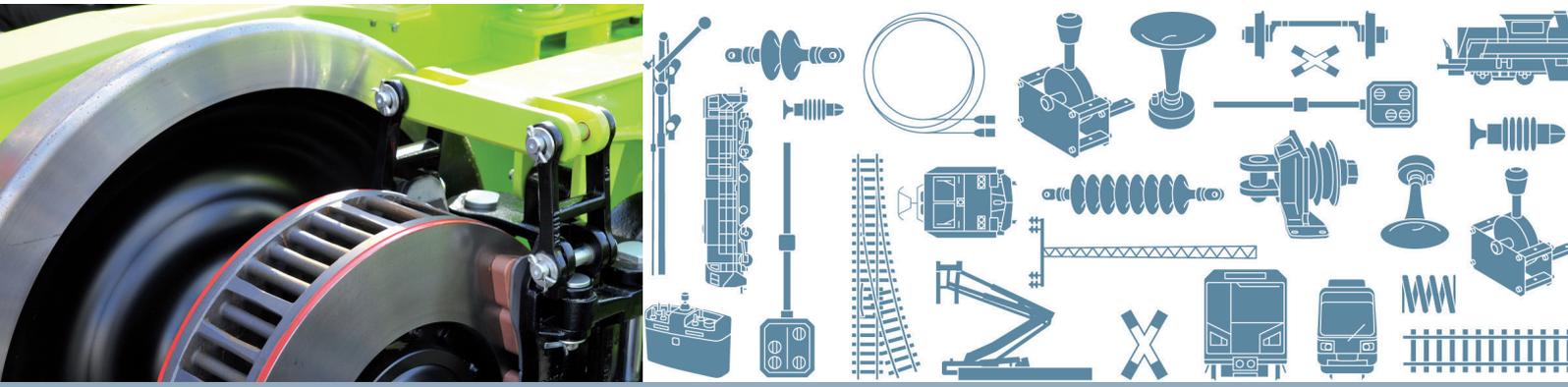


**DIE BAHNINDUSTRIE.**

VDB VERBAND DER BAHNINDUSTRIE IN DEUTSCHLAND E.V.



VERBAND DER BAHNINDUSTRIE IN DEUTSCHLAND (VDB) E.V.

VDB-Leitfaden

**Quality Engineering  
in der Entwicklung  
von Schienenfahrzeugen  
und ihren Systemen**



---

# Inhalt

|          |  |           |
|----------|--|-----------|
|          | <b>Präambel</b>  | <b>4</b>  |
| <b>1</b> | <b>Ziele des Leitfadens</b>  | <b>7</b>  |
| <b>2</b> | <b>QE-Vorgehensmodell</b>  | <b>9</b>  |
| <b>3</b> | <b>Elemente des Leitfadens</b>   | <b>12</b> |
| 3.1      | Produktentwicklungs-Prozess (PEP) für Schienenfahrzeuge                        | 12        |
| 3.2      | Reifegradmodelle ERG/IRG   | 17        |
| 3.3      | Phasenzuordnung der Soll-Ergebnisse und Reifegrade des Referenzprozesses (PEP) | 26        |
| 3.4      | Analyse von Systemen zur Herstellung der Vergleichbarkeit                      | 27        |
| 3.4.1    | Strukturierung von Anforderungen – funktional und nicht-funktional             | 28        |
| 3.4.2    | Aufbau und Art der Checklisten   | 29        |
| 3.4.2.1  | Nicht-funktionale Checkliste   | 30        |
| 3.4.2.2  | Funktionale Checkliste   | 32        |
| 3.5      | QE-Methoden zur Absicherung spezifischer Phasen-Ergebnisse                     | 34        |
| 3.6      | Festlegung von Maßnahmen zur Absicherung von Ergebnissen (QE-Maßnahmenplan)    | 34        |
| 3.7      | Darstellung des Status von Systemen auf Basis der Reifegrade                   | 38        |
| <b>4</b> | <b>Anwendung des QE-Vorgehensmodells in einem Projekt</b>                      | <b>39</b> |
|          | <b>Glossar</b>   | <b>50</b> |
|          | <b>Literaturverzeichnis</b>  | <b>54</b> |
|          | <b>Abbildungsverzeichnis</b>   | <b>55</b> |
|          | <b>Haftungsausschluss</b>  | <b>56</b> |

## Präambel



Fett gedruckte Begriffe werden im Glossar erklärt

Die Bahnindustrie und die Bahnbetreiber haben das gemeinsame Ziel, Schienenfahrzeuge in hoher Qualität und zu den vereinbarten Bedingungen in Betrieb zu nehmen. Dabei spielt ihre qualitätsgerechte **Entwicklung** eine Schlüsselrolle – denn steigende Anforderungen an die Leistungsfähigkeit der **Produkte** sowie immer anspruchsvoller werdende Gesetze und Zulassungsregeln (etwa im Umweltbereich oder im Rahmen der europäischen Harmonisierung) erfordern Anpassungen bei der Produktentwicklung von Schienenfahrzeugen.

In einem Memorandum of Understanding haben der Verband der Bahnindustrie in Deutschland (VDB) e.V. und die Deutsche Bahn AG (DB AG) darum eine Qualitätspartnerschaft für die Entwicklung von Schienenfahrzeugen beschlossen. Sie soll Wissen, Erfahrungen und Kompetenzen von Bahnindustrie und Betreibern bündeln. Der vorliegende Leitfaden stellt ein wichtiges Element in der Qualitätspartnerschaft dar.

Dieser Leitfaden beschreibt ein Vorgehensmodell unter Anwendung von Methoden des **Quality Engineerings** (QE-Vorgehensmodell). Dank dieses Modells können die am Herstellungsprozess Beteiligten Risiken bereits in frühen Entwicklungsphasen erkennen und dadurch vermeiden. Die beschriebenen Maßnahmen zur Qualitätssicherung stellen eine vertrauensvolle Zusammenarbeit der Akteure bei der Entwicklung von Schienenfahrzeugen und ihren untergeordneten **Systemen (Subsysteme)** in den Vordergrund.

Dieser Leitfaden ist durch die Mitgliedsunternehmen des VDB als „Branchenstandard“ anerkannt. Er wird künftig bei der Entwicklung bzw. dem Engineering von Schienenfahrzeugen und ihren Systemen berücksichtigt. Sein Anspruch: Das Engineering in den Unternehmen der Bahnindustrie durch den Einsatz von Methoden des Qualitätsmanagements weiterzuentwickeln, Risiken zu minimieren und die Transparenz in der Lieferkette zu verbessern. Anhand welcher Möglichkeiten das erreicht werden kann, zeigt der Leitfaden. Es liegt in der Verantwortung der Unternehmen, die sich daraus ergebenden Anforderungen an das Engineering in geeigneter Weise umzusetzen. Dabei soll aber mindestens der Standard des Leitfadens erreicht werden:

- Etablierung strukturierter Produktentwicklungsprozesse unter Berücksichtigung von Einsatzreife- und **Integrationsreifegraden**
- Bewertung des Systems anhand der systematischen Analyse **funktionaler und nicht-funktionaler Anforderungen** (Checklisten) sowie deren Überprüfung nach Änderungen
- Aufzeigen konkreter Maßnahmen zur qualitativen Absicherung des Entwicklungsprozesses bereits zu Beginn der Entwicklung anhand eines Qualitätsplans sowie deren konsequente Umsetzung und Nachweisführung
- Bewertung der **Reifegrade** anhand des QE-Vorgehensmodells zum Abschluss jeder Phase (sowie deren Kommunikation an den Auftraggeber)

Das QE-Vorgehensmodell soll in der gesamten Bahnindustrie eingeführt und über den kompletten Entstehungsprozess eines Produkts angewendet werden. Um Einflüsse auf den Wettbewerb zu vermeiden, gilt der Leitfaden zunächst erst nach der Angebotsphase. Es bietet sich jedoch an, das Vorgehensmodell auch bei der Erarbeitung des Angebots anzuwenden.

Die erhöhte Transparenz, die Identifikation der kritischen Elemente eines Systems und die daraus abzuleitenden Maßnahmen haben für das Angebot eine sehr hohe Bedeutung.

Die Anwendung der Methoden und Prozesse soll sich auf eine frühe Fehlerprävention konzentrieren. Die damit verbundene systematische Absicherung der Ergebnisse reduziert dabei den Aufwand und die Kosten nachträglicher korrektiver Maßnahmen. Vorübergehende initiale Mehraufwände können durch eine schrittweise Einführung kompensiert werden.

Die Bahnindustrie erwartet durch die Anwendung dieses Leitfadens zudem einen geringeren Aufwand durch ein optimiertes Monitoring von Entwicklungsprojekten. Quality-Gate-Reviews sollen verschlankt werden und die Ergebnisse des QE-Vorgehensmodells einfließen. Dabei sollen qualitativ und quantitativ gleichwertige Nachweise der Reifegrade anerkannt werden.

Dieser Leitfaden wurde von den maßgeblichen Marktteilnehmern gemeinsam entwickelt. Es ist geplant, seine Inhalte in die Weiterentwicklung des internationalen Bahnindustriestandards IRIS (International Railway Industry Standard) einzubringen. Der Leitfaden ist dabei nicht beschränkt auf Unternehmen mit Entwicklungstätigkeiten in Deutschland, sondern soll auch im internationalen Kontext angewandt und umgesetzt werden.

Zusätzlich unterstützt dieser Leitfaden, Anforderungen funktionaler zu gestalten und Detailbeschreibungen auf diejenigen Elemente zu beschränken, bei denen eine projektübergreifende Standardisierung nötig ist, z.B. bei der **Integration** in eine vorhandene Infrastruktur oder bei Standardlösungen.

Dank all dieser Aspekte können Hersteller wie Betreiber die angestrebten Ergebnisse erreichen und damit einen Beitrag für die partnerschaftliche Weiterentwicklung des Bahnsektors leisten.



# 1| Ziele des Leitfadens

## Zusammenarbeit und Kommunikation verstärken

Die noch engere Zusammenarbeit zwischen den Herstellern von Schienenfahrzeugen und ihren Lieferanten stellt einen Baustein für die Zukunftsfähigkeit der Bahnbranche dar. Voraussetzung dafür sind unter anderem ein gemeinsames Verständnis über die zu erfüllenden Anforderungen und den Weg zu einer qualitativen Absicherung von Ergebnissen und Terminen, eine intensive und offene Kommunikation über notwendige Maßnahmen sowie die Transparenz darüber zwischen allen Beteiligten innerhalb der gesamten Lieferkette.

Dieser Leitfaden will dazu einen Beitrag leisten. Mit seiner Hilfe lassen sich präventive Maßnahmen für die Absicherung von Entwicklungsprojekten in der Bahnindustrie ableiten, die den Entwicklungsstand des Gesamtsystems sowie der untergeordneten Subsysteme berücksichtigen. Dadurch sinken die Entwicklungsrisiken deutlich.

## Gemeinsames Verständnis zum Quality Engineering schaffen

Zusätzlich soll der Leitfaden ein gemeinsames Verständnis über das Quality Engineering und den Einsatz von Quality Engineering-Methoden (QE-Methoden) innerhalb der Lieferkette schaffen. Dazu beschreibt er, wie sich kritische Elemente systematisch und frühzeitig identifizieren lassen. Gleichzeitig bietet er Lösungsansätze für den wertorientierten und zielgerichteten Einsatz von präventiven QE-Maßnahmen in der Entwicklung von gesamten Schienenfahrzeugen sowie deren untergeordneten Systemen bzw. Komponenten. Der Leitfaden versetzt den jeweiligen Hersteller in die Lage, sich auf solche Maßnahmen zu konzentrieren, die als relevant und effektiv identifiziert wurden.

## Schienenfahrzeuge zu den vereinbarten Bedingungen in Betrieb nehmen

Dieser Leitfaden will dazu beitragen, das gemeinsame Ziel von Betreibern und Herstellern zu erreichen: Schienenfahrzeuge in hoher Qualität und zu den vereinbarten Bedingungen – etwa in Bezug auf technische Eigenschaften, Termine und Kosten – in Betrieb zu nehmen.

## Transparenz und Vergleichbarkeit herstellen

Die Anwendung des Leitfadens ermöglicht:

- die Vergleichbarkeit der Entwicklungsstände einzelner Systeme, aus denen ein Schienenfahrzeug aufgebaut ist, und
- eine realistische, vergleichbare Beschreibung und Bewertung der erforderlichen Qualitätssicherungsmaßnahmen und -aufwände, mit denen sich die Entwicklungsziele sicher erreichen lassen.

Diese Ziele werden durch das QE-Vorgehensmodell erreicht. Es legt – auf Basis von Reifegradmodellen – den Schwerpunkt darauf, die Entwicklungsstände von über- und untergeordneten Systemen eines Fahrzeugprojektes zu identifizieren. Durch den Vergleich mit einem Produktentwicklungs-Prozess (PEP) als Referenz und durch definierte Nachweise im gesamten Entwicklungsprozess ermöglicht es zudem, den Entwicklungsfortschritt zu verfolgen. Dieser Vergleich erfolgt auf Grundlage einer systematischen, normierten Analyse (Befundung) des übergeordneten Gesamtsystems und der untergeordneten Subsysteme des

Schienenfahrzeugs. Die Analyse berücksichtigt die **Funktions-** und die Bauteilsicht und ermöglicht die Identifikation derjenigen Elemente eines Systems mit dem geringsten Reifegrad. Anhand der **Abweichungen** von den Soll-Zuständen des PEP leitet sich der Bedarf an QE-Maßnahmen ab. Abhängig vom Grad und der Art der Abweichung sowie dem Zeitpunkt ihres Auftretens schlägt dieser Leitfaden QE-Methoden vor. Es ist dann Aufgabe des Herstellers bzw. Entwicklers, für jedes System einen QE-Maßnahmenplan festzulegen.

### **Innovation absichern**

Die Bahnindustrie setzt auf technischen Fortschritt bei Schienenfahrzeugen, um am Markt nachhaltig erfolgreich sein zu können. Hierbei können Reifegradmodelle für die Beschreibung des Zustands von Systemen genutzt werden, um Risiken aufzuzeigen und den Qualitätssicherungsbedarf bei Innovationen transparent darzustellen. Bei der Analyse ist ein System mit einem geringen Reifegrad in Kombination mit einem plausiblen Maßnahmenplan zur Absicherung der Ziele in einem definierten Zeitkorridor gleichwertig zu einem System, das bereits einen höheren Reifegrad aufweist.

### **Aufwand minimieren**

Zu Projektbeginn erfordert das QE-Vorgehensmodell einen initialen Aufwand, der in den späteren Phasen aber wieder kompensiert wird. Alle Analysen erfolgen auf Basis von einheitlichen Checklisten mit Fragen zu definierten Themengebieten – so werden relevante Themengebiete und deren Status systematisch erfasst. Mit zunehmender Anwendung des QE-Vorgehensmodells stellen sich Lernkurveneffekte ein, wodurch der anfängliche Aufwand sinkt. Dieser Leitfaden empfiehlt den Herstellern, die Prozesse des QE-Vorgehensmodells in die Prozesse der Unternehmen zu integrieren, um Doppelaufwände zu vermeiden, die bei der fehlenden Synchronisation der Inhalte ihrer Entwicklungs- und Qualitätsprozesse mit dem QE-Vorgehensmodell entstehen könnten. Dies gilt insbesondere vor dem Hintergrund, dass die funktionale Beschreibung von Systemen durch die Auftraggeber immer wichtiger wird. Dies müssen ebenso die Hersteller und die Zulieferer von Subsystemen in ihren Entwicklungsprozessen berücksichtigen. Auch die Analysen der Entwicklungsstände von Systemen bauen auf der Funktionssicht auf.

## 2| QE-Vorgehensmodell

Die Entwicklung von Schienenfahrzeugen erfolgt nach zwei grundsätzlichen Mustern (Abbildung 1):

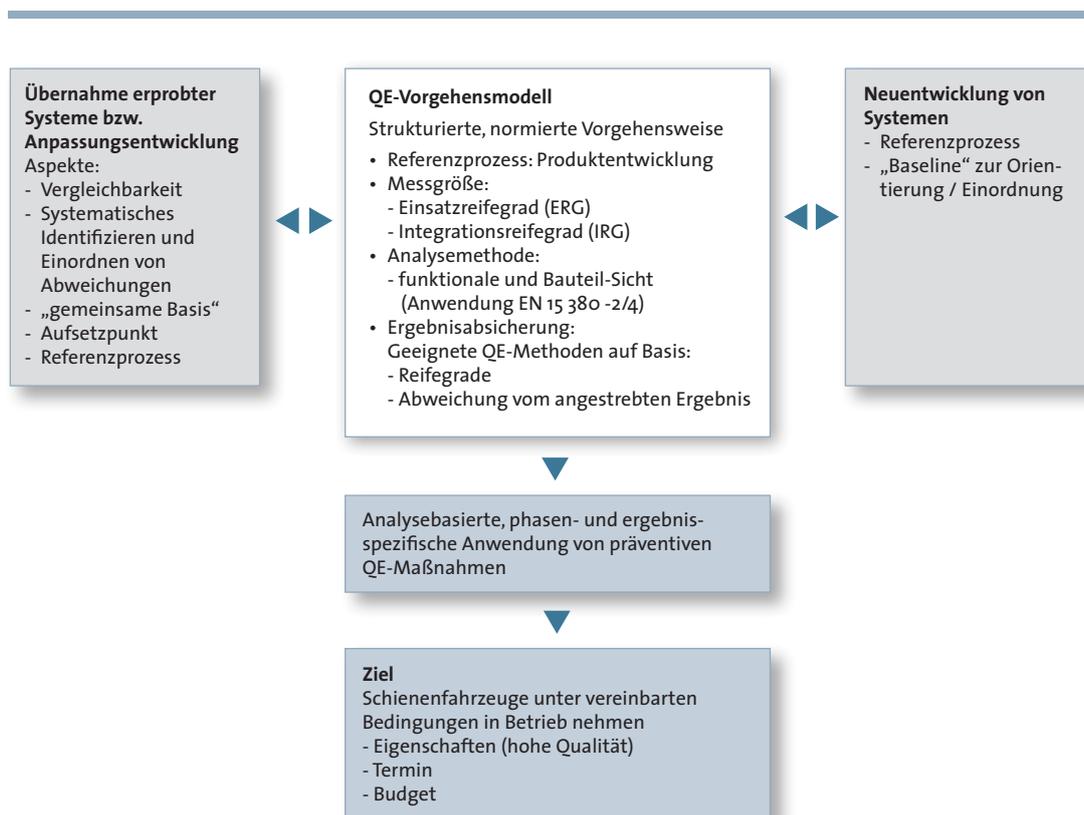
1. Übernahme von erprobten Systemen bzw. Anpassungsentwicklung: Die Hersteller bauen neue Schienenfahrzeuge evolutionär aus schon erprobten Systemen auf.

Bei dieser Vorgehensweise steht vor allem die Integration der untergeordneten Systeme in das neue, übergeordnete Gesamtsystem im Mittelpunkt. Ein weiterer Schwerpunkt ist die Analyse der **Randbedingungen** – beispielsweise veränderte Zulassungsvorschriften und Gesetze, andere Einsatzprofile oder veränderte Einbaubedingungen. Hinzu kommen veränderte Leistungsanforderungen an die Systeme.

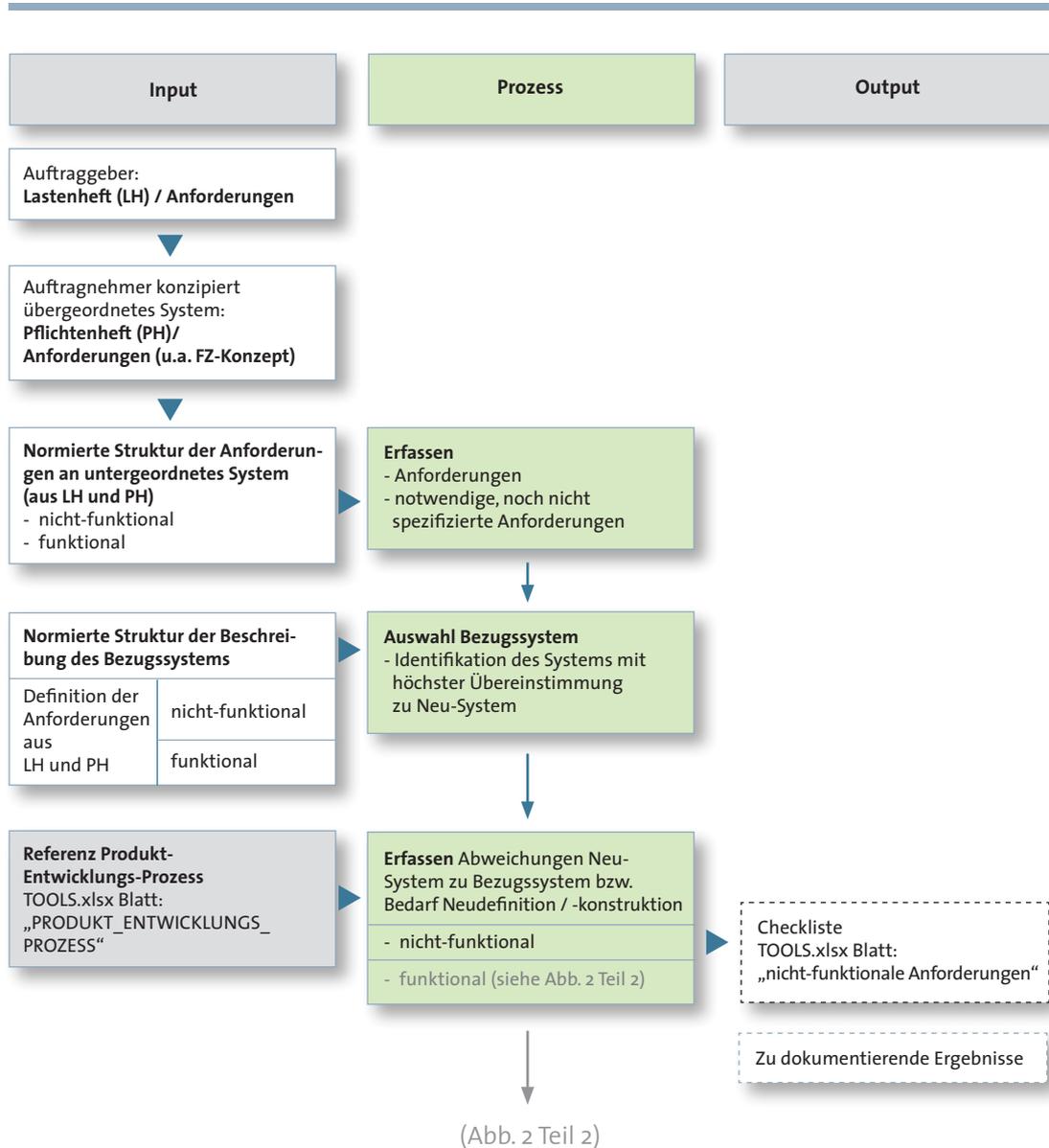
Die Entwickler müssen identifizieren, wie sich die Anforderungen des bereits bestehenden von denen des neuen Systems unterscheiden und daraus die notwendigen Maßnahmen ableiten. Diese Vorgehensweise wird bei den meisten Schienenfahrzeugprojekten angewandt.

2. Neuentwicklung von Systemen und Subsystemen: Ein hoher Innovationsgrad erfordert, Schienenfahrzeuge oder untergeordnete Systeme neu zu entwickeln.

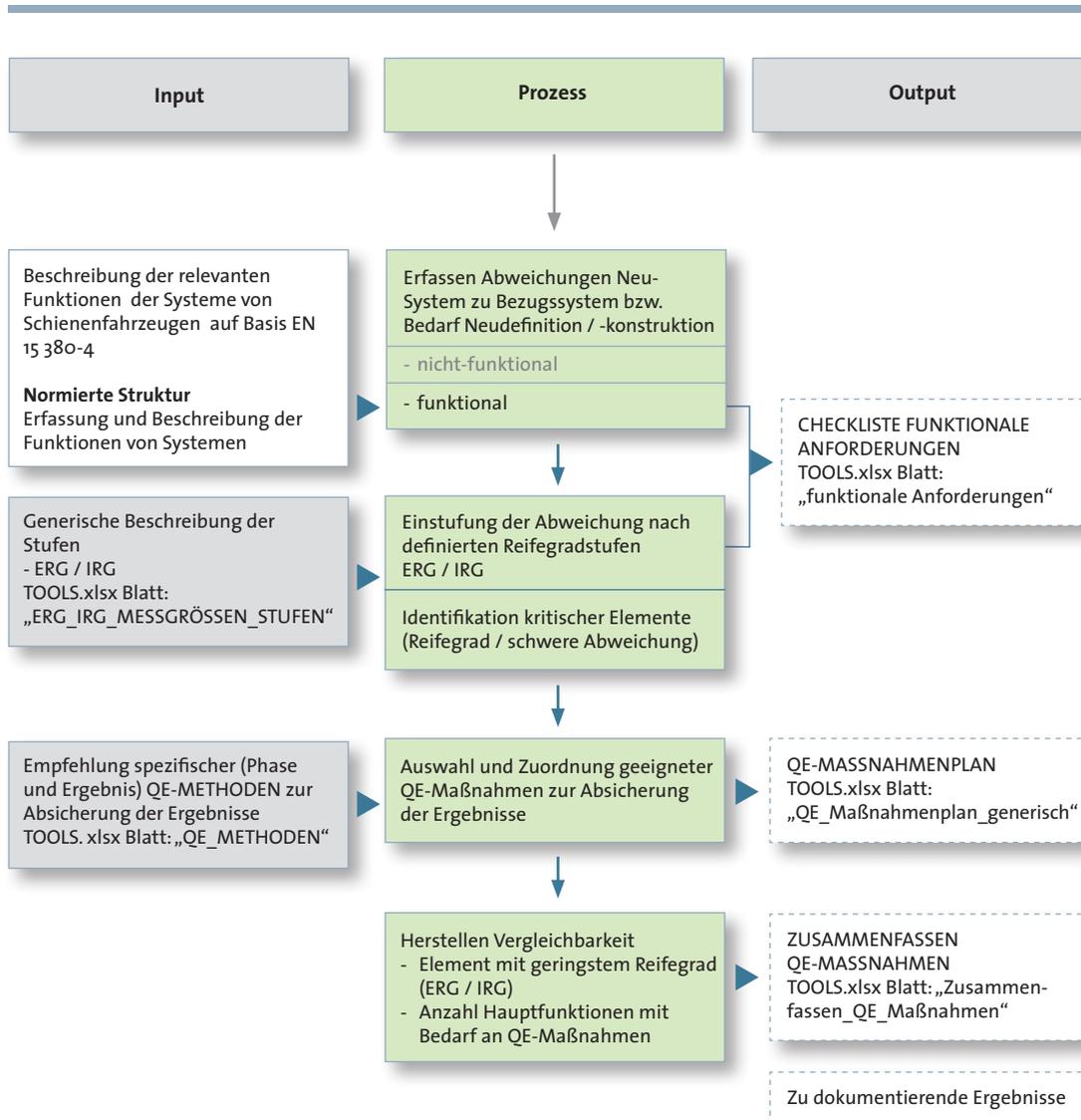
### QE-Vorgehensmodell (Abb. 1)



Prozessschritte des QE-Vorgehensmodells (Abb. 2 Teil 1)



Prozessschritte des QE-Vorgehensmodells (Abb. 2 Teil 2)



Bei dieser Vorgehensweise sind Maßnahmen zur Absicherung der notwendigen Ergebnisse in jeder Produktentstehungs-Phase von hoher Bedeutung.

Bei beiden Vorgehensweisen sollten die Entwickler ihre Ergebnisse durch Fortschrittskontrollen absichern. Orientierung gibt ihnen der generische Produktentwicklungs-Prozess (PEP), der den einzelnen Phasen konkrete Entwicklungsziele zuordnet. Eine phasen- und ergebnisspezifische Empfehlung präventiver QE-Methoden ist ein weiteres Element, um die Entwicklungsrisiken zu reduzieren.

Das QE-Vorgehensmodell basiert auf folgenden Elementen:

- Produktentwicklungs-Prozess (PEP) mit definierten Zielen der Phasen als Referenz-Prozess
- Messgrößen zur Bestimmung des Entwicklungsstandes: Einsatzreifegrad (ERG) und Integrationsreifegrad (IRG)
- Analysemethoden, um den Status von Systemen und ihre Abweichungen von Vergleichssystemen aus Funktions- und Bauteilsicht zu bewerten
- Ergebnisabsicherung durch die Empfehlung geeigneter QE-Methoden auf Basis der Reifegrade und der Abweichungen vom angestrebten Ergebnis

In der Abbildung 2 (Teil 1 und 2) werden die Prozessschritte des QE-Vorgehensmodells sowie die jeweiligen In- und Outputs beschrieben. Checklisten für die Inputs, der generische Produktentwicklungs-Prozess, die Stufen zur Bestimmung der Reifegrade und die Empfehlung von QE-Methoden zur Absicherung von phasenspezifischen Ergebnissen ermöglichen ein strukturiertes und vergleichbares Vorgehen. Als Output liefert das QE-Vorgehensmodell den Entwicklungsstand von Systemen. Einheitlich strukturierte Checklisten und Maßnahmenpläne machen den Status transparent und vergleichbar.

## 3| Elemente des Leitfadens

### 3.1 Der Produktentwicklungs-Prozess (PEP) für Schienenfahrzeuge

Dieser Leitfaden beschreibt die Vorgehensweise innerhalb des Produktentwicklungs-Prozesses (PEP) für Schienenfahrzeuge von der Phase „Angebot“ bis zur Phase „Betrieb / Gewährleistung“ (Abbildung 3). Die Entwicklungsmethodik ist funktionsbasiert: Ausgangspunkt für den Entwicklungsprozess sind die Funktionen, die ein System zu erfüllen hat. Aus ihnen leiten sich auch die erforderlichen Bauelemente ab.

Der PEP beschreibt deshalb die Ergebnisse jeder Entwicklungsphase aus Funktions- und Bauteilsicht. Die Soll-Ergebnisse für jede Phase und die einheitliche Struktur des PEP ermöglichen den Vergleich unterschiedlicher Systeme. Bei der Übertragung existierender Lösungen auf ein neues Projekt macht der PEP auf Basis von objektiv nachprüfbaren Ergebnissen die Einordnung eines Systems in eine Entwicklungsphase möglich.

### Generischer Referenzprozess Produktentwicklungs-Prozess (Abb. 3)



Der PEP des QE-Vorgehensmodells stellt einen generischen Prozess dar, für den konkrete Qualitätssicherungsmaßnahmen je Entwicklungsphase definiert werden. Des Weiteren wird festgelegt, welche Ergebnisse in jeder Phase erreicht werden müssen und wie der Nachweis darüber erfolgt. Der PEP ist also produktorientiert. Im Gegensatz hierzu sind die konkreten Entwicklungsprozesse der Hersteller häufig an den Arbeitsabläufen der Entwicklung orientiert. Es ist Aufgabe des Herstellers, die Anforderungen an Entwicklungsphasen auf den eigenen Entwicklungsprozess zu übertragen.

Der PEP ist in generische Phasen gegliedert, die mit der Angebotsphase beginnen und mit der Gewährleistungsphase enden. Der PEP beinhaltet dabei die Engineering-Phasen „Angebot / Klärung“, „Konzept“, „Intermediate Design“ und „Final Design“. Diese Phasen sind in Anlehnung an die Vorgehensweise gemäß VDI-Richtlinien 2206 (Entwicklungsmethodik mechatronischer Systeme) [VDI 2206] und 2221 (Methodik zum Entwickeln und Konstruieren technischer Systeme und Produkte) [VDI 2221] aufgebaut. Die weiteren Phasen orientieren sich am „Handbuch Eisenbahnfahrzeuge“ [BUN 2010] und der etablierten Praxis zur Inbetriebnahme von Schienenfahrzeugen.

Meilensteine beschreiben die Ergebnisse, die beim Abschluss einzelner Phasen vorliegen müssen. Auf diese Weise lässt sich feststellen, ob die jeweiligen Ziele erreicht wurden. Reifegradmodelle präzisieren diese Einordnung: Sie stellen den Status von Entwicklungsprojekten durch systematische, standardisierte Fragen zu festgelegten Kategorien in definierten Stufen nachvollziehbar und transparent dar. Die Reifegradmodelle sowie die Stufen werden in Kapitel 3.2 detailliert beschrieben.

Die Meilensteine dienen zudem als Grundlage für die Abstimmung und Synchronisation innerhalb der Lieferkette. Dazu müssen die Entwickler den **Referenzprozess** nicht exakt einhalten. Er dient hier vielmehr der Orientierung darüber, welche Ergebnisse in den einzelnen Phasen die Zielerreichung unterstützen. Es liegt in der Verantwortung der Entwickler der Systeme, diese Ergebnisse bei ihrer Arbeit zu berücksichtigen.

In Abbildung 4 sind die Phasen des PEP sowie die Kategorien der Ergebnisse dargestellt. Sie erlauben eine systematische, phasenspezifische Bewertung der phasenspezifischen Resultate. Zusätzlich sind die phasenspezifischen Ergebnisse des Projekt- und Qualitätsmanagements beschrieben. Sie legen beispielsweise die Inhalte und Zeitpunkte der Kommunikation in der Lieferkette oder das Erstellen von Quality Engineering-Maßnahmenplänen (QE-Plan) fest.

**Prinzipdarstellung des Produktentwicklungs-Prozesses (PEP) (Abb. 4)**

| Projekt Phasen                                  | Angebot / Klärung       | Konzept  | Intermediate Design   | Final Design   | Fertigung   |  |
|---|-------------------------|--|---|--|---|--|
| ERG-Stufen                                      | 3.1                     | 3.2  | 3.3   | 3.4  |   |  |
| IRG-Stufen                                      | I                       | II.I   | II.II   | II.III   |   |  |
| Produktentstehung                               | <b>Entstehungsphase</b> | Planen - Anforderungen<br>Informationen<br>- Zusamentragen<br>- Erkennen von Lücken  | Konzipieren<br>- Funktionsstrukturen<br>- prinzipielle Lösungen   | Entwerfen und Gestalten<br>modularer Strukturen<br>Erarbeiten von Lösungen /<br>Funktionsstrukturen  | Gesamtentwurf   |  |
|   | <b>Funktionssicht</b>   | Festlegen und Beschreiben<br>Hauptfunktionen   | Festlegen und Beschreiben<br>Gesamtfunktion und wesent-<br>liche Teilfunktionen<br>Festlegen wie Funktionen<br>erfüllt werden (Systementwurf)<br>durch Funktionsstrukturen<br>(inkl. Teilfunktionen) und<br>Wirkprinzipien bzw. Funktions-<br>architektur (Steuerung)   | Aufteilung Elemente Steuerung<br>(Verdrahtet / Software;<br>über- / untergeordnetes<br>System)   |   |  |
|   | <b>Bauteilsicht</b>     | Grobanordnung<br>Baustuktur / -raum<br>festgelegt (Black Box)  | Grobanordnung<br>Baustuktur / -raum<br>festgelegt (Black Box)   | Gestalten maßgeblicher<br>Module (Teilsysteme und Sys-<br>temelemente z.B. Baugruppen,<br>Einzelteile) einschließlich<br>Verknüpfung (Schnittstellen)<br>bzw. Programmierung der<br>Softwaremodule (Steuerung)   | Vorliegen aller wesentlichen<br>gestalterischen Festlegungen.<br>Abschluss Konstruktion und<br>Verknüpfung sämtlicher<br>Bauteile bzw. Softwaremodule<br>(Steuerung) des Systems                            |  |
| PM - übergeordnetes /<br>untergeordnetes System |                         | Vereinbaren Projektkommuni-<br>kation / Status / Bringe- /<br>Holeschuld / Format der<br>Kommunikation (z.B. VDB<br>Requirement Interchange<br>Format / RIF) mit dem<br>Ziel des Austauschs<br>möglichst vieler konkreter<br>Informationen<br><br>Terminplan mit Festlegung<br>der Abstimmungszeitpunkte<br>für Schnittstellen | Strategie zur Vorgehensweise<br>bezüglich Abstimmung mit Be-<br>treiber (Endkunde) und Unter-<br>stützung des Systemlieferanten<br>durch Sub-System-Lieferant;<br>Projektbezogener Informa-<br>tionsaustausch übergeordnetes<br>System - untergeordnetes<br>System z.B.<br>Änderungsmanagement<br>regelmäßige Abtimmung<br>nach jeder Phase;<br>Schrittweiser Ansatz für die<br>Synchronisation der gesamten<br>Lieferkette | Gesamte Lieferkette<br>synchronisiert.<br><br>Projektbezogener Informa-<br>tionsaustausch übergeordnetes /<br>untergeordnetes System<br>Aktives Leben des Änderungs-<br>managements (bilateral)<br>für alle abgestimmten Themen<br>- regelmäßige Abtimmung<br>nach jeder Phase<br><br>Laufende, protokollierte<br>Fortschrittsverfolgung | Projektbezogener Infor-<br>mationsaustausch System<br>- Subsystem<br>Aktives Leben des Änderungs-<br>managements (bilateral) für<br>alle abgestimmten Themen<br>- regelmäßige Abtimmung<br>nach jeder Phase |  |
|   | Q-Management<br>QE-Plan | QE-Plan der Systeme<br>auf Basis der Reifegrad-<br>analyse (ERG / IRG)<br><br>Plan für noch nicht<br>berücksichtigte Elemente  | Fortgeschriebener, aktualisierter analysebasierter QE-Plan - Bewertung der<br>Elemente am kritischen Pfad - Review nach jeder Phase<br><br>Maßnahmenplan für noch nicht berücksichtigte Elemente  |  |   |  |

Referenz Produktentwicklungs-Prozess: Festlegung der Soll-Ergebnisse pro Phase  
 - dient als Orientierung  
 - Abweichungen geben Hinweise auf Notwendigkeit einer weitergehenden Analyse

Separate Detaildarstellung unter [www.bahnindustrie.info](http://www.bahnindustrie.info)

| Fertigung   | Typstest vor Integration / Erstmusterprüfung (EMP)  | Inbetriebsetzung (IBS) statisch                                      | Inbetriebsetzung (IBS) dynamisch   | Erteilung Inbetriebnahmegenehmigung (IBG)               | Betrieb / Gewährleistung                                |
|---|---|--|--|---|---|
|   | 4   | 5  | 6 / 7  | 8   | 9   |
|   | III   | IV.I   | IV.II  | IV.III  | V   |
| Eigenschaftsabsicherung durch Verifizierung / Validierung   |   |  |  |   |   |
|   |   |  |  |   |   |
|   | Versuchsträger<br>seriennahes Produkt<br>Erstmuster | Erstmuster / Serienelement<br>in übergeordnetes System<br>integriert | Erstmuster / Serienelement<br>in übergeordnetes System<br>integriert<br>Anpassung / Programmierung<br>integrativer Teil (über- /<br>untergeordnetes System)<br>der Software (Steuerung)<br>bis zur dynamischen IBS | Serienelement in<br>übergeordnetes System<br>integriert | Serienelement in<br>übergeordnetes System<br>integriert |
| Projektbezogener Informationsaustausch System - Subsystem<br>Aktives Leben des Änderungsmanagements (bilateral) für alle abgestimmten Themen - regelmäßige Abstimmung nach jeder Phase    |   |  |  |   |   |
| Fortgeschriebener, aktualisierter analysebasierter QE-Plan - Bewertung der Elemente am kritischen Pfad - Review nach jeder Phase<br>Maßnahmenplan für noch nicht berücksichtigte Elemente |   |  |  |   |   |

Produktentstehung

PM - übergeordnetes / untergeordnetes System

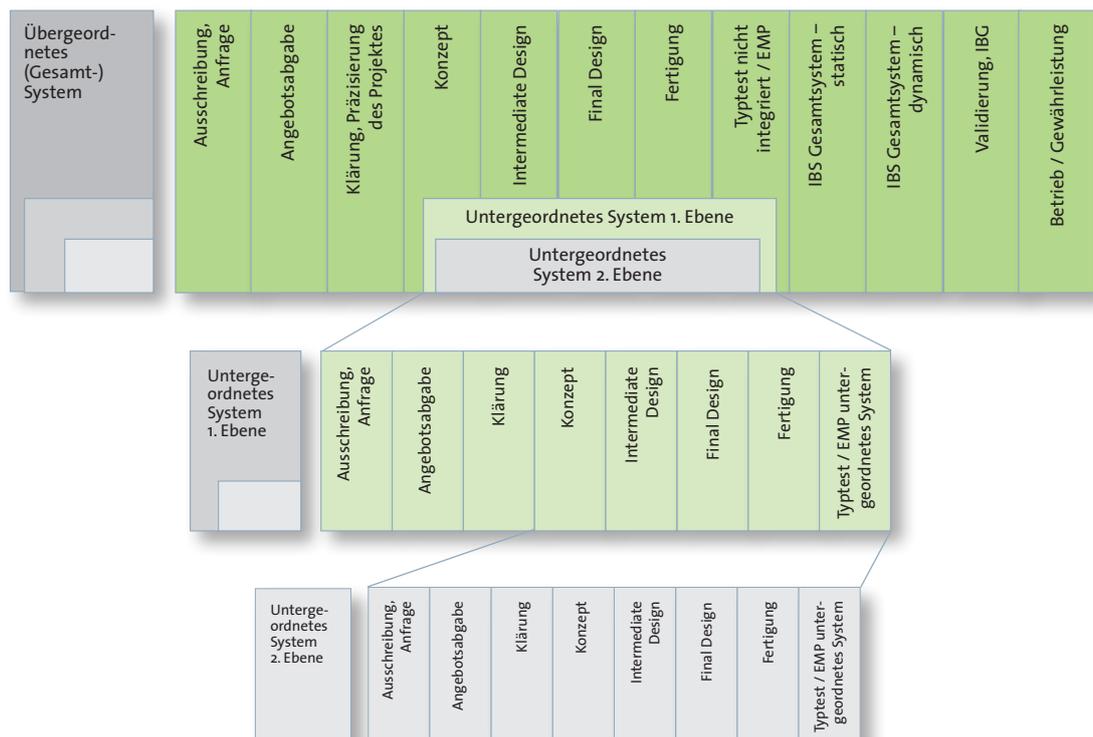
Q-Management  
QE-Plan

Die Integration der Lieferkette bei der Entwicklung von Schienenfahrzeugen ist ein wesentlicher Erfolgsfaktor – denn die Gesamtsysteme sind aus untergeordneten Systemen aufgebaut, und der Großteil von ihnen muss projektspezifisch angepasst bzw. entwickelt werden. Stand der Technik sind Baukasten- bzw. Plattformlösungen: Die Systeme werden dabei im Vorfeld für spezifizierte Anwendungsfälle entwickelt. Dabei müssen die Hersteller allerdings sicherstellen, dass die ursprünglichen Anforderungen an die Systeme auch den Anforderungen des neuen Systems entsprechen. Auch hier hilft das QE-Vorgehensmodell den Entwicklern, indem es eine systematische Analyse für die Identifikation von Abweichungen ermöglicht. Teilweise können die Anforderungen an die untergeordneten Systeme erst in der Konzeptphase des Gesamtsystems spezifiziert werden, da vor diesem Zeitpunkt nicht alle erforderlichen Informationen vorliegen. Darum können diese Systeme erst danach entwickelt werden. Dabei verkürzt sich i.d.R. die Entwicklungszeit für die untergeordneten Systeme. Dieses Risiko kann mit dem Verfahren des Simultaneous Engineering (auch Concurrent Engineering) minimiert werden. Um sie in das übergeordnete System einfügen zu können, müssen untergeordnete Systeme nach der Typtest- und Erstmusterprüfung spätestens zur statischen Inbetriebsetzung physisch in das Gesamtsystem integriert sein. Je nach Projekt muss die Integration jedoch schon deutlich früher im Montageprozess erfolgen. Das führt dazu, dass der Entwicklungsprozess der untergeordneten Systeme nach dem des Gesamtsystems startet, aber vor ihm endet. In diesem Fall muss die Entwicklungszeit für die Subsysteme kürzer sein als die für das Gesamtsystem. Die Kaskadierung zwischen den Partnern der Lieferkette zeigt Abbildung 5.

### Die Kaskadierung innerhalb der Lieferkette (Abb. 5)

Kaskadierung des PEP vom Gesamtsystem auf die Lieferkette: Übergeordnetes (Gesamt-) System-Hersteller > Untergeordnetes System-Hersteller > Unter-untergeordnetes- (Komponenten) System-Hersteller

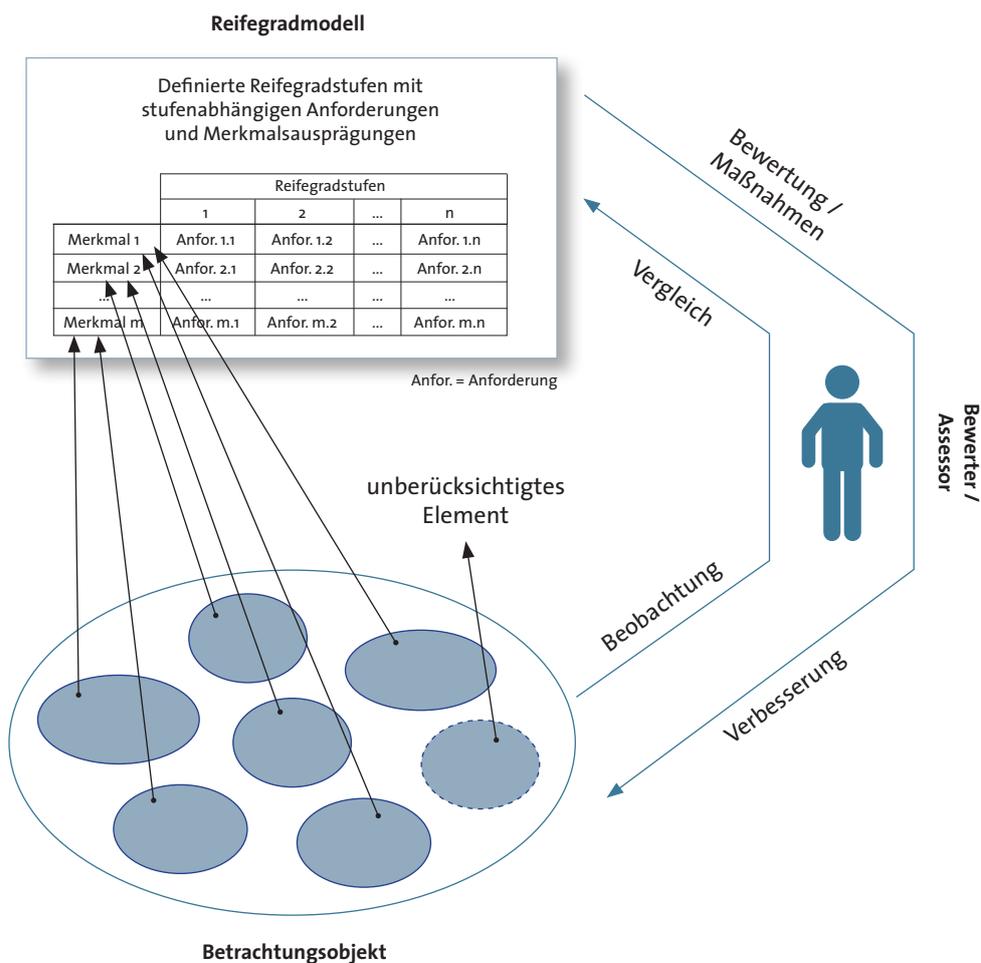
PEP des übergeordneten und der untergeordneten Systeme (Lieferkette) haben dieselbe Struktur  
PEP des untergeordneten Systems / Lieferkette erfolgt zeitlich versetzt und gestaucht



### 3.2 Die Reifegradmodelle für Einsatzreifegrade (ERG) und Integrationsreifegrade (IRG)

Reifegradmodelle ermöglichen es, den Entwicklungsstand komplexer Systeme nachvollziehbar zu ermitteln. Die Beurteilung des Reifegrades erfolgt dabei auf Basis spezifisch definierter Merkmale. Ihnen sind stufenweise unterschiedliche Anforderungen zugeordnet. Der Erfüllungsgrad dieser Anforderungstufen legt den Reifegrad des Systems fest. Reifegradmodelle machen somit den Fortschritt komplexer Systeme während der Produktentwicklung transparent. Neben den definierten Merkmalen spielen hier auch regelmäßige Bewertungen des Systems zu festgelegten Zeitpunkten – häufig zu jeder Phase – eine zentrale Rolle. Abbildung 6 zeigt das Prinzip von Reifegradmodellen.

Das Prinzip von Reifegradmodellen [AKK2013] (Abb. 6)



Ein Reifegrad gilt nur dann als erreicht, wenn nicht nur die dort, sondern auch die in der vorhergehenden Stufe beschriebenen Kriterien erreicht wurden – die Reifegrade bauen also aufeinander auf [AHL 2005]. Ist das nicht der Fall, wird der Reifegrad des Systems auf diejenige Stufe zurückgesetzt, die bereits erfüllt wurde. Ein System erreicht eine höhere Reifegradstufe nur dann, wenn es die höhere Stufe bei allen definierten Merkmalen erfüllt – der Reifegrad orientiert sich also am jeweils schwächsten Glied des Systems.

Auch in anderen Industrien wurden bereits Reifegradmodelle erfolgreich etabliert, z.B. in der Luft- und Raumfahrt, in welcher Technologiereifegrade Anwendung finden. Diese unterscheiden sich zwar nicht in der grundsätzlichen Logik, allerdings werden in diesem Leitfaden für Schienenfahrzeuge Einsatzreife und Integrationsreife getrennt betrachtet und anschließend kombiniert, da hier in der Regel etablierte Subsysteme mit Innovationen verbunden werden.

In Anlehnung an das Reifegradmodell der NASA besteht das Einsatzreifegradmodell für Schienenfahrzeuge ebenfalls aus neun Stufen, wobei die Engineering-Phase in vier Unterstufen ERG 3.1 – ERG 3.4 unterteilt ist. Mit ihnen lässt sich der Entwicklungsfortschritt in dieser – für den Projekterfolg entscheidenden – Prozessphase darstellen. Die zugrundegelegten Phasen leiten sich aus den generischen Entwicklungsphasen der VDI-Konstruktionsrichtlinien 2206 und 2221 ab [VDI 2206, VDI 2221].

Die Phasen der Eigenschaftsabsicherung orientieren sich am etablierten Verifizierungs- und Validierungsprozess von Schienenfahrzeugen.

Das Modell des Integrationsreifegrades (IRG) besteht aus fünf Stufen, auch hier wird die Phase des Engineerings weiter unterteilt. Die Stufen IRG II.I bis II.III berücksichtigen den schrittweisen Abstimmungsprozess der Schnittstellen zwischen über- und untergeordnetem System. Eine schrittweise Abstimmung ist hier meist unverzichtbar, da die kurzen Projektlaufzeiten üblicherweise eine simultane Entwicklung der Systeme erfordern. Die Eigenschaftsabsicherung ist ebenfalls in die Phasen IRG IV.I bis IV.III unterteilt, um den Fortschritt während der Inbetriebsetzung auch hier messbar zu machen.

Eine inhaltliche Kurzbeschreibung der Reifegradstufen ERG und IRG zeigt Abbildung 7.

## Kurzbeschreibung von Einsatz- und Integrationsreife (Abb. 7)

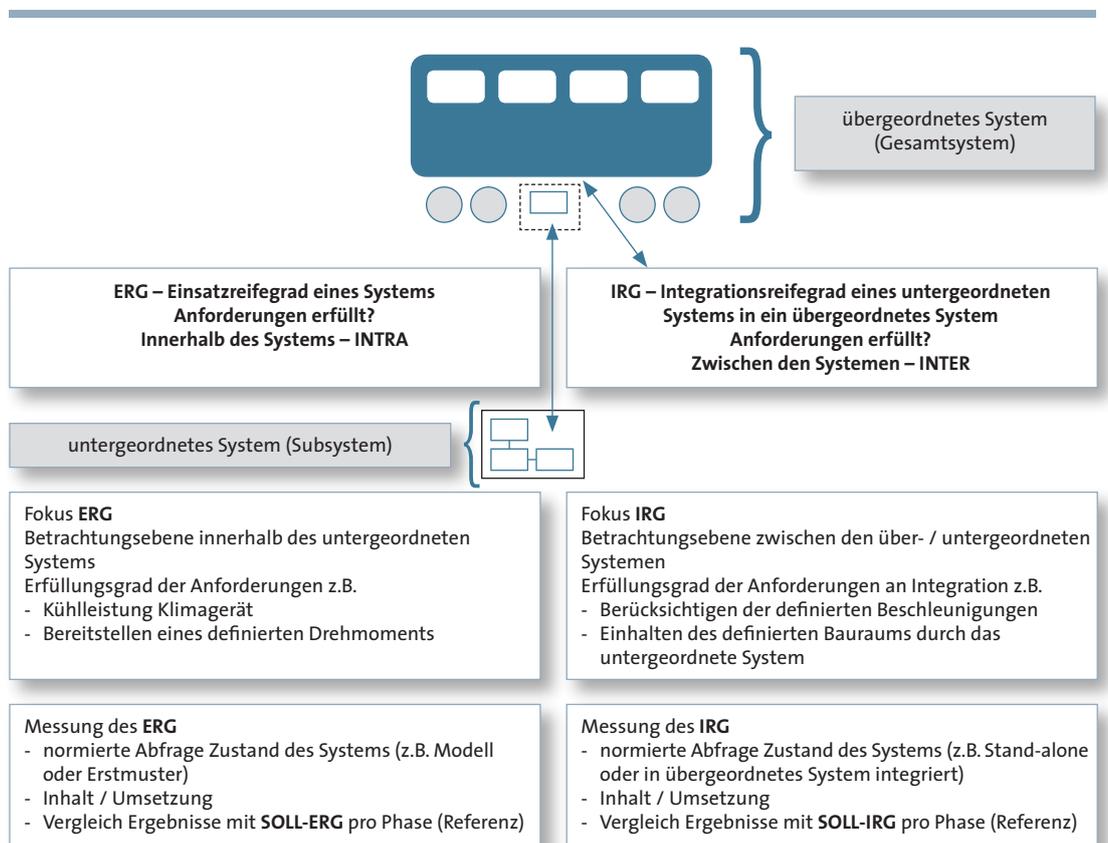
|                                       | Kurzbeschreibung IRG-Stufen   | Wesentliche Interaktion IRG – ERG  | Kurzbeschreibung ERG-Stufen   |
|---------------------------------------|---|--|---|
| Definition /<br>Klärung               | IRG I<br>Hauptfunktionen definiert und zwischen Systemen aufgeteilt (Modell)<br>Schnittstellen und Interaktion festgelegt (Modell)  | Übergeordnetes System definiert<br>untergeordnetem System<br>Randbedingungen und Funktionen<br>↑ | ERG 3.1<br>Anforderungen und Randbedingungen beschrieben<br>Hauptfunktionen definiert   |
|                                       | IRG II.I<br>Festlegen sämtlicher systemübergreifender Funktionen (inkl. Neben- und abgeleitete; funktionale Architektur), Funktionsstrukturen und Wirkprinzipien (Modell); Generierung vollständiger Information für untergeordnetes System (funktional, nicht-funktional) (Modell)       |  | ERG 3.2<br>Produkt (Modell) vollständig konzipiert<br>Zuordnung Funktion-Wirkprinzip-Bauelement   |
|                                       | IRG II.II<br>Detailfestlegung Schnittstellen für Elemente der spezifischen Phase (Modell); Festschreiben der Datenschnittstelle für Teilsysteme, welche durch komplexe Software gekennzeichnet sind und Rückkopplung auf Stromlaufplan des Zuges und / oder untereinander haben (Modell). |  | ERG 3.3<br>Bauelemente (Modell) einer Funktionsstruktur erfüllen<br>Anforderungen an diese Funktionsstruktur<br>Festlegen der Eigenschaftsabsicherung<br>(Verifizierungs- / Validierungsprinzip)  |
| Konstruktion                          | IRG II.III<br>Alle übergreifenden Funktionen werden erfüllt (Modell)<br>Detailfestlegung aller Schnittstellen (Modell)  |  | ERG 3.4<br>Konstruktion aller Bauelemente abgeschlossen (Modell)<br>Alle Bauelemente in System integriert (Modell)<br>Zusammenwirkende Bauelemente erfüllen Anforderungen (Modell)  |
|                                       | IRG III<br>Definierter Input von übergeordnetem System erfüllt / löst definierte Funktion an nicht integriertem untergeordnetem System aus;<br>Aus Sicht des untergeordneten Systems, Überprüfung, Anbindung an übergeordnete und andere Systeme  | untergeordnetes System erfüllt<br>Randbedingungen und Funktionen<br>↓                            | ERG 4<br>Nachweis des Erfüllens sämtlicher Anforderungen durch das nicht in das übergeordnete System integrierte Erstmuster (Versuchsaufbau bei vorgezogener Systemqualifizierung) soweit für Typtest und Erstmusterprüfung (EMP) definiert und prüfbar |
| Eigenschafts-<br>absicherung          | IRG IV.I<br>Definierte Interaktion erfüllt / löst definierte Funktion / Rückmeldung des in das übergeordnete System integrierten Erstmusters unter statischen Bedingungen aus   |  | ERG 5<br>Nachweis des Erfüllens sämtlicher Anforderungen durch das in das übergeordnete System integrierte Erstmuster unter statischen Bedingungen  |
|                                       | IRG IV.II<br>Definierte Interaktion erfüllt / löst definierte Funktion / Rückmeldung des in das übergeordnete System integrierten Erstmusters unter Test- oder Probebetrieb aus   | ↑<br>↓<br>Eigenschaftsabsicherung<br>durch Integration unter- /<br>übergeordnete Systeme         | ERG >= 6<br>Nachweis des Erfüllens sämtlicher Anforderungen durch das in das übergeordnete System integrierte Erstmuster unter simulierten Einsatzbedingungen (Testbetrieb)<br>ERG >= 7<br>... unter einsatznahen Bedingungen (Probebetrieb)            |
| Eigenschaftsabsicherung<br>Integriert | IRG IV.III<br>Definierte Interaktion erfüllt / löst definierte Funktion / Rückmeldung des in das übergeordnete System integrierten Serienprodukts unter Zulassungs- und Abnahmebedingungen aus  |  | ERG 8<br>Nachweis des Erfüllens sämtlicher Anforderungen durch das in das übergeordnete System integrierte Serienprodukt unter Zulassungs- und Abnahmebedingungen   |
|                                       | IRG V<br>Definierte Interaktion erfüllt / löst definierte Funktion / Rückmeldung des in das übergeordnete System integrierten Sereinprodukts unter Betriebsbedingungen aus  | ↑<br>↓   | ERG 9<br>Nachweis des Erfüllens sämtlicher Anforderungen durch das in das übergeordnete System integrierte Serienprodukt unter Betriebsbedingungen  |

Der ERG bewertet den Erfüllungsgrad der Funktionstüchtigkeit eines abgegrenzten Systems. Er legt den Fokus auf die Erfüllung der Anforderungen, die an das System gestellt sind: Er beschreibt, was dieses System leistet.

Der Integrationsreifegrad bewertet den Erfüllungsgrad der Funktionstüchtigkeit des Zusammenwirkens mehrerer Systeme. Er gibt den Status eines Systems gegenüber dem übergeordneten System an: Erfüllt es alle Anforderungen, um in ein übergeordnetes System integriert zu werden und in dieser Umgebung seine Anforderungen zu erfüllen?

Die Abgrenzung von Einsatz- und Integrationsreifegrad ist in Abbildung 8 dargestellt.

**Die Abgrenzung von Einsatz- und Integrationsreife (ERG / IRG) (Abb. 8)**



- Übergeordnetes System definiert Anforderungen der Integration (funktional / nicht-funktional)
- IRG-Reifegradmodell kann zwischen allen über- / untergeordneten Systemen in der Lieferkette angewendet werden
- Untergeordnetes System meldet Erfüllungsgrad IRG an übergeordnetes System
- Unabhängige Betrachtung ERG / IRG nur möglich bei identischen Anforderungen / Rahmenbedingungen (Plattformlösungen müssen für alle Anforderungen eines neuen Anwendungsprojektes validiert sein)
- Änderung der Randbedingungen ziehen i. d. R. Änderungen an Systemen nach sich => neue Analyse / Einstufung

Bei der Messung des Erfüllungsgrades müssen alle Anforderungen berücksichtigt werden – die nicht-funktionalen ebenso wie die funktionalen. Die Anforderungen der Integration werden im Wesentlichen durch das übergeordnete System definiert: Das untergeordnete System muss diese sowie die eigenen Anforderungen erfüllen und den Erfüllungsgrad an das übergeordnete System melden. Die Anforderungen, die sich aus der Integration ergeben, beeinflussen die Entwicklung eines untergeordneten Systems maßgeblich – seine Realisierung wird beispielsweise stark von dem zur Verfügung stehenden Bauraum oder den zu erfüllenden Vorschriften beeinflusst.

Die Anforderungen an die zu integrierenden untergeordneten Systeme müssen daher zu Beginn ihrer Entwicklung bekannt sein. Ist das nicht der Fall, wird in der Praxis häufig mit Annahmen gearbeitet. Falls diese nicht zutreffen, müssen zahlreiche Entscheidungen revidiert werden – was in der Regel mit Doppelaufwand und zusätzlichem Zeitbedarf verbunden ist. Innovationen bzw. Komponenten mit **Einsatzreifegraden 1** und **2** kommen im Allgemeinen nicht für die Realisierung konkreter Schienenfahrzeugprojekte in Frage, sondern werden davon unabhängig im Vorfeld entwickelt.

Für die Einordnung eines Systems in eine Reifegradstufe ist es notwendig, die Systeme entsprechend ihrer Merkmale (z.B. physischer Zustand des Produktes, Funktion, **Bauteil**) zu analysieren und Stufen der Erfüllung der Anforderungen festzulegen. Die Soll-Größen der Stufen der Merkmale sind in Abbildung 9 dargestellt. Die Stufen orientieren sich dabei am generischen Produktentwicklungs-Prozess. Darum sind die Phasen des PEP und der Reifegradstufen identisch. Eine besondere Bedeutung kommt der Funktionssicht zu: Obwohl die Entwicklungsprozesse von Systemen meist auf den funktionalen Anforderungen beruhen, steht die Bauteilsicht bei ihrer Analyse häufig im Vordergrund. Eine Vergleichbarkeit der Reifegrade ist jedoch nur unter Berücksichtigung sowohl der Funktions- als auch der Bauteilsicht möglich.

Die konkrete Einstufung in die unterschiedlichen Stufen von ERG und IRG erfolgt auf Basis der Erfüllung von Soll-Ergebnissen bzw. auf Basis der Nachweise darüber, welchen Prozessphasen sie zugeordnet sind (siehe Abbildung 9). Die Soll-Ergebnisse der Prozessphasen gliedern sich in die Kategorien des Zustands des Systems (z.B. Modell, Erstmuster), der Funktions- und Bauteilsicht. Zusätzlich sind Nachweise zur Erfüllung der Soll-Ergebnisse aufgeführt.

Abbildung 9 zeigt die Tabelle zur Bestimmung der Reifegradstufen.

Prinzipdarstellung zur Bestimmung der Reifegradstufen (Abb. 9) Teil 1

| Projekt Phasen                        | Angebot / Klärung   | Konzept  | Intermediate Design  | Final Design  | Fertigung |
|---------------------------------------|---|--|--|---|-----------|
| PEP-Entstehungsphase                  | Planen<br>- Anforderungen Informationen<br>- Zusamentragen<br>- Erkennen von Lücken   | Konzipieren<br>- Funktionsstrukturen<br>- prinzipielle Lösungen  | Entwerfen und Gestalten modularer Strukturen<br>Erarbeiten von Lösungen / Funktionsstrukturen  | Gesamtentwurf   |           |
| Physischer Zustand / Bedingungen Test | Modell<br>Simulation / Beschreibung   |  |  |   |           |
| Stufen des Einsatzreifegrads          | 3.1   | 3.2  | 3.3  | 3.4   |           |
| Funktionssicht                        | Vollständige Information zur Interaktion (physikalisch, verfahrenstechnisch, Information, etc.) mit anderen Systemen (Integration) d.h. z.B. welche Beschleunigungen müssen berücksichtigt werden<br>Lösungen für kritische Anforderungen Hauptfunktionen (d.h maßgebliche) festgelegt  | Funktionsstrukturen und Wirkprinzipien für alle funktionalen Anforderungen<br>Zuordnung Funktion / Wirkprinzip<br>Bauelement<br>Produkt vollständig konzipiert<br>- Systementwurf (domänenübergreifendes Lösungskonzept) | Festlegen der Eigenschaftsabsicherung (Validierungsprinzip)  |   |           |
| Bauteilsicht                          | Vollständige Information und Beschreibung der Merkmale des Systems<br>Gesetze, Vorschriften, Normen<br>Einsatzprofil, Fahrzeug-Konfiguration<br>spezielle Anforderungen Kunde<br>Schnittstellen (Stoff, Energie, Information) an die zu konstruierenden Bauelemente z.B. Baustruktur / -raum, Klima, Dynamik                                      |  | Bauelemente einer Funktionsstruktur erfüllen Anforderungen an diese Funktionsstruktur<br>Festlegen der Eigenschaftsabsicherung (Verifizierungs- / Validierungsprinzip) | Konstruktion aller Bauelemente abgeschlossen<br>Alle Bauelemente in System integriert<br>Zusammenwirkende Bauelemente erfüllen Anforderungen                    |           |
| Nachweise ERG                         | - Fahrzeug-Prinzipstruktur („Powerpoint-Design“)<br>- Clause by Clause Kommentierung der Anforderungen des Lastenheftes<br>- Benennung der relevanten Haupt- und Teilfunktionen in Anlehnung an EN 15380-4 zweite Ebene<br>- Beschreibung der Abweichungen gemäß Checklisten<br>„nicht-funktionale Anforderungen“ und „funktionale Anforderungen“ | - Pflichtenheft<br>- Gesamtanordnung (ausgearbeitete Fahrzeug-Struktur)<br>- Einbauräume<br>- Draft Gewichtsbilanz<br>- Vorlegen Schnittstellenbeschreibung  | 3-D Modell (Preliminary)   | - Übergabe sämtlicher Fertigungsunterlagen<br>- Freigabe Schaltpläne<br>- freigegebener Validierungsplan inkl. grober Festlegung der Nachweisführung (Typtests) |           |
| IRG Stufen des Integrationsreifegrads | I   | II,I   | II,II  | II,III  |           |

Hinweis: Der zweite Teil der Grafik befindet sich auf der nächsten Doppelseite.

Separate Detaildarstellung unter [www.bahnindustrie.info](http://www.bahnindustrie.info)

| Fertigung | Typtest vor Integration / Erstmusterprüfung (EMP)   | Inbetriebsetzung (IBS) statisch   | Inbetriebsetzung (IBS) dynamisch  | Erteilung Inbetriebnahmegenehmigung (IBG)  | Betrieb / Gewährleistung  |
|-----------|---|---|---|--|---|
|           | Eigenschaftsabsicherung durch Verifizierung und Validierung (Umfänge Stand-alone)   | Eigenschaftsabsicherung durch Verifizierung / Validierung   |   |  |   |
|           | Erstmuster (Versuchsaufbau im Fall vorgezogener Systemqualifizierung) nicht in übergeordnetes System integriert<br>Test - nicht in übergeordnetes System integriert (Stand-alone) | Erstmuster (Versuchsaufbau im Fall vorgezogener Systemqualifizierung) in übergeordnetes System integriert, Test des Systems, in stehendes (statisch) übergeordnetes System integriert | Erstmuster (seriennahes Produkt im Fall vorgezogener Systemqualifizierung) in übergeordnetes System integriert,<br><br>Test unter Testbetrieb- (ERG 6) oder Probetrieb- (ERG 7) Bedingungen | Serienprodukt in übergeordnetes System integriert,<br><br>Test unter Bedingungen des Zulassungs- oder Abnahme-Betriebs | Serienprodukt in übergeordnetes System integriert,<br><br>Einsatz unter Bedingungen des spezifizierten Betriebs |
|           | 4   | 5   | 6 / 7   | 8  | 9   |
|           | Nachweis Erfüllen sämtlicher funktionaler Anforderungen soweit für Typtest und Erstmusterprüfung (EMP) definiert und prüfbar  | Nachweis Erfüllen sämtlicher funktionaler Anforderungen (statisch)  | Nachweis Erfüllen sämtlicher funktionaler Anforderungen (dynamisch)   | Nachweis Erfüllen sämtlicher funktionaler Anforderungen (Zulassung / Abnahme)  | Nachweis Erfüllen sämtlicher funktionaler Anforderungen (Betriebsseinsatz)                                      |
|           | Nachweis Erfüllen sämtlicher Anforderungen an Bauelemente soweit für Typtest und Erstmusterprüfung (EMP) definiert und prüfbar  | Nachweis Erfüllen sämtlicher Anforderungen an Bauelemente (statisch)  | Nachweis Erfüllen sämtlicher Anforderungen an Bauelemente (dynamisch)   | Nachweis Erfüllen sämtlicher Anforderungen an Bauelemente (Zulassung / Abnahme)  | Nachweis Erfüllen sämtlicher Anforderungen an Bauelemente (Betriebsseinsatz)                                    |
|           | Nachweis Erfüllung Anforderungen an untergeordnetes System (EMP-Protokoll)<br><br>Typtestprotokolle (vor Integration)   | Typtestprotokolle (Integration-statisch)  | Typtestprotokolle (Integration-dynamisch)   | IBG Zulassungsbescheinigung Abnahmeprotokoll   | Innerhalb eines Jahreszyklus liegen keine Meldungen über notwendige, konstruktive Anpassungen vor               |
|           | III   | IV.I  | IV.II   | IV.III   | V   |

Prinzipdarstellung zur Bestimmung der Reifegradstufen (Abb. 9) Teil 2

| Projekt Phasen   | Angebot / Klärung   | Konzept  | Intermediate Design   | Final Design                                  | Fertigung |
|--|---|--|---|---|-----------|
| PEP-Entstehungsphase                                     | Planen<br>- Anforderungen Informationen<br>- Zusammentragen<br>- Erkennen von Lücken                              | Konzipieren<br>- Funktionsstrukturen<br>- prinzipielle Lösungen  | Entwerfen und Gestalten modularer Strukturen<br>Erarbeiten von Lösungen / Funktionsstrukturen   | Gesamtentwurf                                 |           |
| Physischer Zustand / Bedingungen Test                    | Modell<br>Simulation / Beschreibung   |  |   |   |           |
| ERG<br>Stufen des Einsatzreifegrads                      | 3.1   | 3.2  | 3.3   | 3.4   |           |
| IRG<br>Stufen des Integrationsreifegrads                 | I   | II,I   | II,II   | II,III  |           |
| Funktionssicht   | Systemübergreifende Funktionen definiert und Hauptfunktionen aufgeteilt (Welches System macht was?)               | Festlegen sämtlicher systemübergreifender Funktionen (inkl. Neben- und abgeleitete; funktionale Architektur), Funktionsstrukturen und Wirkprinzipien   |   | Alle übergreifenden Funktionen werden erfüllt |           |
| Bauteilsicht (Schnittstelle - Stoff Energie Information) | Festlegung Schnittstellen (Stoff, Energie, Information) und Interaktion (physikalisch, verfahrenstechnisch, etc.) | Generierung vollständiger Information für untergeordnetes System funktionale Anforderungen; nicht-funktionale Anforderungen und Merkmale: Gesetze, Vorschriften, Normen Einsatzprofil, Fahrzeug-Konfiguration spezielle Anforderungen Kunde Schnittstellen (Stoff, Energie, Information) an die zu konstruierenden Bauelemente z.B. Baukonzept / -raum, Klima, Dynamik | Detailfestlegung Schnittstellen für Elemente der spezifischen Phase; Festschreiben der Datenschnittstelle für Teilsysteme, welche durch komplexe Software gekennzeichnet sind und Rückkopplung auf Stromlaufplan des Zuges und/oder untereinander haben. Umsetzung von Software (TCMS - Train Control Monitoring System) kann zu einem späteren Zeitpunkt in einem gesonderten Zyklus erfolgen. | Detailfestlegung aller Schnittstellen         |           |
| Nachweise IRG  | Beschreibung der Abweichungen gemäß Checklisten „nicht-funktionale / funktionale Anforderungen“                   | Vorlegen Tec. Spec. zur Beschaffung Elemente und untergeordnetes System (inkl. Schnittstellenbeschreibung)   | Freigabe Schnittstellen (Protokolle)  | Freigabe Datenschnittstellen (Protokolle)     |           |

| Fertigung | Typtest vor Integration / Erstmusterprüfung (EMP)   | Inbetriebsetzung (IBS) statisch   | Inbetriebsetzung (IBS) dynamisch   | Erteilung Inbetriebnahmegenehmigung (IBG)   | Betrieb / Gewährleistung   |
|-----------|---|---|--|---|--|
|           | Eigenschaftsabsicherung durch Verifizierung und Validierung (Umfänge Stand-alone)   | Eigenschaftsabsicherung durch Verifizierung / Validierung   |  |   |  |
|           | Erstmuster (Versuchsaufbau im Fall vorgezogener Systemqualifizierung) nicht in übergeordnetes System integriert, Test - nicht in übergeordnetes System integriert (Stand-alone)     | Erstmuster (Versuchsaufbau im Fall vorgezogener Systemqualifizierung) in übergeordnetes System integriert; Test des Systems, in stehendes (statisch) übergeordnetes System integriert | Erstmuster (Seriennahes Produkt im Fall vorgezogener Systemqualifizierung) in übergeordnetes System integriert, Test unter Testbetrieb- (ERG 6) oder Probebetrieb- (ERG 7) Bedingungen | Serienprodukt in übergeordnetes System integriert, Test unter Bedingungen des Zulassungs- oder Abnahme-Betriebs | Serienprodukt in übergeordnetes System integriert, Einsatz unter Bedingungen des spezifizierten Betriebs |
|           | 4   | 5   | 6 / 7  | 8   | 9  |
|           | III   | IV.I  | IV.II  | IV.III  | V  |
|           | Definierter Input von übergeordnetem System löst definierte Funktion an nicht integriertem untergeordnetem System aus (Testumgebung z. B. Signal auf Pin x löst Öffnen der Tür aus) |   | Definierte Interaktion erfüllt / löst definierte Funktion / Rückmeldung des untergeordneten Systems aus  |   |  |
|           | Aus Sicht des untergeordneten Systems, Überprüfung, Anbindung an übergeordnete und andere Systeme   | Erfüllen Anforderungen an Interaktion   |  |   |  |
|           | Protokoll (EMP)   | Typtest Protokoll (statisch)  | Typtest Protokoll (dynamisch)  | IBG Zulassungsbescheinigung Abnahmeprotokoll  | Innerhalb eines Jahreszyklus liegen keine Meldungen über notwendige, konstruktive Anpassungen vor        |

### 3.3 Phasenzuordnung der Soll-Ergebnisse und Reifegrade des Referenzprozesses (PEP)

Bei der Festlegung der phasenspezifischen Soll-Ergebnisse des Referenzprozesses wurden Vereinfachungen getroffen. Sie betreffen die Zuordnung der Soll-Entwicklungsinhalte, der Soll-Einsatzreifegrade und der Soll-Integrationsreifegrade zu den einzelnen Phasen.

Der Referenzprozess legt für die Phasen die Soll-Ergebnisse der Kategorien sowie die Stufen der Soll-, Einsatz- und Integrationsreifegrade fest. So werden die Reifegradstufen des ERG und des IRG mit den einzelnen Phasen synchronisiert, obwohl es sich um unterschiedliche Analysen und Einordnungen in Stufen handelt. Die Randbedingungen für die Integration – etwa die Festlegung von Bauräumen – sind ein wichtiger Input für die Entwicklung eines untergeordneten Systems und müssen zu Beginn seiner Entwicklung vorliegen.

Die Erfüllungsgrade der Soll-Ergebnisse des Einsatzreifegrads und des Integrationsreifegrads werden in der Klärungsphase geprüft und sind Grundlage für die Einstufung der jeweiligen Reifegrade IRG bzw. ERG. Erfüllt ein System beispielsweise das Soll-Ergebnis einer Stufe des ERG nicht, wird der Reifegrad dieser ERG-Stufe nicht erreicht. Die Analyse des ERG ist dabei unabhängig von der Zuordnung der IRG-Stufe. Werden die Soll-Ergebnisse der IRG-Stufe erreicht, so erreicht das analysierte System den IRG-Reifegrad dieser Stufe. Der Handlungsbedarf – zum Beispiel die Auswahl der erforderlichen QE-Maßnahmen – orientiert sich an dem jeweils geringsten Reifegrad.

Durch den Status-Vergleich des Entwicklungsprozesses mit dem Referenzprozess lassen sich diejenigen Elemente identifizieren, die den geringsten Reifegrad aufweisen. So können gezielt QE-Maßnahmen ergriffen werden, die das Erreichen höherer Reifegrade absichern.

Es ist zu beachten, dass ein geringer Reifegrad nicht zwangsläufig mit einem hohen Risiko für die Zielerreichung verbunden ist: Das Risiko leitet sich aus dem jeweiligen Aufwand zur Umsetzung der notwendigen Quality Engineering-Maßnahmen (Anzahl, Art, Umfang) ab. Die Schwierigkeit, die Komplexität und das Risiko der notwendigen QE-Maßnahmen werden vom konkreten Inhalt bestimmt, der für die Zielerreichung des höheren Reifegrads notwendig ist.

Bei Änderungen von Anforderungen während des Entwicklungsprozesses ist dieselbe Vorgehensweise wie bei der Analyse anzuwenden. In diesem Fall müssen diejenigen Elemente eines Systems identifiziert werden, an denen Änderungen vorgenommen wurden bzw. die von der Änderung beeinflusst sind. Die Einstufung in die jeweiligen Prozessphasen bzw. ERG/IRG-Stufen erfolgt anhand derselben Kriterien wie bei der ursprünglichen Analyse. Änderungen im Konzept führen in der Regel zu Zurückstufungen der ERG- bzw. IRG-Stufen. Die neue Einstufung erfolgt in diejenigen Stufen, in denen die Änderungen vorgenommen wurden.

### 3.4 Analyse von Systemen zur Herstellung der Vergleichbarkeit

Ziel der Analyse der nicht-funktionalen Anforderungen ist es, relevante Besonderheiten und Abweichungen durch systematische Abfragen zu identifizieren und so sicherzustellen, dass diese Punkte im Entwicklungsprozess berücksichtigt werden.

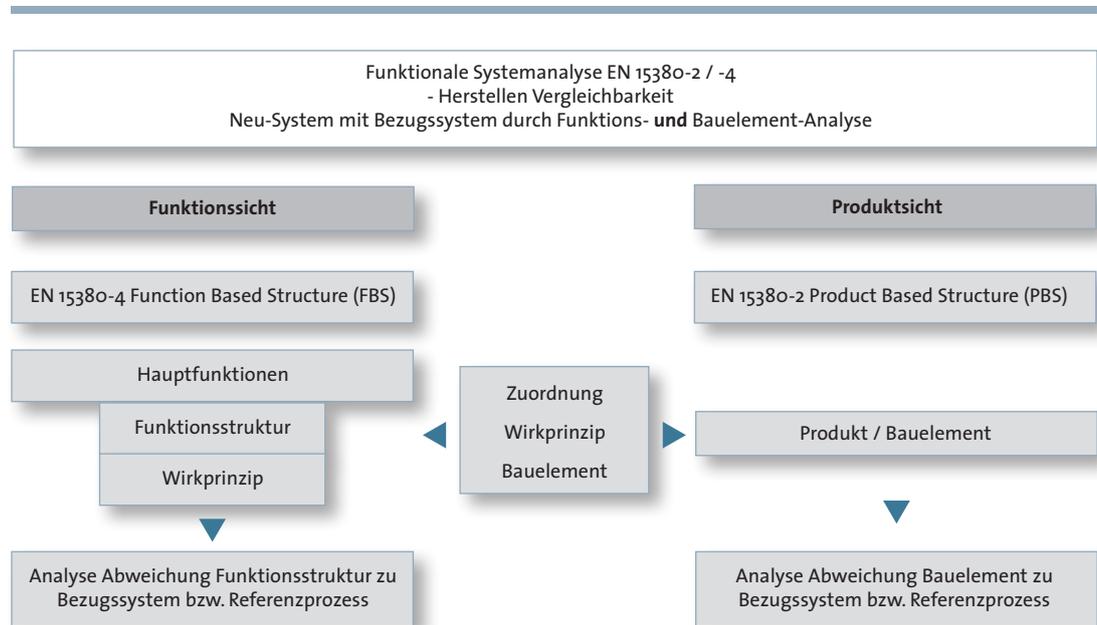
Der Erfüllungsgrad der Kriterien der einzelnen Stufen wird durch die Analyse des Entwicklungsstandes der Systeme festgestellt. Grundlage dafür ist die Funktions- und Bauteilsicht auf das jeweilige System. Diese Vorgehensweise entspricht EN 15 380-2 (Bauteilsicht) und EN 15 380-4 (Funktionssicht).

Verschiedene Analysen erfordern eine unterschiedliche Sicht auf die Systeme – ihre Zuverlässigkeit lässt sich beispielsweise nur durch Elemente aus beiden Sichtweisen theoretisch berechnen: Aus der Funktionsstruktur leitet sich die Verknüpfung der Bauteile ab, während die Zuverlässigkeit der einzelnen Bauteile durch die Bauteile selbst festgelegt ist. Systeme aus identischen Bauteilen, die jedoch unterschiedlich miteinander verknüpft sind, werden unterschiedliche Zuverlässigkeitswerte aufweisen. Redundant verknüpfte Bauteile haben grundsätzlich eine höhere Zuverlässigkeit als seriell verknüpfte Bauteile.

Ähnliche Überlegungen müssen für die Vergleichbarkeit von Systemen angestellt werden: Die Funktionsstruktur eines Systems hat eine wesentliche Bedeutung für seine Übertragbarkeit als **Bezugssystem** auf ein neues System. Wird die Funktionsstruktur eines Systems bei identischen Bauteilen verändert, lassen sich die Erfahrungswerte aus dem Betriebseinsatz nur bedingt auf das neue System übertragen.

Bei der Übernahme eines erprobten Systems (Bezugssystem) als Grundlage für ein neues System mit veränderten Anforderungen müssen die Auswirkungen dieser Veränderungen strukturiert analysiert werden. Eine Vergleichbarkeit und Übertragung der Betriebserfahrungen mit dem Bezugssystem auf das neue System kann nur nach der Analyse erfolgen. Die Prozessschritte der funktionalen Systemanalyse nach EN 15380-2 und EN 15380-4 sind in Abbildung 10 dargestellt. Ausgehend von der Funktionssicht werden die Funktionsstrukturen und die Wirkmechanismen der **Hauptfunktionen** analysiert und dargestellt. Hauptfunktionen eines Systems sind die maßgeblichen Funktionen. Die Funktionen von Schienenfahrzeugen sind in EN 15 380-4 strukturiert und definiert. Auf Basis der Analyse erfolgt ein Vergleich zwischen dem existierenden System und dem neuen System. Treten bei der Funktionsstruktur und den Wirkmechanismen Unterschiede auf, sind weitergehende Analysen erforderlich.

**Analyse aus Funktions- und Bauelementsicht. Die Produktstruktur ergibt sich aus der physikalischen Umsetzung der Funktionsstruktur (Abb. 10)**



Auf Basis der funktionalen Analysen lassen sich den Wirkmechanismen die **Bauelemente** bzw. Komponenten zuordnen – an dieser Stelle werden die Funktionssicht und die Produktsicht verknüpft.

Das Thema Funktionsstruktur ist eine wesentliche Grundlage für das methodische Konstruieren und die Wertanalyse von Systemen. Auch die VDI-Richtlinien 2206 und 2221, die den Konstruktionsprozess von Systemen beschreiben, basieren auf Funktionsstrukturen.

**3.4.1 Strukturierung von Anforderungen – funktional und nicht-funktional**

Die Strukturierung nach funktionalen und nicht-funktionalen Anforderungen erleichtert die Analyse von Systemen. Die Systemtheorie definiert: Die Funktion von Systemen besteht in der Überführung der Eingangsgrößen (Stoff, Energie, Information) unter Berücksichtigung von Zustandsgrößen in die umgewandelten Ausgangsgrößen (Stoff, Energie, Information). Für den Vergleich von Systemen werden die Hauptfunktionen (die maßgeblichen Funktionen nach EN 15380) herangezogen. Bei der Entwicklung von Systemen dienen sie als Ausgangspunkt.

Neben den funktionalen Anforderungen muss jedes Produkt auch nicht-funktionale Anforderungen erfüllen. Sie beschreiben, unter welchen Randbedingungen eine Funktion erbracht wird und welche Eigenschaften das System haben muss.

Systeme aus dem Schienenfahrzeugbau lassen sich bei der Gliederung der nicht-funktionalen Anforderungen nach folgendem Schema vergleichen:

- Normen, Vorschriften, Zulassung
- Einsatzprofil, Konfiguration
- Zusätzliche spezifische Anforderungen der Betreiber oder der Kunden
- Vorgaben für die Integration (Mechanik, Physik, Elektrik, Steuerung)

### 3.4.2 Aufbau und Art der Checklisten

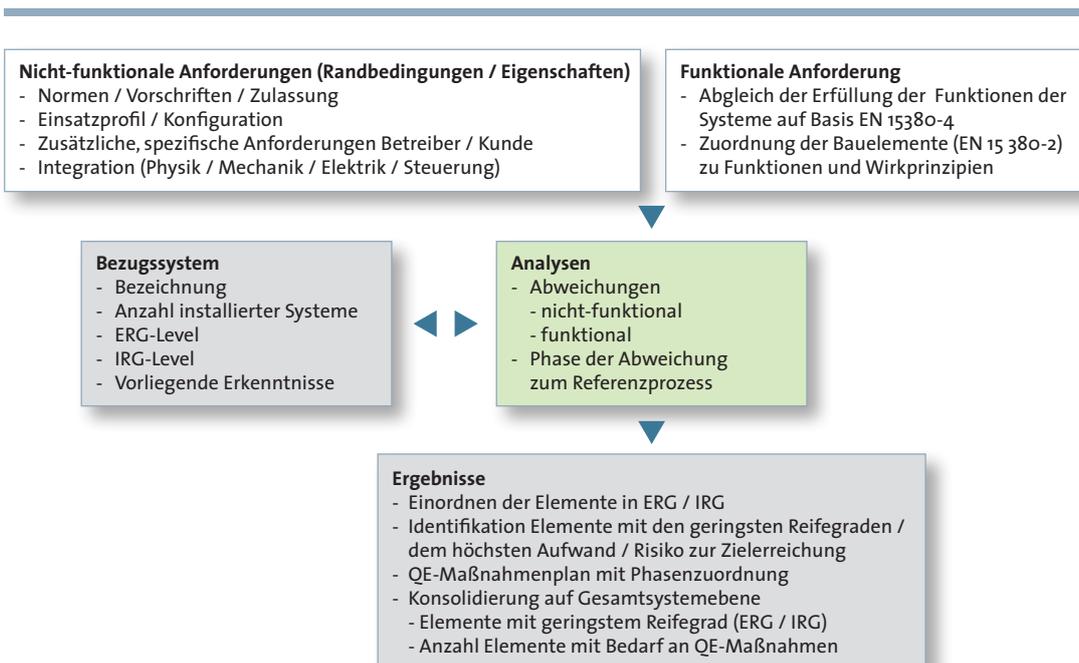
Mit Checklisten lassen sich Systeme nach vorgegebenen Kategorien analysieren. Durch die vorgegebene Struktur der Checklisten wird sichergestellt, dass die Hersteller zu allen relevanten Aspekten Antworten geben müssen. Dadurch kann eine Vergleichbarkeit der Systeme hergestellt werden. Zudem regen sie die Teams an, sich aktiv mit den Themen auseinanderzusetzen.

Die Checklisten werden durch die jeweiligen Hersteller bzw. Entwickler der Systeme ausgefüllt, die zudem dafür verantwortlich sind, die Informationen an das übergeordnete System weiterzuleiten.

Die Gliederung der Checklisten entspricht der funktionalen und nicht-funktionalen Analyse. Sie ist in Abbildung 11 dargestellt.

Diese strukturierte Analyse von Systemen ermöglicht es, Abweichungen zu identifizieren und zu beschreiben – sie ist die Grundlage der Einstufung in die Reifegrade. Aus ihr werden Maßnahmen zur Absicherung der Ziele abgeleitet und den Phasen des Produktentwicklungsprozesses (PEP) zugeordnet.

#### Die Gliederungspunkte der Checklisten (Abb. 11)



### 3.4.2.1 Nicht-funktionale Checkliste

Prinzipdarstellung nicht-funktionale Checkliste (Abb. 12)



Separate Detaildarstellung unter [www.bahnindustrie.info](http://www.bahnindustrie.info)

Die nicht-funktionale Checkliste (Abbildung 12) ist in drei Bereiche („übergeordnetes System“ und „untergeordnetes System“ sowie „Erkenntnisse nutzen“) gegliedert. Im ersten Bereich wird das übergeordnete System analysiert. Zunächst ist dabei zu prüfen, ob es dafür ein Bezugssystem gibt, das eine hohe Übereinstimmung mit dem übergeordneten Neu-System aufweist. Kann ein solches Bezugssystem identifiziert werden, sind seine wesentlichen Daten zu erfassen. In einem zweiten Schritt ist zu prüfen, ob Abweichungen in den Bereichen Normen, Vorschriften und Zulassung, beim Einsatzprofil und der Konfiguration oder bei zusätzlichen spezifischen Anforderungen des Betreibers oder der Kunden vorliegen. Das ist unter anderem erforderlich, wenn ein gesamtes Schienenfahrzeug für ein Neu-System übernommen werden soll.

Änderungen in den nicht-funktionalen Anforderungen – beispielsweise in den Zulassungsvorschriften oder im Einsatzgebiet – können die Übertragung der Reifegradstufen des Bezugssystems auf das Neu-System unmöglich machen. Darum sind die Abweichungen zu erfassen und zu analysieren.

Im zweiten Bereich wird das zu analysierende untergeordnete Neu-System betrachtet. Auch hier ist zu prüfen, ob es dafür ein Bezugssystem mit einer hohen Übereinstimmung gibt. Dabei handelt es sich oft um das Vorgängersystem, das im Neu-System weiterverwendet bzw. evolutionär weiterentwickelt werden soll. Die Entscheidung für ein Bezugssystem hat eine weitreichende Bedeutung und muss unter Berücksichtigung der Produktstrategie des Herstellers getroffen werden. Nach seiner Auswahl sind die relevanten Angaben in die Checkliste einzutragen.

Im nächsten Schritt werden die signifikanten nicht-funktionalen Anforderungen (z.B. Zulassungsnormen) genannt, die für die Entwicklung des Systems erforderlich sind. Dazu erfolgt eine Analyse der Abweichungen zwischen Neu-System und Bezugssystem. Möglicherweise stellt man aber auch fest, dass Informationen über die nicht-funktionalen Anforderungen an das System fehlen. Die strukturierte Abfrage erfolgt nach den oben genannten Themengebieten:

- Normen, Vorschriften, Zulassung
- Einsatzprofil / Konfiguration
- Zusätzliche, spezifische Anforderungen des Betreibers bzw. der Kunden
- Integration:
  - o Mechanik
  - o Elektrik
  - o Physik (ohne Mechanik)
  - o Steuerung

Falls kein Bezugssystem gewählt wird, ist zu prüfen, ob die wesentlichen Informationen für die Entwicklung des Neu-Systems vorliegen. In der Checkliste müssen sowohl diese Informationen als auch fehlende Informationen beschrieben werden. Die Auswahl der Sachverhalte, die in der Checkliste darzustellen sind, orientiert sich am der Stand der Technik: Es sind diejenigen Sachverhalte zu beschreiben, bei denen Abweichungen zum Stand der Technik vorliegen. Außer der Beschreibung der Abweichungen bzw. der fehlenden Informationen über die nicht-funktionalen Anforderungen sind diese jeweils noch in die Stufen zu klassifizieren: „identisch/unwesentlich“, „deutlich“ oder „grundlegend“.

Im dritten Bereich werden vorliegende Erkenntnisse erfasst. Die Abfrage gliedert sich in die Themengebiete „Störgeschehen aus dem Betrieb“ und „Lessons Learned“. Grundlage der Lessons Learned ist meist unternehmensspezifisches Know-how, das die Unternehmen schützen wollen – darum werden diese Erkenntnisse auf der systemspezifischen Checkliste erfasst. Sie soll dazu beitragen, die vorliegenden Erkenntnisse bei der Entwicklung des Systems zu nutzen.

#### Erkenntnisse nutzen

Sinn der Checklisten ist es, Erfahrungen aus Projekten systematisch zu erfassen und sie unter Berücksichtigung von wettbewerblichen Aspekten (z.B. Schutz von Know-how, Ort des Wettbewerbs) und einem sensiblen Umgang mit Daten in den Entwicklungsprozess einzubringen. Die Beschränkung auf die reinen Engineering-Phasen bis zum Abschluss der Prozessphase „Final Design“ ist nicht ausreichend, da wesentliche Erkenntnisse der Wirksamkeit des Engineerings erst durch die Verifizierung, mit Erteilung der Zulassung oder durch Erfahrungen im Dauerbetrieb gemacht werden.

### 3.4.2.2 Funktionale Checkliste

Die funktionale Analyse von Systemen ist ein zentrales Element des QE-Vorgehensmodells und bildet unter anderem die Grundlage für den Vergleich unterschiedlicher Systemkonzepte. Um eine Vergleichbarkeit herzustellen und eine funktionale Analyse durchzuführen, müssen alle Hauptfunktionen der jeweiligen Systeme berücksichtigt werden – auch wenn noch offene Fragen bestehen sollten. Dies wird durch die Anwendung von EN 15 380-4 sichergestellt. Sie listet für die relevanten Systeme von Schienenfahrzeugen diejenigen Funktionen auf, die jeweils zu erfüllen sind.

In einem ersten Schritt werden die Hauptfunktionen festgelegt. Auf Basis der Funktionsstrukturen der Systeme erfolgt der Abgleich mit den festgelegten Funktionen der Norm. Es ist sicherzustellen, dass alle relevanten Funktionen des jeweiligen Systems, die in der Norm aufgeführt sind, durch die benannten Funktionen bzw. Funktionsstrukturen des Systems erfüllt werden. Durch diese Vorgehensweise lassen sich auch Systeme mit unterschiedlichen Lösungsansätzen hinsichtlich der Funktionserfüllung und der Reifegrade vergleichen.

Die VDI-Richtlinien 2206, 2221 und 2803 beschreiben ebenfalls, wie Funktionen durch mehrere Funktionen und **Teilfunktionen** erfüllt werden. Sie stellen die Funktionsstrukturen dar. Diese Funktionsstrukturen werden durch Wirkstrukturen umgesetzt – also durch physikalische, chemische oder andere Effekte sowie deren Struktur. Die Wirkstrukturen bestimmen die Bauelemente, Teile oder Komponenten, mit denen sich die Wirk- und die Funktionsstrukturen realisieren lassen. Mehrere Bauelemente können zu **Bauelementstrukturen** zusammengefasst werden. Funktionen werden durch Bauelemente oder Bauelementstrukturen realisiert.

Die funktionale Analyse der Systeme folgt der in den Richtlinien beschriebenen Methodik und ist in der funktionalen Checkliste (Abbildung 13) abgebildet. Der Vergleich der Systeme – also des Neu-Systems mit dem Bezugssystem – erfolgt auf dieser Basis: Zunächst wird geprüft, ob die Funktionen aus der Norm für das spezifische System erfüllt werden und ob die funktionalen Strukturen übereinstimmen. Dies erfolgt in der Funktionssicht des Systems. Abweichungen sind in der Checkliste zu beschreiben. Anschließend werden die Bauelemente verglichen, die die Funktionsstrukturen realisieren. Dies erfolgt in der Bauteilsicht des Systems.

## Prinzipdarstellung der funktionalen Checkliste – Beispiel (Abb. 13)

| Funktionsanalyse Türsystem<br>in Anlehnung EN 15 380 - 4 | Identifikation<br>und Nennung<br>Hauptfunktionen                    | Identifikation und<br>Nennung relevanter<br>Teilfunktionen         | Funktionsstruktur<br>und Wirkprinzip   | Bauelemente,<br>durch welche die<br>Funktionsstruktur<br>realisiert wird   | Abweichung<br>Bezugssystem zum<br>zu analysierenden<br>(Neu-) System<br>(Funktion und<br>Bauelement) | Kategorie der<br>Abweichung  | Kategorie der<br>Abweichung  | Einstufung ERG<br>(in welcher Stufe<br>werden Festlegungen<br>zum Gegenstand<br>der Abweichung<br>getroffen) | Einstufung IRG<br>(in welcher<br>Stufe werden<br>Festlegungen zum<br>Gegenstand<br>der Abweichung<br>getroffen) |
|--|---|--|--|--|--|--|--|--|---|
|  | Kriterium für<br>Hauptfunktion:<br>Maßgeblich zur<br>Zweckerfüllung | Kriterium für Relevanz:<br>Notwendig zum<br>Erfüllen Hauptfunktion |  |  |  | - Funktionsstruktur,<br>Wirkprinzip  | - Bauelement   |  |   |
|  |   |  |  |  |  | Abweichungsmaß<br>- identisch /<br>unwesentlich<br>- deutlich<br>- grundlegend | Abweichungsmaß<br>- identisch /<br>unwesentlich<br>- deutlich<br>- grundlegend |  |   |
| E (Türanlage handhaben)                                  | x   | ...  | ...  | ...  | ...  | ...  | ...  | ...  | ...   |
| F (Außentür verriegeln)                                  | x   | ...  | ...  | ...  | ...  | ...  | ...  | ...  | ...   |
| G Außentür entriegeln                                    | x   | ...  | ...  | ...  | ...  | ...  | ...  | ...  | ...   |
| H (Öffnen Außentür ermöglichen)                          | x   | ...  | ...  | ...  | ...  | ...  | ...  | ...  | ...   |
| J Eingangsbeleuchtung vorsehen                           | x   | ...  | Elektrischer<br>Dauerkontakt „1“<br>auf Steuerung  | Elektromechanischer<br>Schalter -<br>Elektrischer Teil   | Elektrischer Schalter<br>aus Türsystem x mit<br>ERG 9 und IRG 5                                      | Funktionsstruktur [u]  | Bauteil [u]  | 4  | III   |
| K Außentüren absperren                                   | x   | Tür absperren  | Zentraler<br>Drehschalter -<br>übertragen durch<br>Bowdenzug auf<br>Verriegelungsgelenk                      | Elektromechanischer<br>Schalter -<br>Mechanischer Teil<br>Bowdenzug<br>Kinematik<br>Einbindung in<br>Verriegelungsgelenk | Neuteil  | Funktionsstruktur [u]  | Bauteil [g]  | 3.1  | I   |
|  |   | Tür sicher verriegeln  | Zentraler<br>Drehschalter -<br>übertragen durch<br>Bowdenzug<br>auf Verriegelungs-<br>stelle Türflügel unten | Elektromechanischer<br>Schalter -<br>Mechanischer Teil<br>Bowdenzug<br>Kinematik<br>Einbindung in<br>Verriegelungsstelle | Neuteil  | Funktionsstruktur [u]  | Bauteil [g]  | 3.1  | I   |

Separate Detaildarstellung unter [www.bahnindustrie.info](http://www.bahnindustrie.info)

In einem nächsten Schritt findet eine Bewertung der Abweichungen aus Funktions- und Bauteilsicht statt. Sie erfolgt in den vorgegebenen Stufen „identisch/unwesentlich“, „deutlich“ oder „grundlegend“. Die Einordnung in die Reifegradstufen ERG bzw. IRG entspricht der Vorgehensweise aus Kapitel 3.2.

Die Analyse ermöglicht es, den Elementen eines Systems Reifegrade zuzuordnen und daraus Maßnahmen für die Zielerreichung abzusichern. Auf Basis der Reifegrade ist es zudem möglich, Systeme zu vergleichen. Die Vorgehensweise hierfür ist in Kapitel 3.7 beschrieben.

### **3.5 QE-Methoden zur Absicherung spezifischer Phasen-Ergebnisse**

Ein Kernelement der Qualitätspartnerschaft für die Entwicklung von Schienenfahrzeugen ist das Vorgehensmodell zur Ermittlung des Qualitätssicherungsbedarfs – immer unter Berücksichtigung des Entwicklungsstands, um seine Anwendung auf die betroffenen Entwicklungsbestandteile zu konzentrieren.

Ausgehend von den Abweichungen des zu analysierenden Systems vom Referenzprozess bzw. Bezugssystem in den jeweiligen Kategorien der Phase und des ERG/IRG sind in Abbildung 15 geeignete Methoden aufgeführt, mit denen sich die gewünschten Ergebnisse präventiv absichern lassen. Bei den empfohlenen Methoden handelt es sich um eingeführte Methoden des Quality Engineerings. Sie werden daher in diesem Leitfaden nicht explizit beschrieben. Die Kategorien, Phasen und Abweichungen entsprechen der Einordnung der Reifegradstufen in Abbildung 9 in Kapitel 3.2, was die Navigation innerhalb der Tabelle erleichtert.

### **3.6 QE-Maßnahmenplan: Festlegung von Maßnahmen zur Absicherung von Ergebnissen**

Das QE-Vorgehensmodell konzentriert sich auf die Absicherung der Zielerreichung bei der Produktentwicklung von Schienenfahrzeugen bzw. ihren Subsystemen und Komponenten. Dies erfolgt durch die Festlegung von spezifischen QE-Maßnahmen, auf Basis der phasenspezifischen Abweichung eines Systems vom Referenzprozess. Die dazu notwendigen Analysen aus Funktions- und Bauteilsicht sind im Kapitel 3.4 dargestellt.

Die Empfehlung von QE-Methoden für die Absicherung spezifischer Phasen-Ergebnisse ist in Kapitel 3.5 dargestellt. Auf ihrer Grundlage legen die Hersteller bzw. Entwickler eines Systems die Maßnahmen zur Absicherung der Ergebnisse fest. Die Auswahl der Methoden liegt in ihrer Verantwortung und wird im QE-Maßnahmenplan phasenspezifisch dargestellt.

Der QE-Maßnahmenplan zeigt den Bedarf an QE-Maßnahmen und das damit verbundene Risiko für ein System bis zu seiner Fertigstellung auf. Er bildet die Grundlage, um den Status eines untergeordneten Systems an das übergeordnete System zu melden. Der Fortschritt wird zum Abschluss jeder Phase zwischen dem über- und untergeordneten System verfolgt. Die Bereitstellung der Information liegt in der Verantwortung des untergeordneten Systems. In Abbildung 14 ist der generische Aufbau des QE-Maßnahmenplans dargestellt.



Empfehlung geeigneter QE-Methoden (Abb. 15)

| Phase   | Angebot / Klärung  |  |
|---|--|--|
| ERG   | 3.1  |  |
| IRG   |  |  |
| Funktions- / Bauteilsicht   | ERG-Funktionssicht   | ERG-Bauteilsicht   |
| <b>konkrete Abweichung</b>  | Vollständige Information zur Interaktion (physikalisch, verfahrenstechnisch, Information, etc.) mit anderen Systemen (Integration)<br><br>Lösungen für kritische Anforderungen<br>Hauptfunktionen festgelegt | Vollständige Information<br>Gesetze, Vorschriften, Normen<br>Einsatzprofil, Fahrzeug-Konfiguration,<br>spezielle Anforderungen Kunde<br>Schnittstellen (Stoff, Energie, Information)<br>an die zu konstruierenden Bauteile<br>z.B. Bauraum, Klima, Dynamik |
| <b>Geeignete QE-Methoden</b>  |  |  |
| Requirement Engineering   | x  | x  |
| Checklisten<br>Nicht-funktionale Anforderungen<br>Funktionale Anforderungen   | x  | x  |
| Use Case  | x  | x  |
| Systematische Funktions-<br>und Systembeschreibung<br>z.B. Unified Modeling Language (UML)  | x  | x  |
| Quality Function Deployment (QFD)   | x  | x  |
| Modellierung und Analyse des Systems<br>unter den Aspekten:<br>Dynamik<br>Erwärmung<br>Streifelder<br>EMV<br>Schwingungs-Geräusch etc.                              |  |  |
| FMEA  |  |  |
| Virtual Prototyping / 3-D-Modell  |  |  |
| Simulation Software in the Loop   |  |  |
| Simulation Hardware in the Loop / Iron Bird   |  |  |
| Spezielle Tests (Festigkeit, Steifigkeit,<br>Dauerfestigkeit, Druck, Dichtigkeit,<br>Emissionen (Flüssigkeit, Gas, Wellen /<br>Schwingungen z.B. Schall, EMV, etc.) |  |  |

Separate Detaildarstellung unter [www.bahnindustrie.info](http://www.bahnindustrie.info)

Kategorien der konkreten Abweichungen des zu analysierenden Systems vom Referenzprozess bzw. Bezugssystem  
 - Phase der Abweichung  
 - Art der Abweichung (Einsatzreife / Integrationsreife)

| Angebot / Klärung   |   | Konzept   |  |
|---|---|---|--|
|   |   | 3.2   |  |
|   | I   |   | II.I   |
| IRG-Funktionsicht   | IRG-Bauteilsicht  | ERG-Funktionsicht   | IRG-Funktionsicht  |
| Systemübergreifende Funktionen:<br>Aufteilen Hauptfunktionen<br>(Welches System macht was?) | Festlegung Schnittstellen<br>(Stoff, Energie, Information)<br>und Interaktion (physikalisch,<br>chemisch, verfahrenstechnisch etc.) | Funktionsstrukturen und<br>Wirkprinzipien für alle<br>funktionalen Anforderungen<br><br>Zuordnung Funktion / Wirkprinzip<br>Bauteil<br>Produkt vollständig konzipiert | Systemübergreifende Funktionen:<br>Festlegen sämtlicher Funktionen<br>(inkl. Neben- und abgeleitete),<br>Funktionsstrukturen und<br>Wirkprinzipien |
| x   | x   | x   | x  |
| x   | x   | x   | x  |
|   |   | x   | x  |
|   |   | x   | x  |
| x   |   | x   | x  |
|   |   | x   | x  |
|   |   | x   | x  |
|   |   |   |  |
|   |   |   |  |
|   |   |   |  |
|   |   |   |  |

### 3.7 Darstellung des Status von Systemen auf Basis der Reifegrade

Die Elemente mit dem geringsten Reifegrad und dem höchsten Aufwand für die Zielerreichung stellen in der Regel auch die höchsten Risiken dar (kritischer Pfad einer Entwicklung). Zur Einschätzung des Gesamtrisikos hat daneben auch die Anzahl der Elemente mit einem geringen Reifegrad und einem hohen Entwicklungsaufwand eine hohe Bedeutung.

Beispiel: Es werden zwei Systeme verglichen, die acht Hauptfunktionen gemäß EN 15 380-4 erfüllen müssen. Bei einem System weist eine Bauelementstruktur für eine Hauptfunktion einen geringen Reifegrad auf. Beim anderen System weisen sechs Bauelementstrukturen für die Hauptfunktionen einen geringen Reifegrad auf und erfordern jeweils einen hohen Aufwand. Der Aufwand für die Realisierung der Bauelementstrukturen mit den geringsten Reifegraden ist bei beiden Systemen gleich. Dennoch ist das Realisierungsrisiko des Systems mit mehreren Bauelementstrukturen von geringen Reifegraden höher.

Das QE-Vorgehensmodell berücksichtigt diesen Sachverhalt: Es benennt neben den Bauteilstrukturen mit dem geringsten Reifegrad auch die Anzahl und Reifegrade derjenigen Bauteilstrukturen, die die Hauptfunktionen von Systemen realisieren. Die Vergleichbarkeit unterschiedlicher Systeme ist gegeben, da die Anzahl der Hauptfunktionen in der EN 15 380-4 genannt ist. Der Status von Systemen ist in Abbildung 16 dargestellt.

#### Reifegrade der Realisierung der Hauptfunktionen durch Bauelementstrukturen (Abb. 16)

Darstellung am Beispiel von 6 Hauptfunktionen / Angabe des jeweils schwächsten Elements

| System: Tür  |     | Anzahl Hauptfunktionen des Systems: 6 |       |        |         |      |       |        |   |
|--|-----|---------------------------------------|-------|--------|---------|------|-------|--------|---|
| 10   |     |                                       |       |        |         |      |       |        |   |
| 9  |     |                                       |       |        |         |      |       |        |   |
| 8  |     |                                       |       |        |         |      |       |        |   |
| 7  |     |                                       |       |        |         |      |       |        |   |
| 6  |     |                                       |       |        |         |      |       |        |   |
| 5  |     |                                       |       |        |         |      |       |        |   |
| 4  |     |                                       |       |        |         |      |       |        |   |
| 3  |     |                                       |       |        |         |      |       |        |   |
| 2  |     |                                       |       |        |         |      |       |        |   |
| 1  |     |                                       |       |        |         |      |       |        |   |
| <b>ERG</b>   | 3.1 | 3.2                                   | 3.3   | 3.4    | 4       | 5    | 6 / 7 | 8      | 9 |
| <b>IRG</b>   | I   | II                                    | III.I | III.II | III.III | IV.I | IV.II | IV.III | V |
| Anzugeben ist jeweils das schwächste Element (ERG / IRG) |     |                                       |       |        |         |      |       |        |   |

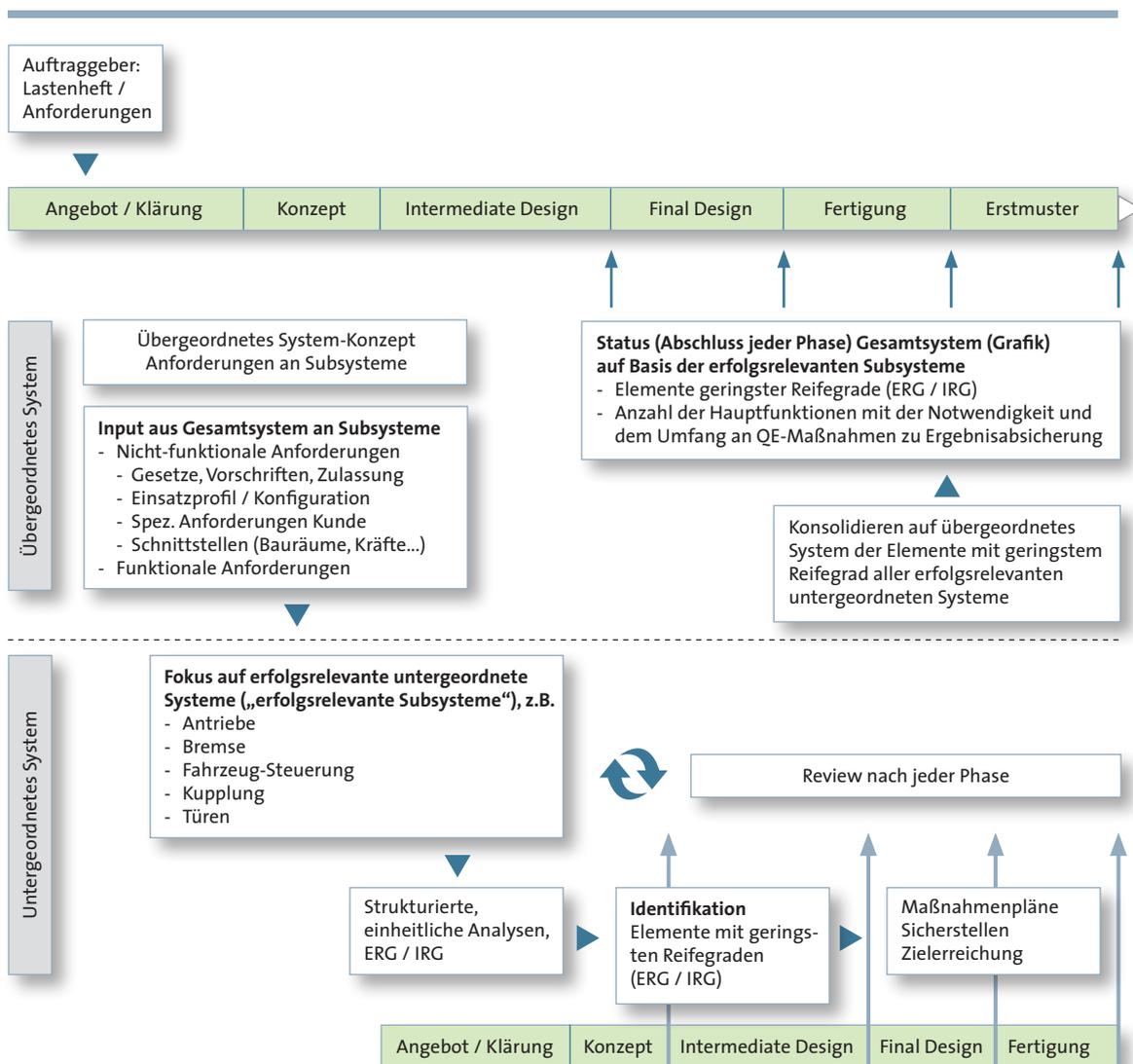
Separate Detaildarstellung unter [www.bahnindustrie.info](http://www.bahnindustrie.info)

## 4| Anwendung des QE-Vorgehensmodells in einem Projekt

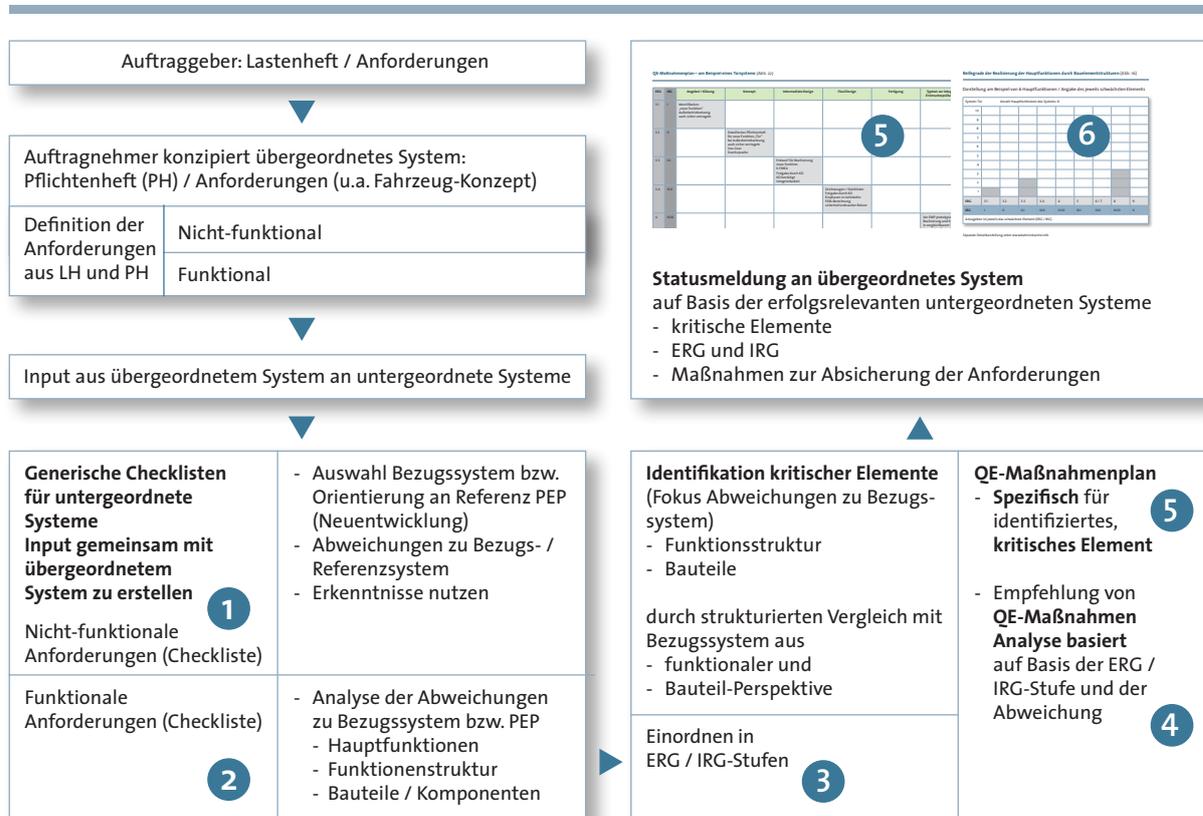
Der Prozessablauf zur Anwendung des QE-Vorgehensmodells ist in den Abbildungen 2 und 3 in Kapitel 2 dargestellt. Abbildung 17 verdeutlicht die Phasenzuordnung zum übergeordneten und untergeordneten System.

Abbildung 18 stellt die Inhalte und die Reihenfolge der Checklisten bei der Anwendung des QE-Vorgehensmodells an einem Kundenprojekt dar und orientiert sich am Ablaufschema aus Abbildung 17. Damit bilden die Checklisten das QE-Vorgehensmodell ab.

### Ablaufschema zur Anwendung des QE-Vorgehensmodells, gezeigt am Beispiel eines Kundenprojektes (Abb. 17)



**Ablaufschema und Anwendung der Checklisten bei der Anwendung des QE-Vorgehensmodells an einem Kundenprojekt (Abb. 18)**



**Die notwendigen Schritte bei der Anwendung des Vorgehensmodells sind:**

- (1) Erfassen und Bestimmung der Erfüllung der nicht-funktionalen Anforderungen (Identifizierung der Abweichungen zum Bezugs-/Referenzsystem)
  - Grundlage: Checkliste „nicht-funktionale Anforderungen“
- (2) Erfassen und Bestimmung der Erfüllung der funktionalen Anforderungen (Analyse der Abweichungen von Hauptfunktionen, Funktionsstruktur, Bauteilen/ Komponenten zum Bezugssystem)
  - Grundlage: Checkliste „Funktionale Anforderungen“
  - Grundlage: Tabelle „Produkt-Entwicklungsprozess“
- (3) Einordnen in Reifegradstufen (ERG/IRG)
  - Grundlage: Tabelle „ERG-IRG-Messgrößen Stufen“
- (4) Auswahl geeigneter QE-Methoden (auf Basis der ERG/IRG-Stufe und der Abweichung)
  - Grundlage: Tabelle „QE-Methoden“
- (5) Festlegen des QE-Maßnahmenplans
  - Grundlage: Tabelle „QE-Maßnahmenplan – generisch“
- (6) Darstellung der Statusmeldung
  - Grundlage: Tabelle „Zusammenfassen QE-Maßnahmen“

Nachfolgend werden diese Schritte näher beschrieben:

### **Schritt (1) – Erfassen der nicht-funktionalen Anforderungen**

Zunächst werden die nicht-funktionalen Anforderungen analysiert. Es ist zu überprüfen, ob alle notwendigen Informationen vorliegen. Bei existierenden Bezugssystemen wird geklärt, ob die nicht-funktionalen Anforderungen (Randbedingungen und vorgegebene Eigenschaften) auf das neue System übertragen werden können. Grundlage für diese Analyse ist die nicht-funktionale Checkliste, wie sie in Abbildung 12 in Kapitel 3.4.2.1 dargestellt ist.

Die Vorgehensweise zur Bestimmung der Abweichungen zwischen dem zu analysierenden Neu-System und dem schon erprobten Bezugssystem zeigt Abbildung 19.

Der Systemhersteller muss die nicht-funktionale Checkliste ausfüllen und das Ergebnis dokumentieren. Der Input aus dem übergeordneten System ist im Dialog zwischen den Herstellern bzw. Entwicklern des untergeordneten und des übergeordneten Systems abzustimmen.

Bei Bedarf ist eine Abstimmung zwischen dem Hersteller des übergeordneten Systems und dem Hersteller des untergeordneten Systems zur ausgefüllten Checkliste erforderlich.

### **Schritt (2) – Erfassen der funktionalen Anforderungen**

Die Analyse der funktionalen Anforderungen erfolgt im nächsten Schritt gemäß EN 15380-2 und EN 15380-4. Ausgehend von den Funktionsstrukturen werden die Systeme nach der Funktions- und der Bauteilsicht analysiert. Dabei müssen diejenigen Elemente identifiziert werden, bei denen Abweichungen zum gewählten Bezugssystem auftreten. Ist kein Bezugssystem festgelegt, sind die Abweichungen vom Referenzprozess zu bestimmen. Die Analyse erfolgt nach der Vorgehensweise, wie sie in Abbildung 13 in Kapitel 3.4.2.2 beschrieben ist.

Die Ermittlung und der Abgleich der Funktionsstrukturen mit den Funktionen, die in EN 15380-4 systemspezifisch beschrieben sind, sind in Abbildung 20 dargestellt. Hersteller bzw. Entwickler müssen die Funktionen der spezifischen Systeme aus der Norm ermitteln. Sie sind auch dafür verantwortlich, den Abgleich der Funktionen mit den Vorgaben der Norm durchzuführen und zu dokumentieren. Bei Bedarf ist eine Abstimmung zwischen dem Hersteller des übergeordneten Systems und dem Hersteller des untergeordneten Systems zum durchgeführten Abgleich erforderlich.

### **Schritt (3) – Einordnen in Reifegradstufen (ERG/IRG)**

Die identifizierten Abweichungen dienen als Eingangsgrößen für die Ermittlung der Reifegrade. Grundlage hierfür ist die Auswertung der Abfrage-Matrix zur Bestimmung der Reifegrade, wie sie in Abbildung 21 dargestellt ist. Es ist zu beachten, dass das Merkmal „Physischer Zustand des Systems / Bedingungen Test“ (obere Zeilen der Matrix) bei allen Abfragen berücksichtigt werden muss. Für die Steigerung der Reifegrade sind die Testbedingungen während der Phase der Eigenschaftserfüllung von entscheidender Bedeutung (etwa ob der Test unter statischen oder unter Betriebsbedingungen durchgeführt wurde).

Die Elemente mit den geringsten ERG- und IRG-Stufen müssen besonders betrachtet werden, da geringe Reifegrade ein Indikator für zusätzlichen Aufwand und Risiko sind. Die Dokumentation der Analyse – d.h. die Festlegung der Reifegrade (ERG und IRG) – entspricht der Vorgehensweise in Abbildung 13 (funktionale Checkliste) in Kapitel 3.4.2.2.

Hersteller bzw. Entwickler müssen die funktionalen und nicht-funktionalen Checklisten des spezifischen Systems abarbeiten und dokumentieren. Bei Bedarf ist eine Abstimmung zwischen dem Hersteller des übergeordneten Systems und dem Hersteller des untergeordneten Systems zur ausgefüllten Checkliste erforderlich.

#### **Schritt (4) – Auswahl geeigneter QE-Methoden**

Ausgehend von dieser Analyse legen die Hersteller bedarfsgerechte QE-Maßnahmen fest, die sich je nach Kategorie und Phase der Abweichung aus dem Vorgehensmodell ergeben (siehe Abbildung 15 im Kapitel 3.5).

#### **Schritt (5) – Festlegen des QE-Maßnahmenplans**

Der QE-Maßnahmenplan ordnet die festgelegten Maßnahmen einzelnen Phasen zu. Sie sollen sicherstellen, dass die angestrebten Ergebnisse (Soll-ERG bzw. Soll-IRG) zum jeweiligen Zeitpunkt tatsächlich erreicht werden. Die Zuordnung der Maßnahmen zu den Ziel-ERG bzw. Ziel-IRG über den einzelnen Phasen ermöglicht die grafische Darstellung des Status. Das Formular für diese Darstellung zeigt Abbildung 14 in Kapitel 3.6. Zum Abschluss jeder Phase ist ein Review durchzuführen: Dabei wird überprüft, ob die festgelegten Maßnahmen umgesetzt wurden. Zusätzlich ist zu klären, ob sich beispielsweise durch Änderungen neue kritische Sachverhalte ergeben haben, die nach dem QE-Vorgehensmodell analysiert werden müssen.

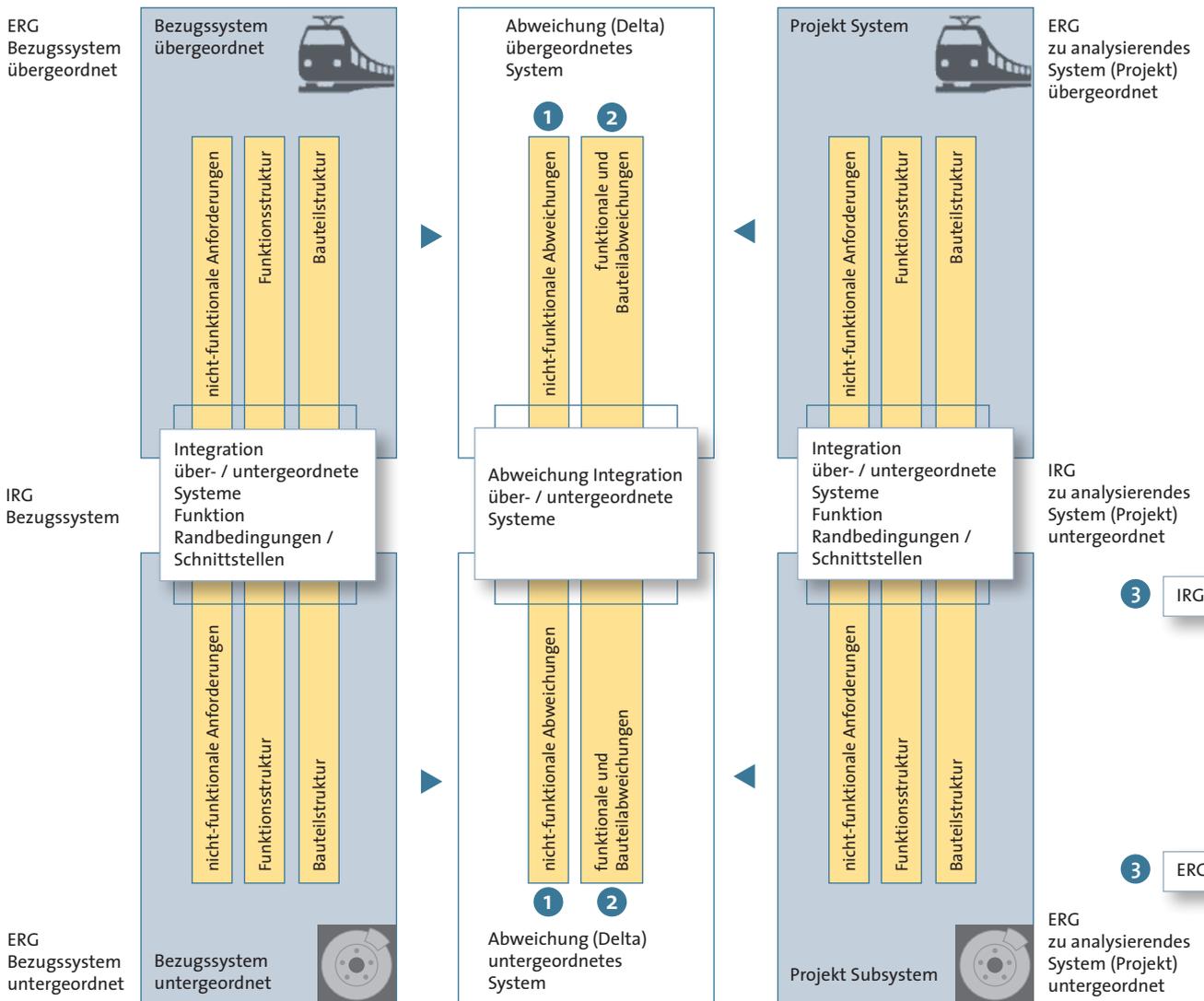
Die Abbildung 22 zeigt einen exemplarischen QE-Maßnahmenplan für ein Türsystem.

#### **Schritt (6) – Darstellung der Statusmeldung**

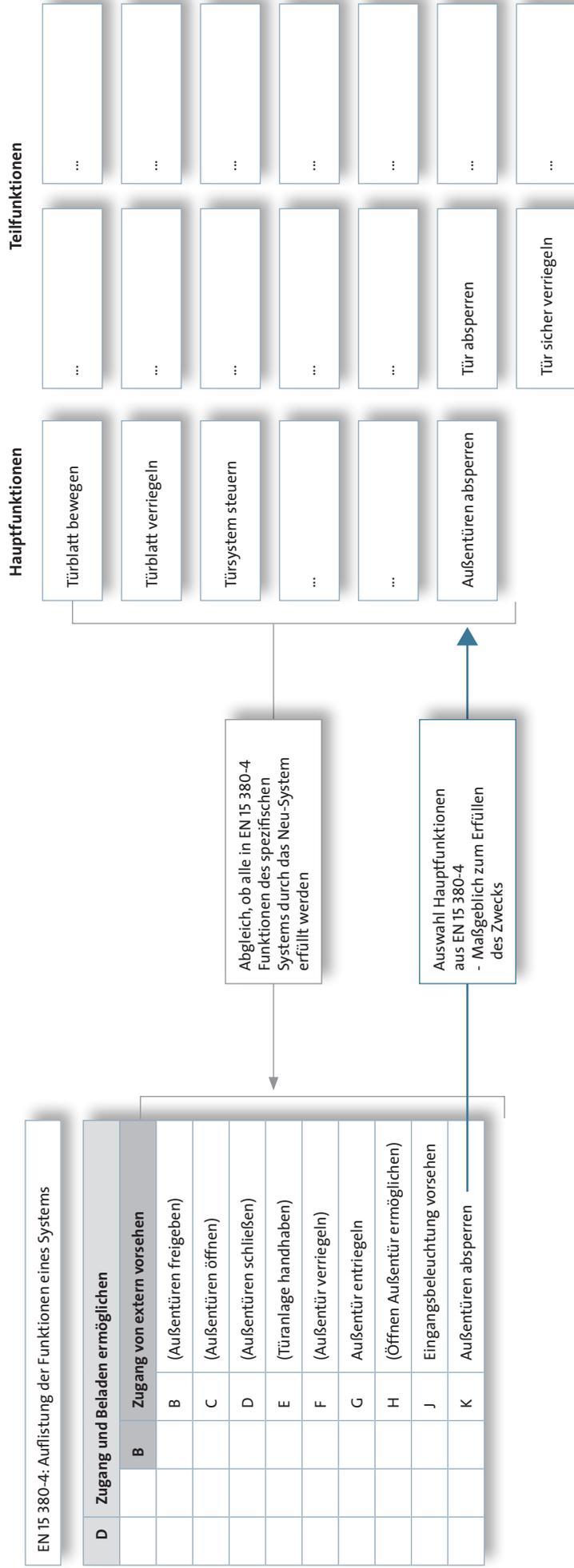
Um den Status des Gesamtprojektes darzustellen, wird jeweils das Element mit dem geringsten Reifegrad und dem höchsten Risiko bis zur Fertigstellung entsprechend Abbildung 14 in Kapitel 3.6 grafisch dargestellt. Für alle erfolgsrelevanten untergeordneten Systeme erfolgt dies durch ihre Hersteller bzw. Entwickler, die den Status an die übergeordneten Systeme melden. Die projektspezifische Festlegung der erfolgsrelevanten Systeme ist eine gemeinsame Aufgabe der Hersteller bzw. Entwickler der übergeordneten und der untergeordneten Systeme.

Die Darstellung des Status des spezifischen Systems ist durch die Hersteller bzw. Entwickler durchzuführen und zu dokumentieren. Zum Abschluss jeder Entwicklungsphase ist der Status in der in Kapitel 3.7 vorgegebenen Darstellung (Status und Anzahl der Bauelementstrukturen, die die Hauptfunktionen von Systemen realisieren) dem Hersteller des übergeordneten Systems zu übermitteln.

**Vorgehensweise zur Bestimmung der Abweichungen zwischen einem zu analysierenden Neu-System und einem schon erprobten Bezugssystem (Abb. 19)**



Ermittlung und Abgleich der Funktionsstrukturen mit den Funktionen, die in EN 15 380-4 systemspezifisch beschrieben sind (Abb. 20)





Vorgehensweise zur Bestimmung der Reifegrade auf Basis der Abfrage-Matrix (Abb. 21)

| Projekt Phasen  | Angebot / Klärung  | Konzept  | Intermediate Design   | Final Design  | Fertigung   |
|---|--|--|---|---|---|
| PEP-Entstehungshase   | Planen - Anforderungen Informationen<br>- Zusamentragen<br>- Erkennen von Lücken | Konzipieren<br>- Funktionsstrukturen<br>- prinzipielle Lösungen  | Entwerfen und Gestalten modularer Strukturen<br>Erarbeiten von Lösungen / Funktionsstrukturen   | Gesamtentwurf   |   |
| Physischer Zustand / Bedingungen Test   |  | Modell<br>Simulation / Beschreibung  |   |   |   |
| Stufen des Einsatzreifegrads  | 3.1  | 3.2  | 3.3   | 3.4   |   |
| ERG   | Funktionssicht   | Vollständige Information zur Interaktion (physikalisch, verfahrenstechnisch, Information, etc.) mit anderen Systemen (Integration) d.h. z.B. welche Beschleunigungen müssen berücksichtigt werden<br>Lösungen für kritische Anforderungen, Hauptfunktionen (d.h maßgebliche) festgelegt          | Funktionsstrukturen und Wirkprinzipien für alle funktionalen Anforderungen<br>Zuordnung Funktion / Wirkprinzip Bauelement<br>Produkt vollständig konzipiert<br>- Systementwurf (domänenübergreifendes Lösungskonzept)   | Festlegen der Eigenschaftsabsicherung (Validierungsprinzip)   |   |
|   | Bauteilsicht   | Vollständige Information und Beschreibung der Merkmale des Systems Gesetze, Vorschriften, Normen Einsatzprofil, Fahrzeug-Konfiguration spezielle Anforderungen Kunde Schnittstellen (Stoff, Energie, Information) an die zu konstruierenden Bauelemente z.B. Baustruktur / -raum, Klima, Dynamik | Bauelemente einer Funktionsstruktur erfüllen Anforderungen an diese Funktionsstruktur<br><br>Festlegen der Eigenschaftsabsicherung (Verifizierungs- / Validierungsprinzip)  | Konstruktion aller Bauelemente abgeschlossen<br>Alle Bauelemente in System integriert<br>Zusammenwirkende Bauelemente erfüllen Anforderungen  |   |
|   | Nachweise ERG  | - Fahrzeug-Prinzipstruktur („Powerpoint-Design“)<br>- Clause by Clause Kommentierung der Anforderungen des Lastenheftes  | - Pflichtenheft<br>- Gesamtanordnung (ausgearbeitete Fahrzeug-Struktur)<br>- Einbau Räume<br>- Draft Gewichtsbilanz<br>- Vorlegen Schnittstellenbeschreibung  | 3-D Modell (Preliminary)  | - Übergabe sämtlicher Fertigungsunterlagen<br>- Freigabe Schaltpläne<br>- freigegebener Validierungsplan inkl. grober Festlegung der Nachweisführung (Typtests) |
| <div style="border: 1px dashed black; padding: 5px; width: fit-content; margin: 10px auto;"> <p>Bestimmung des ERG auf Basis des Erreichens aller Soll-Ergebnisse der jeweiligen Stufe</p> </div> |  |  |   |   |   |
| Stufen des Integrations-Reifegrads  | I  | II.I   | II.II   | II.III  |   |
| IRG   | Funktionssicht   | Systemübergreifende Funktionen definiert und Hauptfunktionen aufgeteilt (Welches System macht was?)  | Festlegen sämtlicher systemübergreifender Funktionen (inkl. Neben- und abgeleitete; funktionale Architektur), Funktionsstrukturen und Wirkprinzipien  | Alle übergreifenden Funktionen werden erfüllt   |   |
|   | Bauteilsicht (Schnittstelle - Stoff Energie Information)                         | Festlegung Schnittstellen (Stoff, Energie, Information) und Interaktion (physikalisch, verfahrenstechnisch, etc.)  | Generierung vollständiger Information für untergeordnetes System funktionale Anforderungen; nicht-funktionale Anforderungen und Merkmale: Gesetze, Vorschriften, Normen, Einsatzprofil, Fahrzeug-Konfiguration spezielle Anforderungen Kunde Schnittstellen (Stoff, Energie, Information) an die zu konstruierenden Bauelemente z.B. Baukonzept / -raum, Klima, Dynamik | Detailfestlegung Schnittstellen für Elemente der spezifischen Phase; Festschreiben der Datenschnittstelle für Teilsysteme, welche durch komplexe Software gekennzeichnet sind und Rückkopplung auf Stromlaufplan des Zuges und / oder untereinander haben. Umsetzung von Software (TCMS - Train Control Monitoring System) kann zu einem späteren Zeitpunkt in einem gesonderten Zyklus erfolgen. | Detailfestlegung aller Schnittstellen   |
|   | Nachweise IRG  | Beschreibung der Abweichungen gemäß Checklisten „nicht-funktionale / funktionale Anforderungen“  | Vorliegen Tec. Spec. zur Beschaffung Elemente und untergeordnetes System (inkl. Schnittstellenbeschreibung)   | Freigabe Schnittstellen (Protokolle)  | Freigabe Datenschnittstellen (Protokolle)   |

| Fertigung | Typtest vor Integration / Erstmusterprüfung (EMP)  | Inbetriebsetzung (IBS) statisch   | Inbetriebsetzung (IBS) dynamisch   | Erteilung Inbetriebnahmegenehmigung (IBG)   | Betrieb / Gewährleistung   |
|-----------|--|---|--|---|--|
|           | Eigenschaftsabsicherung durch Verifizierung und Validierung (Umfänge Stand-alone)  | Eigenschaftsabsicherung durch Verifizierung / Validierung   |  |   |  |
|           | Erstmuster (Versuchsaufbau im Fall vorgezogener Systemqualifizierung) nicht in übergeordnetes System integriert Test - nicht in übergeordnetes System integriert (Stand-alone)     | Erstmuster (Versuchsaufbau im Fall vorgezogener Systemqualifizierung) in übergeordnetes System integriert, Test des Systems, in stehendes (statisch) übergeordnetes System integriert | Erstmuster (seriennahes Produkt im Fall vorgezogener Systemqualifizierung) in übergeordnetes System integriert, Test unter Testbetrieb- (ERG 6) oder Probebetrieb- (ERG 7) Bedingungen | Serienprodukt in übergeordnetes System integriert, Test unter Bedingungen des Zulassungs- oder Abnahme-Betriebs | Serienprodukt in übergeordnetes System integriert, Einsatz unter Bedingungen des spezifizierten Betriebs |
|           | 4  | 5   | 6 / 7  | 8   | 9  |
|           | Nachweis Erfüllen sämtlicher funktionaler Anforderungen soweit für Typtest und Erstmusterprüfung (EMP) definiert und prüfbar   | Nachweis Erfüllen sämtlicher funktionaler Anforderungen (statisch)  | Nachweis Erfüllen sämtlicher funktionaler Anforderungen (dynamisch)  | Nachweis Erfüllen sämtlicher funktionaler Anforderungen (Zulassung / Abnahme)                                   | Nachweis Erfüllen sämtlicher funktionaler Anforderungen (Betriebseinsatz)                                |
|           | Nachweis Erfüllen sämtlicher Anforderungen an Bauelemente soweit für Typtest und Erstmusterprüfung (EMP) definiert und prüfbar   | Nachweis Erfüllen sämtlicher Anforderungen an Bauelemente (statisch)  | Nachweis Erfüllen sämtlicher Anforderungen an Bauelemente (dynamisch)  | Nachweis Erfüllen sämtlicher Anforderungen an Bauelemente (Zulassung / Abnahme)                                 | Nachweis Erfüllen sämtlicher Anforderungen an Bauelemente (Betriebseinsatz)                              |
|           | Nachweis Erfüllung Anforderungen an untergeordnetes System (EMP-Protokoll)<br><br>Typtestprotokolle (vor Integration)  | Typtestprotokolle (Integration-statisch)  | Typtestprotokolle (Integration-dynamisch)  | IBG Zulassungsbescheinigung Abnahmeprotokoll  | Innerhalb eines Jahreszyklus liegen keine Meldungen über notwendige, konstruktive Anpassungen vor        |
|           | III  | IV.I  | IV.II  | IV.III  | V  |
|           | Definierter Input von übergeordnetem System löst definierte Funktion an nicht integriertem untergeordnetem System aus (Testumgebung z. B Signal auf Pin x löst Öffnen der Tür aus) | Definierte Interaktion erfüllt / löst definierte Funktion / Rückmeldung des untergeordneten Systems aus   |  |   |  |
|           | Aus Sicht des untergeordneten Systems Überprüfung, Anbindung an übergeordnete und andere Systeme   |   | Erfüllen Anforderungen an Interaktion  |   |  |
|           | Protokoll (EMP)  | Typtestprotokoll (statisch)   | Typtestprotokoll (dynamisch)   | IBG Zulassungsbescheinigung Abnahmeprotokoll  | Innerhalb eines Jahreszyklus liegen keine Meldungen über notwendige, konstruktive Anpassungen vor        |

Bestimmung des IRG auf Basis des Erreichens aller Soll-Ergebnisse der jeweiligen Stufe

QE-Maßnahmenplan – am Beispiel eines Türsystems (Abb. 22)

| ERG | IRG     | Angebot / Klärung   | Konzept   | Intermediate Design  | Final Design   | Fertigung |
|-----|---------|---|---|--|--|-----------|
| 3.1 | I       | Identifikation „neue Funktion“<br>Außerbetriebsetzung<br>auch sicher verriegeln |   |  |  |           |
| 3.2 | II      |   | Detailliertes Pflichtenheft<br>für neue Funktion „Tür“<br>bei Außerbetriebsetzung<br>auch sicher verriegeln<br>Use-Case<br>Durchsprache |  |  |           |
| 3.3 | II.I    |   |   | Entwurf für Realisierung<br>neue Funktion<br>K-FMEA<br>Freigabe durch KD<br>KD bestätigt<br>Integrierbarkeit |  |           |
| 3.4 | III.II  |   |   |  | Zeichnungen / Stücklisten<br>Freigabe durch KD<br>Einphasen in Lieferkette<br>FEM-Berechnung<br>sicherheitsrelevanter Bolzen |           |
| 4   | III.III |   |   |  |  |           |
| 5   | IV.I    |   |   |  |  |           |
| 6   | IV.II   |   |   |  |  |           |
| 7   | IV.II   |   |   |  |  |           |
| 8   | IV.III  |   |   |  |  |           |
| 9   | V       |   |   |  |  |           |

Separate Detaildarstellung unter [www.bahnindustrie.info](http://www.bahnindustrie.info)

|  | Typstest vor Integration /<br>Erstmusterprüfung (EMP)  | Inbetriebsetzung<br>statisch       | Inbetriebsetzung<br>dynamisch      | Erteilung Inbetriebnahme<br>Genehmigung | Gewährleistung                     |
|--|--|------------------------------------|------------------------------------|---|------------------------------------|
|  |  |                                    |                                    |   |                                    |
|  |  |                                    |                                    |   |                                    |
|  |  |                                    |                                    |   |                                    |
|  |  |                                    |                                    |   |                                    |
|  | Vor EMP prototypische<br>Realisierung und Erprobung<br>in vergleichbarem Türsystem<br>Kompletter Typstest,<br>insbesondere<br>Belastungstest 2500 Pa<br>Neigungstest<br>Bedienungskraftnachweis<br>Schwingungstest |                                    |                                    |   |                                    |
|  |  | Prozessschritte<br>Referenzprozess |                                    |   |                                    |
|  |  |                                    | Prozessschritte<br>Referenzprozess |   |                                    |
|  |  |                                    | Prozessschritte<br>Referenzprozess |   |                                    |
|  |  |                                    |                                    | Prozessschritte<br>Referenzprozess      |                                    |
|  |  |                                    |                                    |   | Prozessschritte<br>Referenzprozess |

## Glossar

**Abweichung identisch/unwesentlich:** Die Abweichung ist unmaßgeblich bzw. nebensächlich, eine Auswirkung auf den Betrachtungsgegenstand ist vernachlässigbar, zur Berücksichtigung der Abweichung an dem Betrachtungsgegenstand sind keine Änderungen erforderlich.

Beispiel: Der Farbton innerhalb eines Gerätekastens wird von hellblau auf hellgrau umgestellt (Es gibt keine Vorgaben zum Farbton).

**Abweichung deutlich:** Die Abweichung ist eindeutig und maßgeblich, eine Auswirkung auf den Betrachtungsgegenstand ist vorhanden, zur Berücksichtigung der Abweichung an dem Betrachtungsgegenstand sind keine prinzipiellen Änderungen erforderlich.

Beispiel: Ein Energieverzehrelement wird für einen moderat höheren Energieverzehr ausgelegt, die Wirkprinzipien bleiben erhalten; das Bauteil ist modifiziert.

**Abweichung grundlegend:** Die Abweichung ist fundamental, eine Auswirkung auf den Betrachtungsgegenstand ist vorhanden, zur Berücksichtigung der Abweichung an dem Betrachtungsgegenstand sind prinzipielle Änderungen erforderlich.

Beispiel: Die Energie wird durch ein anderes Wirkprinzip übertragen (elektrisch anstelle pneumatisch), andere Bauteile müssen eingesetzt werden.

### Anforderung

Qualitative und/oder quantitative Festlegung von Eigenschaften oder Bedingungen für ein Produkt, dabei lassen sich für Anforderungen unterschiedliche Gewichtungen festlegen [VDI 2221].

### Bauelement

Zusammengefasste Bauelemente ergeben eine [abgeleitet aus EN 15 380-2].

### Bauelementstruktur

Funktionsstrukturen werden durch Wirkstrukturen umgesetzt – also durch physikalische, chemische oder andere Effekte sowie deren Struktur. Die Wirkstrukturen bestimmen die Bauelemente, Teile oder Komponenten, mit denen sich die Wirk- und die Funktionsstrukturen realisieren lassen. Mehrere Bauelemente können zu Bauelementstrukturen zusammengefasst werden. Funktionen werden durch Bauelemente oder Bauelementstrukturen umgesetzt.

### Baugruppe

Zusammenfassung von Bauelementen zu einer noch nicht selbständig verwendbaren Einheit [EN 15 380-2].

### Bauteil

Ein eindeutig bestimmbares Produkt, das für einen bestimmten Planungs- und Steuerungszweck als unteilbar angesehen wird und/oder das nicht zerlegt werden kann, ohne es zu zerstören [EN 15 380-2].

### Bezugssystem

Das Bezugssystem stellt das System dar, mit welchem etwas verglichen werden soll. Das Neusystem wird mit dem Bezugssystem verglichen.

**Black Box**

Darstellung eines Systems, das Funktionen ausführt, nur durch Input und Output.

**Einsatzreifegrad**

Der Einsatzreifegrad bewertet den Erfüllungsgrad der Funktionstüchtigkeit eines abgegrenzten Systems. Er legt den Fokus auf die Erfüllung der Anforderungen, die an das System gestellt sind: Er beschreibt, was dieses System leistet.

**Entwicklung**

Auseinandersetzung mit neuen Erkenntnissen und deren Anwendung. Schaffung von neuen Produkten durch gezielte und methodische Überlegungen, Versuche und Konstruktionen.

**Funktion**

*Für diesen Begriff gibt es verschiedene Ausprägungen einer Definition. Für die Anwendung des QE-Leitfadens ist die folgende Definition in Anlehnung an die EN 15 380-4 zu nutzen:*

Eine Funktion, ausgeführt durch technische Mittel und/oder Menschen, überträgt (als Black Box betrachtet) Eingangsparameter (Werkstoff, Energie, Informationen) in zielorientierte Ausgangsparameter (Werkstoff, Energie, Informationen). Funktionen lassen sich durch ein Substantiv und ein Verb beschreiben (Energie wandeln, Zugang ermöglichen). Fragestellungen wie „Was ist der Zweck?“ oder „Was bewirkt das System?“ führen zur Ermittlung der Funktion.

**Funktionale Anforderung**

Drückt die spezielle Forderung oder Fähigkeit einer Funktion der funktionalen Gliederungsstruktur (Functional Break-Down Structure, FBS) aus.

Anmerkung: Funktionale Anforderungen und Anwendungsfälle leiten sich in der Regel zuerst von den Fahrgästen bzw. zu transportierenden Gütern/Zuladung und den Betreiberwünschen ab. Im späteren Entwicklungsprozess kommen funktionale Anforderungen der Einrichter und Lieferanten hinzu. Sie drücken die Anforderungen an eine gewisse in der FBS beschriebene Funktionalität aus – etwa in Bezug auf Interoperabilität mit anderen Funktionen, Sicherheit, Betrieb, Funktion/Verhalten oder funktionale Architektur/Konstruktionsbeschränkungen. Die funktionale Kennzeichnung wird normalerweise noch genauer durch detaillierte Eigenschaften angegeben, die mehr Informationen bezüglich Zuverlässigkeit, Verfügbarkeit, Leistungsvermögen, Qualität, Dokumentation, Eintritts- und Austrittsdaten sowie Echtzeitverhalten liefern. Diese höherliegenden Funktionsziele, die für Umgebungsbedingungen, Auslegungsmerkmale sowie ausgewählte Zielgruppen und Zielobjekte herausgestellt werden, sind „Anforderungen an eine Funktion“ [EN 15 380-4].

**Gesamtfunktion**

Gesamtheit aller Funktionen, die ein Produkt verwirklicht oder verwirklichen soll. Die Gesamtfunktion kann in Teilfunktionen aufgegliedert werden. Die Gesamtfunktion wird aus der Aufgabenstellung abgeleitet; sie erfüllt die Gesamtaufgabe des Produkts [VDI 2221].

**Hauptfunktion**

Maßgebliche Funktion eines Produkts oder einer [EN 15 380-2].

Funktion, die einen Hauptzweck eines Produkts beschreibt [VDI 2221].

**Integration**

Bezieht sich auf die Interaktion von Systemen untereinander.

**Integrationsreifegrad**

Der Integrationsreifegrad bewertet den Erfüllungsgrad der Funktionstüchtigkeit des Zusammenwirkens mehrerer Systeme. Er gibt den Status eines Systems gegenüber dem übergeordneten System an: Erfüllt es alle Anforderungen, um in ein übergeordnetes System integriert zu werden und in dieser Umgebung seine Anforderungen zu erfüllen?

**Nebenfunktion**

Funktion, die nicht Hauptfunktion ist. Eine Teilfunktion eines Produkts kann, bezogen auf das Produkt, Nebenfunktion sein. Bezogen auf den Teil des Produkts, in dem diese Teilfunktion vorkommt, kann sie Hauptfunktion sein [VDI 2221].

**Neusystem**

Das Neusystem ist das in Bezug auf die Anforderungen neu zu entwickelnde Ergebnis bzw. Produkt.

**Produkt**

Gepantes oder erzielttes Arbeitsergebnis [EN 15 380-5].

Das Produkt erfüllt die Funktion und setzt sich aus Produktgruppen zusammen [EN 15 380-2].

**Produktgruppe**

Eine Produktgruppe erfüllt die Funktion einer oder eines Bauteils.

**Produktstruktur**

Die Produktstruktur ergibt sich aus der physikalischen Umsetzung der Funktionsstruktur.

**Quality Engineering**

Dabei handelt es sich um Qualitätstechniken zur qualitativen Absicherung einer Produktentwicklung. Quality Engineering Methoden dienen der Definition, Überwachung und Steuerung der Konformität von entwickelten Produkten mit den Anforderungen sowie zur Ermittlung des Qualitätssicherungsbedarfs.

**Randbedingung**

Unbeeinflussbare Bedingung, die als vorgegebene Eigenschaft berücksichtigt werden muss [EN 15 380-5].

**Reifegrad**

Ein Reifegrad beschreibt die Reife eines Betrachtungsfeldes hinsichtlich einer bestimmten Methode oder eines Handlungs- bzw. Führungsmodells. Durch ein unterschiedliches Maß an Übereinstimmung zwischen den definierten Kriterien (entscheidungsrelevante Merkmale) und einem Erfüllungsgrad der Kriterien ergeben sich verschiedene Grade an Reife. Jedem dieser Reifegrade werden eine oder mehrere Anforderungen zugeordnet.

Ein Reifegrad gilt nur dann als erreicht, wenn sowohl die dort als auch die in der vorhergehenden Stufe beschriebenen Kriterien nachweislich erreicht werden. Die Reifegrade bauen dementsprechend aufeinander auf [AHL2005].

### Referenzprozess

Der Referenzprozess stellt den idealisierten Prozess dar und dient als Vergleichsgrundlage.

### Subsystem

Ein Schienenfahrzeug wird aus Subsystemen aufgebaut.

Anmerkung: EN 15 380-5 definiert zehn Hauptsysteme, auch als Systeme 1. Ebene bezeichnet.

Die Hauptsysteme setzen sich aus Subsystemen der 2. Ebene zusammen. Im Leitfaden wird der Begriff „Subsystem“ mit „Hauptsystem/System 1. Ebene“ der EN 15 380-5 gleichgesetzt.

### Systemebene

Ebene gruppierter Systeme [EN 15 380-5].

### System

Systeme führen Funktionen aus [VDI 2221].

Gesamtheit miteinander in Verbindung stehender Objekte, die in einem bestimmten Zusammenhang als Ganzes gesehen und als von ihrer Umgebung abgegrenzt betrachtet werden [EN 15 380-5].

Anmerkung 1 zum Begriff: Ein System wird im Allgemeinen hinsichtlich seiner Zielsetzung, z.B. der Ausführung einer bestimmten Funktion, definiert.

Anmerkung 2 zum Begriff: Beispiele für ein System: Antriebssystem, Wasserversorgungssystem, Stereosystem, Computer.

Anmerkung 3 zum Begriff: Das System wird als von der Umgebung und anderen äußeren Systemen durch eine gedachte Hüllfläche abgegrenzt betrachtet. Sie durchschneidet die Verbindungen zwischen diesen äußeren Systemen und dem betrachteten System.

### Teilfunktion

Jede Funktion, die sich durch Aufteilung einer übergeordneten Funktion gewinnen lässt. Teilfunktionen können Hauptfunktionen und Nebenfunktionen sein. Teilfunktionen lassen sich hierarchisch gliedern [VDI 2221].

### Wirkprinzip

Das Wirkprinzip bezeichnet den Zusammenhang von physikalischem Effekt sowie geometrischen und stofflichen Merkmalen (Wirkgeometrie, Wirkbewegung und Werkstoff). Es lässt das Prinzip der Lösung zur Erfüllung einer Teilfunktion erkennen [VDI 2206].

## Literaturverzeichnis

[AHL 2005] Ahlemann: 2005 Ahlemann, F.; Schroeder, C.; Teuteberg, F.: Kompetenz- und Reifegradmodelle für das Projektmanagement. In: Ahlemann, F.; Teuteberg, F. (Hrsg.): ISPRI-Arbeitsbericht Nr. 01/2005. Osnabrück: ISPRI – Forschungszentrum für Informationssysteme in Projekt- und Innovationsnetzwerken, 2005.

[AKK 2013] Akkasoglu: 2013 Methodik zur Konzeption und Applikation anwendungsspezifischer Reifegradmodelle unter Berücksichtigung der Informationsunsicherheit.

[AST 2008] ASTRIUM / DIN / DLR: 2008 Abschlussbericht zum INS 224 Projekt: Risikokontrollierte Anwendung von Innovation & technologischem Fortschritt – Standardisierte Entscheidungshilfen zur Reifegradbewertung im Produkt – Lebenszyklus – Machbarkeitsstudie.

[BUN 2010] Bundesministerium Verkehr, Bau, Stadtentwicklung: 2010 Handbuch Eisenbahnfahrzeuge, Leitfaden für Herstellung und Zulassung.

[EN 15 380] EN 15 380-1/-2/-3/-4/-5 Bahnanwendungen – Kennzeichnungssystematik für Schienenfahrzeuge – Teil 1: Grundlagen (2006), Teil 2: Produktgruppen(2006), Teil 3: Kennzeichnung von Aufstellungs- und Einbauorten (2006), Teil 4: Funktionsgruppen (2013), Teil 5: Systemstruktur (2014).

[VDI 2206] VDI 2206: 2004-06 Entwicklungsmethodik für mechatronische Systeme.

[VDI 2221] VDI 2221: 1993-05 Methodik zum Entwickeln und Konstruieren technischer Systeme und Produkte, Berlin: Beuth Verlag.

[VDI 2803] VDI 2803: 1996 Funktionenanalyse Grundlagen und Methode.

## Abbildungsverzeichnis

|          |  |    |
|----------|--|----|
| Abb. 1:  | QE-Vorgehensmodell   | 9  |
| Abb. 2:  | Prozessschritte des QE-Vorgehensmodells  | 10 |
| Abb. 3:  | Generischer Referenzprozess Produktentwicklungs-Prozess  | 13 |
| Abb. 4:  | Prinzipdarstellung des Produktentwicklungs-Prozesses (PEP)   |    |
| Abb. 5:  | Die Kaskadierung innerhalb der Lieferkette   | 16 |
| Abb. 6:  | Das Prinzip von Reifegradmodellen [AKK2013]  | 17 |
| Abb. 7:  | Kurzbeschreibung von Einsatz- und Integrationsreife  |    |
| Abb. 8:  | Die Abgrenzung von Einsatz- und Integrationsreife (ERG / IRG)  | 20 |
| Abb. 9:  | Prinzipdarstellung zur Bestimmung der Reifegradstufen  |    |
| Abb. 10: | Analyse aus Funktions- und Bauelementsicht. Die Produktstruktur ergibt sich aus der physikalischen Umsetzung der Funktionsstruktur | 28 |
| Abb. 11: | Die Gliederungspunkte der Checklisten  | 29 |
| Abb. 12: | Prinzipdarstellung nicht-funktionale Checkliste  | 30 |
| Abb. 13: | Prinzipdarstellung der funktionalen Checkliste – Beispiel  | 33 |
| Abb. 14: | Festlegen von QE-Maßnahmen in Abhängigkeit von der Abweichung (Phase und Kategorie)  | 35 |
| Abb. 15: | Empfehlung geeigneter QE-Methoden  | 36 |
| Abb. 16: | Reifegrade der Realisierung der Hauptfunktionen durch Bauelementstrukturen   | 38 |
| Abb. 17: | Ablaufschema zur Anwendung des QE-Vorgehensmodells, gezeigt am Beispiel eines Kundenprojektes                                      | 39 |
| Abb. 18: | Ablaufschema und Anwendung der Checklisten bei der Anwendung des QE-Vorgehensmodells an einem Kundenprojekt                        | 40 |
| Abb. 19: | Vorgehensweise zur Bestimmung der Abweichungen zwischen einem zu analysierenden Neu-System und einem schon erprobten Bezugssystem  | 43 |
| Abb. 20: | Ermittlung und Abgleich der Funktionsstrukturen mit den Funktionen, die in EN 15 380-4 systemspezifisch beschrieben sind           | 44 |
| Abb. 21: | Vorgehensweise zur Bestimmung der Reifegrade auf Basis der Abfrage-Matrix  | 46 |
| Abb. 22: | QE-Maßnahmenplan – am Beispiel eines Türsystems  | 48 |

## Haftungsausschluss

Dieser Leitfaden stellt einen Standard als Empfehlung dar und steht jedermann frei zur Anwendung. Unbenommen der Ausgestaltung des Leitfadens als Empfehlung steht es den Beteiligten frei, sich in gegenseitigen Vereinbarungen verbindlich auf diesen Leitfaden zu beziehen.

Kommt der Leitfaden zur Anwendung, sind die Beteiligten für eine korrekte Anwendung und Umsetzung der Empfehlungen verantwortlich. Durch die Anwendung des Leitfadens wird die Verantwortung für das eigene Handeln nicht reduziert. Durch die Anwendung entzieht man sich nicht rechtlichen oder behördlichen Anforderungen.

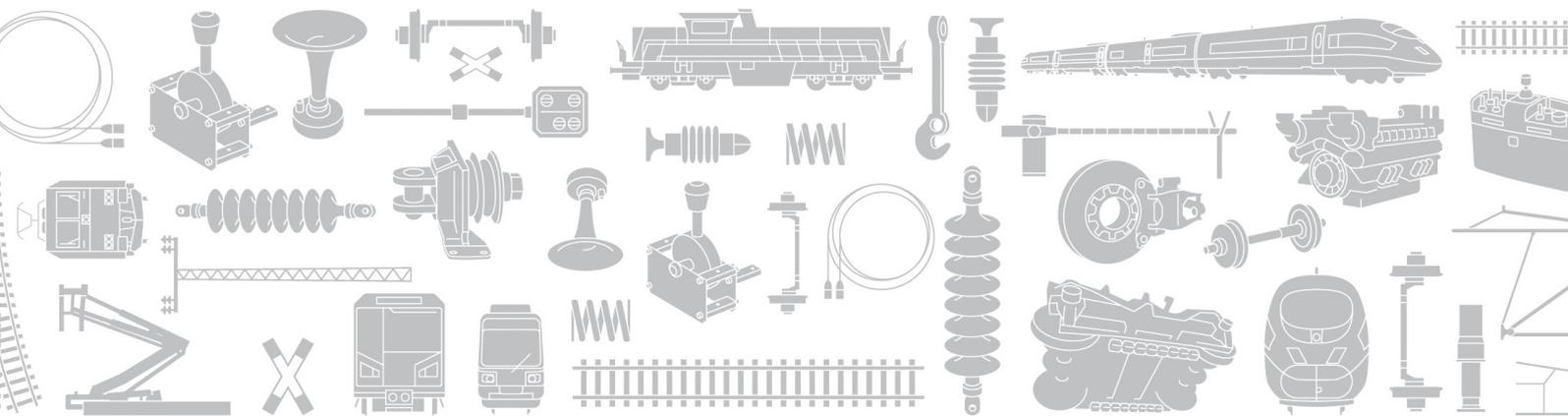
Der Herausgeber übernimmt keine Gewähr für die Aktualität, Korrektheit, Vollständigkeit oder Qualität der nachfolgenden Empfehlungen. Haftungsansprüche gegen den Herausgeber, welche sich auf Schäden beziehen, die durch die Anwendung dieses Leitfadens verursacht wurden, sind ausgeschlossen.

Der Leitfaden wurde nach bestem Wissen und Gewissen erarbeitet. Sollte dennoch ein Anwender auf Fehler oder auf eine Aussage stoßen, die Raum für unterschiedliche Interpretationen bietet, bitten wir um eine Mitteilung an den Herausgeber.

### Die an der Erarbeitung beteiligten Unternehmen können über folgende Ansprechpartner kontaktiert werden:

|                          |  |
|--------------------------|--|
| Sebastian Bartels        | sebastian.bartels@deutschebahn.com             |
| Dr. Ben Boese            | ben.boese@transport.alstom.com                 |
| Stefan Brecht            | stefan.brecht@bode-kassel.com                  |
| Sascha Ermeling          | sascha.ermeling@knorr-bremse.com               |
| Janine Friedl            | janine.friedl@transport.alstom.com             |
| Christoph Heine          | christoph.heine@knorr-bremse.com               |
| Martin Jessen            | martin.jessen@de.transport.bombardier.com      |
| Angela König             | angela.koenig@deutschebahn.com                 |
| Dr. Matthias Müller      | matthias.ma.mueller@deutschebahn.com           |
| Dr. Markus Nasshan       | markus.nasshan@siemens.com                     |
| Dr. Alexander Orellano   | alexander.orellano@de.transport.bombardier.com |
| Reinhard Otto            | reinhard.otto@deutschebahn.com                 |
| Martin Redhardt          | martin.redhardt@de.transport.bombardier.com    |
| Prof. Dr. Ulrich Rudolph | u.rudolph@htw-berlin.de                        |
| Marcus Schmid            | marcus.schmid@voith.com                        |
| Norman Schulz            | norman.schulz@stadlerrail.de                   |
| Markus Schulze           | markus.schulze@stadlerrail.de                  |
| Stephan Schwandt         | stephan.schwandt@stadlerrail.de                |
| Dominik Weidtmann        | dominik.weidtmann@transport.alstom.com         |
| Axel Weinknecht          | axel.weinknecht@deutschebahn.com               |





**Verband der Bahnindustrie in  
Deutschland (VDB) e. V.**

Jägerstraße 65  
10117 Berlin-Mitte

Telefon: + 49 (0) 30 – 20 62 89 – 0  
Fax: + 49 (0) 30 – 20 62 89 – 50

E-Mail: [info@bahnindustrie.info](mailto:info@bahnindustrie.info)  
Internet: [www.bahnindustrie.info](http://www.bahnindustrie.info)

Stand: September 2015