETR) (→ Betriebsanweisung BE-AN, Wartungsanweisung WA-AN)	BETR_SE/DÜ	BETR_MVV	BETR_BÜP	BETR_AK/ST	BETR_BAUW	BETR_DS/DH	BETR_SPM	BETR_DZ/DD	BETR_ZEN
	Erhaltung / Aktualisierung / Erweiterung (ER-AK) (→ Regeln zur Erhaltung / Aktualisierung / Erweiterung ER-AN)	ER-AK_SE/DÜ	ER-AK_MVV	ER-AK_BÜP	ER-AK_AK/ST	ER-AK_BAUW	ER-AK_DS/DH	ER-AK_SPM	ER-AK_DZ/DD	ER-AK_ZEN
Abbruch	Rückbau / Recycling (RÜCK) (→ Regeln zum Rückbau / Recycling RÜ-RE)	RÜCK_SE/DÜ	RÜCK_MVV	RÜCK_BÜP	RÜCK_AK/ST	RÜCK_BAUW	RÜCK_DS/DH	RÜCK_SPM	RÜCK_DZ/DD	RÜCK_ZEN

Tabelle D-4: Zusammenstellung der Kurzbezeichnungen im Entwicklungs- und Entwurfsprozess

Entwurfs-/Entwicklungs- bzw. Lebenszyklus-Phasen		Kapitel
IG-PA AN-SP FU-EN TE-EN IN-EP BETR ER-AK RÜCK	Informationsgewinnung / Problemanalyse Anlagenspezifikation Funktionaler Entwurf Technischer Entwurf / Aufbau und Test der Funktionseinheiten, Inbetriebnahme / Erprobung Betrieb / Wartung Erhaltung / Aktualisierung / Erweiterung Rückbau / Recycling	2.3.2
IG-PA-KA IG-PA-IZ IG-PA-LP IG-PA-FS IG-PA-AS IG-PA-TL	<i>Teilphasen zu „Informationsgewinnung / Problemanalyse“</i> Klären der Aufgabenstellung Erfassen des IST-Zustandes Aufstellen eines Leistungsprofils Festlegen des SOLL-Konzepts (Konzept-Entwurf) Analyse des SOLL-Konzepts (Konzept-Analyse) Festlegen der technischen Leitkonzeption	2.3.1.4
MH_IG-PA	methodische Hilfsmittel der Informationsgewinnung / Problemanalyse	2.3.1.4
Technischer Ausschreibungstext / Anforderungskategorien		
AUS	technischer Ausschreibungstext als freizugebene Vorspezifikation	2.3.2
SWE	Softwareentwicklung	2.2.1.1
SWT	Softwareetesting	2.2.1.2
HWE	Hardwareentwicklung und –integration	2.2.2.1
EEA	allgemeine technische Standards zum Errichten elektrotechnischer Anlagen	2.2.2.2
UMW	Umgebungs- und Umwelteinflüsse	2.2.2.3
STR	Eigenschaften der Stromversorgung	2.2.2.4
EMVK	Elektromagnetische Verträglichkeit der Komponenten	2.2.2.5
ZHW	Grundsätze zum Aufbau zuverlässiger Hardware	2.2.2.6
FSI	Funktionale Sicherheit	2.2.3.1
EMVG	Elektromagnetische Verträglichkeit der Gesamtanlage	2.2.3.2
EMUV	Elektromagnetische Umweltverträglichkeit	2.2.3.3
FAN	Funkanlagen und –module	2.2.3.4
DAÜ	Datenübertragung	2.2.3.5
ITSI	IT-Sicherheit	2.2.3.6
ERH	Erhaltung - Verfügbarkeit und Austausch defekter / veralteter Komponenten	2.2.3.7
GST	Verwendung gefährlicher Stoffe	2.2.3.8
ADO	Grundsätze der Anlagendokumentation	2.2.3.9
DBV	Merkblatt Brückenmonitoring	2.2.4.1
TLS	Technische Lieferbedingungen für Streckenstationen TLS 2012	2.2.4.2
STU	Leit-, Automatisierungstechnik und Überwachung in Straßentunneln	2.2.4.3
ESI	Echtzeit-Sicherheitsmanagement-System (ESIMAS) in Tunnelleitzentralen	2.2.4.4
CYS	Leitfaden zum Projekt Cyber-Safe	2.2.4.5
SOFT HARD GESA	standardisierte Mindestanforderungen der drei Bereiche Software, Hardware, Gesamtanlage	2.3.2
Perspektivisch zu erstellende Regelwerksdokumente		
PLAN SA-IT BAUT RI-ADO INST EIGN ABNA	allgemeine Planungsgrundlagen zu Planung und Entwurf Standardisierte Systemarchitektur der Informationstechnik (inkl. Datenübertragungsprozesse) Schnittstellendokument Richtlinie Anlagendokumentation Installation der Funktionsgruppen bzw. Betriebsmittel am Bauwerk Eignungsprüfung zwecks Integration in den Entwicklungsprozess Checkliste Abnahmekriterien	2.3.2

Tabelle D-4: Zusammenstellung der Kurzbezeichnungen im Entwicklungs- und Entwurfsprozess (Fortsetzung)

Weitere Entwurfsprodukte		Kapitel
BE-AN	Betriebsanweisung („Anwenderdokumentation“)	2.3.2
WA-AN	Wartungsanweisung (Hard- und Softwarewartung)	
ER AK	Regeln zur Erhaltung / Aktualisierung / Erweiterung	
RÜ-RE	Regeln zum Rückbau / Recycling	
Funktionsgruppen		
	<i>am Bauwerk:</i>	1.3.1 2.1.1
SE/DÜ	Sensorik mit Datenübertragung zum Bauwerksübergabepunkt	
MVV	Messdatenvorverarbeitung	
BÜP	Bauwerksübergabepunkt mit Datenübertragung (ggf. über Mobilfunk)	
AK/ST	ggf. Aktoren zur Bauwerkssteuerung und ihre Ansteuerung	
	<i>in der Zentrale / beim Anwender:</i>	
DS/DH	Datenspeicherung und -historisierung	
SPM	Schädigungs- und Prognosemodelle / Bewertung	
DZ/DD	Datenzugriff und -darstellung	

Bereich	Projekt						
					Blatt		
A	Bearb.	Kontr.	Status	Datum	Version		
B							
C							
D							
E							
F							
G							
H							
I							
K							
L							
						T	U

Bild D-5: Gestaltungsbeispiel Projektblatt (Vorlage) nach [6]

Anlage E:

Datenerfassung an Streckenstationen

Tabelle E-1: TLS 2012 - Datenerfassung

Datenerfassung an Streckenstationen	
Lufttemperatur LT	Zustand der Fahrbahnoberfläche FBZ
Fahrbahnoberflächentemperatur FBT	Niederschlagsart NS
Fahrbahnfeuchte	Wasserfilmdicke WFD
Restsalz RS	Taustoffkonzentration TSK
Niederschlagsintensität NI	Taustoffmenge je Quadratmeter TSQ
Luftdruck LD	Schneefilmdicke SFD
Relative Luftfeuchte RLF	Eisfilmdicke EFD
Windrichtung WR	Griffigkeit GR
Windgeschwindigkeit (Mittel)	Globalstrahlung GLS
Schneehöhe SH	Stickstoffmonoxid NO
Fahrbahnglätte	Stickstoffdioxid NO ₂
Sichtweite SW	Stickoxide NO _x
Helligkeit HK	Schadstoffe / PM ₁₀
Niederschlagsmenge	Schadstoffe / PM _{2.5}
Windgeschwindigkeit (Spitze) WGS	Schadstoffe / PM ₁
Gefriertemperatur GT	A-bewerteter Schalldruckpegel LA
Taupunkttemperatur TPT	Energieäquivalenter Dauerschallpegel LA,eq
Bodentemperatur in Tiefe 1 TT1 (5 cm)	Basispegel LA,95
Bodentemperatur in Tiefe 2 TT2 (0 ... 30 cm)	Mittlerer Spitzenpegel LA,1
Bodentemperatur in Tiefe 3 TT3 (30 cm)	

Anlage F:

Vorschläge zur Standardisierung der Beschreibung von Sensorik

Tabelle F-1: am Bauwerk erfasste Parameter - Vorschlag für Kurzbezeichnungen

Parameter	Kurzbezeichnung
<i>Material</i>	
Feuchte (Luft-/ Materialfeuchte)	FEU-LU / FEU-MA
Chlorid	CHLO
PH-Wert (CO ₂)	PHW
Korrosion	KORR
Temperatur	TEMP
<i>Mechanik</i>	
Dehnung / Spannung	DEHN
Rissentwicklung / Rissöffnung	RISS
Neigung	NEI
Verschiebung (Setzung)	VER
Beschleunigung (Schwingung)	BES
<i>Global</i>	
Verkehrslasten (direkt erfasst)	VKL

Standardisierte Bezeichnung und Angabe von Sensor-Daten

Angabe der Koordinaten des Sensors

< Messprinzip¹ > ,

< Lage² x, y, z (z. B. x, y relativ zu Georeferenzpunkt auf Kappe (dieser ggf. bauabschnittsweise)/ Ecke Überbau / z. B. relativ zu Fahrbahntafel-/Brückenkappenoberkante) > ,

< Bauwerksteil (B = Überbau, UN = Unterbau, LA = Lager, GR = Gründung, FÜ = Fahrbahnübergänge, FB = Fahrbahnbelag/Abdichtung, EW = Entwässerung, KA = Kappen, AU = Ausrüstung) > .

¹⁾ Kurzbezeichnung Messprinzip / Erfassungsprinzip nach Tabelle F-2

²⁾ ergänzend Farbmarkierung der Lage von Sensoren an Oberflächen des Bauteils vor Ort (mittels Fahrbahnmarkierung!)

Tabelle F-2: Vorschlag für standardisierte Kurzbezeichnung der Messprinzipien (auf Grundlage der Zusammenstellung von Tabelle 7, [50])

Parameter		Sensoren	Kurzbezeichnung Messprinzip
Verkehr	direkt bzw. lokal (WIM)	Plattensensoren	PLAT
		Streifensensoren	STRE
	indirekt bzw. global (B-WIM)	Dehnmessstreifen	DMS
		Wegaufnehmer	WEG
Temperatur		Thermoelement	THER
		Widerstandsthermometer	WID
		Schwingsaitenaufnehmer	SCHW
		Faseroptische Sensoren (FOS)	FOS
Feuchte	Luftfeuchte	Impedanzsensoren	IMP
		kapazitive Sensoren	KAP
	Materialfeuchte	Faseroptische Sensoren (FOS)	FOS
		Multiringelektrode	MULT
		<i>Indirekte Messmethoden</i>	
		kapazitive Verfahren	KAP
		Leitfähigkeitsverfahren	LEIT
		Luftausgleichsverfahren	AUS
Chlorid		Chloridsensoren (Silberdrähte)	SILB
pH – Wert (CO ₂)	Spektrophotometer, der Indikatorfarbstofffärbung erkennt und umrechnet		SPEK
	Modifikation von Mangandioxidelektrode		MANG
	an faseroptische Sensoren angebundene Spektrophometer bzw. Fluorometer		FOS
Rissentwicklung / Rissöffnung		(spezielle) Riss-DMS	RDMS
		Wegsensoren	WEG
		Schallemissionsanalyse	SEA
		Faseroptische Sensoren (FOS)	FOS
		Wegaufnehmer	WEG
Korrosion (-gefahr und –prozess)	Anodenleiter / Korrosionsuhr		ANO
	Bohrkernanode	Expansionsring-Anode	EXP
		Nagelsensoren	NAG
	Drahtkorrosionssensor		DRA
	Multiringelektrode		MULT
	Potentialfeldmessung		POT
	galvanostatische Pulsmessung		GAL

Tabelle F-2: Vorschlag für standardisierte Kurzbezeichnung der Messprinzipien (Fortsetzung, auf Grundlage der Zusammenstellung von Tabelle 7, [50])

Parameter	Sensoren	Kurzbezeichnung Messprinzip
Dehnung / Spannung	Dehnmessstreifen	DMS
	Schwingsaitenaufnehmer	SCHW
	Faseroptische Sensoren (Faser-Bragg-Gitter)	FOS
	magnetoelastische Spannungssensoren	MAG
	Photogrammetrie	PHO
Verformung / Verschiebung (Setzung)	Wegaufnehmer	WEG
	Laserwegsensoren	LWEG
	Schwingsaitenaufnehmer	SCHW
	Schlauchwaagensysteme	SCHL
	Faseroptische Sensoren	FOS
	Laser-Vibrometer	LVIB
	Tachymeter	TACH
Neigung	Servoklinometer	SERV
	MEMS-Sensoren	MEMS
	Schwingsaitenaufnehmer	SCHW
	Faseroptische Sensoren (SOFO-Sensoren)	FOS
Beschleunigung / Vibration (Schwingung)	Piezosensoren	PIEZ
	kapazitive Beschleunigungssensoren	KAP
	Servo-Beschleunigungssensoren	BSERV
	Laser-Doppler-Vibrometer	LDOP
	MEMS-Sensoren	MEMS
	Laserinterferometer	LINT

Standardisierte Bezeichnung und Angabe von Aktor-Daten (informativ - ggf. perspektivisch einsetzbar)
Z. B. zur Steuerung von Bauwerksparemtern / Funktionen, auch für Versuchsaufbauten.

Analog der ‚Standardisierten Bezeichnung und Angabe von Sensor-Daten‘ (vgl. S. 96), Kurzbezeichnungen jedoch nach Vorschlag in Tabelle F-3.

Tabelle F-3: Vorschlag für standardisierte Kurzbezeichnung der Aktorprinzipen (perspektivisch)

Aktoren^{*)}	Kurzbezeichnung Aktorprinzip
Elektromotorische Arbeitsweise	ELM
Hydraulische Arbeitsweise	HYD
Pneumatische Arbeitsweise	PNEU
weitere / hybrid	DIV

* Aktoren, Stellglieder bzw. Stellantriebe sind antriebstechnische Baueinheiten, die Steuersignale in mechanische Bewegungen bzw. in die Veränderung physikalischer Größen wie z. B. Kraft und Druck umsetzen. Dies erfolgt i. d. R. mit Hilfsenergie in elektromotorischer, hydraulischer bzw. pneumatischer Form.

Anlage G:

Perspektivisch zu erstellende Regelungs- dokumente

Tabelle G-1: Vorschlag für perspektivisch zu erstellende Regelwerksdokumente (mit Dokumenten-Kurzbezeichnungen)

Dokument	Inhalt / Anmerkungen	Kurzbezeichnung
allgemeine Planungsgrundlagen zu Planung und Entwurf ¹	<ul style="list-style-type: none"> - grundsätzliche funktionale Varianten / generelle Aspekte - Musterentwurfsprozess - vorrangig zu verwendende Spezifikationsmittel - Gliederungssystematik 	<i>PLAN</i>
Standardisierte Systemarchitektur der Informationstechnik (inkl. Datenübertragungsprozesse) ¹	<ul style="list-style-type: none"> - Rechner auf verschiedenen Hierarchieebenen - Kommunikationssystem - funktionale Sicherheit - z. B. analog TLS 2012 / RABT 	<i>SA-IT</i>
Schnittstellendokument ²	<ul style="list-style-type: none"> - Umsetzung bautechnischer Anforderungen in anlagentechnische Anforderungen - Vorspezifikation des Entwurfsprozesses - jeweils intern bzw. extern zu prüfen und freizugeben 	<i>BAUT</i>
Richtlinie Anlagendokumentation ²	einheitliche Bezeichnungssystematik von Betriebsmitteln, Baugruppen, Geräten usw., Gliederungssystematik	<i>RI-ADO</i>
Installation der Funktionsgruppen bzw. Betriebsmittel am Bauwerk ³	Standardvorgaben Einbaulage <ul style="list-style-type: none"> - Sensorik zur Erfassung verschiedener Parameter - Netzknoten - Bauwerksübergabepunkt - vandalismus-geschützte Kabelführung - analog Richtzeichnungen zur ZTV-ING 	<i>INST</i>
Eignungsprüfung zwecks Integration in den Entwicklungsprozess ³	standardisierte Vorgaben zu bereits entwickelten / am Markt vorhandenen Betriebsmitteln als Mindestanforderung, u. a. <ul style="list-style-type: none"> - Sensorik - Übertragungstechnik - Aktorik 	<i>EIGN</i>
Checkliste Abnahmekriterien ⁴	Hilfestellung zur Vervollständigung des anlagenspezifischen Abnahmedokuments (analog M-BÜ-ING)	<i>ABNA</i>

1) im Sinne RE-ING

2) im Sinne von Merkblatt

3) im Sinne ZTV-ING / Richtzeichnungen

4) im Sinne M-BÜ-ING