

DIN EN 16603-11

ICS 49.140

Einsprüche bis 2018-08-08
Vorgesehen als Ersatz für
DIN ISO 16290:2016-09

Entwurf

**Raumfahrttechnik –
Definition des Technologie-Reifegrades (TRL) und der
Beurteilungskriterien (ISO 16290:2013, modifiziert);
Deutsche und Englische Fassung prEN 16603-11:2018**

Space engineering –

Definition of the Technology Readiness Levels (TRLs) and their criteria of assessment
(ISO 16290:2013, modified);

German and English version prEN 16603-11:2018

Systèmes spatiaux –

Definition des Niveaux de Maturité de la Technologie (NMT) et de leurs critères d'évaluation
(ISO 16290:2013, modifiée);

Version allemande et anglaise prEN 16603-11:2018

Anwendungswarnvermerk

Dieser Norm-Entwurf mit Erscheinungsdatum 2018-06-08 wird der Öffentlichkeit zur Prüfung und
Stellungnahme vorgelegt.

Weil die beabsichtigte Norm von der vorliegenden Fassung abweichen kann, ist die Anwendung dieses Entwurfs
besonders zu vereinbaren.

Stellungnahmen werden erbeten

- vorzugsweise online im Norm-Entwurfs-Portal von DIN unter www.din.de/go/entwuerfe bzw. für Norm-Entwürfe der DKE auch im Norm-Entwurfs-Portal der DKE unter www.entwuerfe.normenbibliothek.de, sofern dort wiedergegeben;
- oder als Datei per E-Mail an nl@din.de möglichst in Form einer Tabelle. Die Vorlage dieser Tabelle kann im Internet unter www.din.de/go/stellungnahmen-norm-entwuerfe oder für Stellungnahmen zu Norm-Entwürfen der DKE unter www.dke.de/stellungnahme abgerufen werden;
- oder in Papierform an den DIN-Normenausschuss Luft- und Raumfahrt (NL), 10772 Berlin, Burggrafenstr. 6, 10787 Berlin.

Die Empfänger dieses Norm-Entwurfs werden gebeten, mit ihren Kommentaren jegliche relevanten
Patentrechte, die sie kennen, mitzuteilen und unterstützende Dokumentationen zur Verfügung zu stellen.

Gesamtumfang 41 Seiten

DIN-Normenausschuss Luft- und Raumfahrt (NL)

Nationales Vorwort

Dieses Dokument (prEN 16603-11:2018) wurde vom Technischen Komitee CEN/TC 5 „Raumfahrt“ erarbeitet, dessen Sekretariat von DIN (Deutschland) gehalten wird.

Das zuständige deutsche Normungsgremium ist der Arbeitsausschuss NA 131-06-02 AA „Interoperabilität von Informations-, Kommunikations- und Navigationssysteme“ im DIN-Normenausschuss Luft- und Raumfahrt (NL).

Um Zweifelsfälle in der Übersetzung auszuschließen, ist die englische Originalfassung beigelegt. Die Nutzungsbedingungen für den deutschen Text des Norm-Entwurfes gelten gleichermaßen auch für den englischen Text.

Änderungen

Gegenüber DIN ISO 16290:2016-09 wurden folgende Änderungen vorgenommen:

- a) es wurden zusätzliche Begriffe und ein Unterabschnitt mit Abkürzungen in Abschnitt 2 aufgenommen, die Nummerierung wurde geändert;
- b) mit Abschnitt 5 „TRL-Anforderungen“ wurden die Besonderheiten der ECSS-Übernahmemitteilung ECSS-E-AS-11C „Space engineering — Adoption Notice of ISO 16290, Space systems — Definition of the Technology Readiness Levels (TRLs) and their criteria of assessment“ aufgenommen.

Raumfahrttechnik — Definition des Technologie-Reifegrades (TRL) und der Beurteilungskriterien (ISO 16290:2013, modifiziert)

Systèmes spatiaux — Definition des Niveaux de Maturité de la Technologie (NMT) et de leurs critères d'évaluation (ISO 16290:2013, modifiée)

Space engineering — Definition of the Technology Readiness Levels (TRLs) and their criteria of assessment (ISO 16290:2013, modified)

ICS:

Deskriptoren

Dokument-Typ: Europäische Norm

Dokument-Untertyp:

Dokument-Stage: CEN-Umfrage

Dokument-Sprache: D

STD Version 2.9d

Inhalt

	Seite
Europäisches Vorwort	3
Einleitung	4
1 Anwendungsbereich	5
2 Begriffe und Abkürzungen	5
2.1 Begriffe	5
2.2 Abkürzungen	9
3 Technologie-Reifegrade (TRL)	9
3.1 Allgemeines	9
3.2 TRL 1 — Grundlagen erfasst und dargelegt	11
3.2.1 Beschreibung	11
3.2.2 Beispiele	11
3.3 TRL 2 — Technologiekonzept und/oder Technologieanwendung formuliert	11
3.3.1 Beschreibung	11
3.3.2 Beispiele	11
3.4 TRL 3 — Analytisches und experimentelles Nachweiskonzept der kritischen Funktion und/oder der Eigenschaft	12
3.4.1 Beschreibung	12
3.4.2 Beispiele	12
3.5 TRL 4 — Verifizierung der Komponente und/oder des Funktionsmodells im Laborumfeld	12
3.5.1 Beschreibung	12
3.5.2 Beispiele	13
3.6 TRL 5 — Verifizierung der kritischen Funktionen der Komponente und/oder des Funktionsmodells in einer relevanten Umgebung	13
3.6.1 Beschreibung	13
3.6.2 Beispiele	14
3.7 TRL 6 — Modelldemonstration der kritischen Funktionen des Elements in einer relevanten Umgebung	14
3.7.1 Beschreibung	14
3.7.2 Beispiele	15
3.8 TRL 7 — Modelldemonstration der Leistung des Elements in der Einsatzumgebung	15
3.8.1 Beschreibung	15
3.8.2 Beispiele	16
3.9 TRL 8 — Ist-System vollständig und abgenommen für den Flug („flugtauglich“)	16
3.9.1 Beschreibung	16
3.9.2 Beispiele	16
3.10 TRL 9 — Ist-System „flugerprobt“ durch erfolgreichen Missionsbetrieb	17
3.10.1 Beschreibung	17
3.10.2 Beispiele	17
4 Zusammenfassung	17
5 Anforderungen an den Technologie-Reifegrad (TRL)	19
Literaturhinweise	20

Europäisches Vorwort

Dieses Dokument (prEN 16603-11:2018) wurde vom Technischen Komitee CEN/TC 5 „Raumfahrt“ erarbeitet, dessen Sekretariat von DIN (Deutschland) gehalten wird.

Der Text der Internationalen Norm ISO 16290:2013 wurde von CEN/CENELEC als Europäische Norm mit den beschlossenen allgemeinen Abänderungen übernommen.

Dieses Dokument (prEN 16603-11:2018) basiert auf ISO 16290:2013 unter Berücksichtigung der besonderen Festlegungen der ECSS Adoption Notice ECSS-E-AS-11C „Space engineering — Adoption Notice of ISO 16290, Space systems — Definition of the Technology Readiness Levels (TRLs) and their criteria of assessment“. Diese besonderen Festlegungen sind in Abschnitt 5 dieser Norm angegeben.

Dieses Dokument ist derzeit zur CEN-Umfrage vorgelegt.

Dieses Dokument wurde speziell zur Behandlung von Raumfahrtsystemen erarbeitet und hat daher Vorrang vor jeglicher Europäischer Norm, da es denselben Anwendungsbereich hat, jedoch über einen größeren Geltungsbereich (z. B. Luft- und Raumfahrt) verfügt.

Einleitung

Technologie-Reifegrade (en: Technology Readiness Levels, TRL) dienen zur Quantifizierung der technologischen Entwicklungsreife eines Elements, das zur Verwendung in einer Mission vorgesehen ist. Eine ausgereifte Technologie entspricht dem höchsten TRL, TRL 9 genannt, oder flugerprobten Elementen.

Die TRL-Skala kann sich in vielen Bereichen als nützlich erweisen, einschließlich, jedoch ohne Beschränkung, auf folgende Beispiele:

- a) zur frühzeitigen Kontrolle grundlegender oder spezifischer technologischer Entwicklungen im Rahmen einer zukünftigen Mission oder Missionsfamilie;
- b) zur Bereitstellung des technologischen Entwicklungsstandes eines zukünftigen Projekts, als Eingabe zum Entscheidungsprozess der Projektimplementierung;
- c) in manchen Fällen zur Überwachung des technologischen Fortschritts während der Entwicklung.

Die Beschreibungen der einzelnen TRL finden sich in Abschnitt 3 dieser Norm. Die zur Beurteilung durch die einzelnen TRL erforderlichen erreichten Leistungen sind in der zusammenfassenden Tabelle in Abschnitt 4 angegeben. Einzelheiten des Beurteilungsverfahrens durch TRL sind durch die entsprechende Organisation oder das Institut festzulegen, die/das bei dieser Unternehmung federführend ist.

Das Ursprungsdokument (ISO 16290:2013) dieser Europäischen Norm wurde unter Berücksichtigung bisher verfügbarer Dokumente zu diesem Themenbereich erstellt, im Besonderen Veröffentlichungen der US-Bundesbehörde für Luft- und Raumfahrt (en: National Aeronautics Space Administration, NASA), dem US-Verteidigungsministerium (en: Department of Defense, DoD) und europäischen Raumfahrtinstitutionen (DLR, CNES und ESA).

1 Anwendungsbereich

Diese Europäische Norm legt Technologie-Reifegrade (TRL) fest. In erster Linie ist sie auf die Hardware von Raumfahrtssystemen anwendbar, auch wenn die Festlegungen in einem weiteren Zusammenhang in vielen Fällen Anwendung finden könnten.

Die Festlegung der TRL liefert die für jeden einzelnen Grad zu erfüllenden Bedingungen und ermöglicht so eine genaue Beurteilung des TRL.

2 Begriffe und Abkürzungen

2.1 Begriffe

Für die Anwendung dieses Dokuments gelten die folgenden Begriffe.

2.1.1

Abnahme-Review

Tätigkeit, die ausgeführt wird, um dem Kunden die Abnahmeerklärung für ein Produkt zu ermöglichen

2.1.2

Funktionsmodell

physisches **Modell** (2.1.12), gestaltet zur Prüfung der Funktionalität und zugeschnitten auf die Erfordernisse des Demonstrationsnachweises

2.1.3

Review des Ergebnisses der Inbetriebnahme

Tätigkeit, die ausgeführt wird, um die Bereitschaft eines Produkts für den vorgesehenen Betrieb und Einsatz erklären zu können

Anmerkung 1 zum Begriff: Das Review des Ergebnisses der Inbetriebnahme wird am Ende der Inbetriebnahme als Teil der Verifizierungstätigkeiten in der Stufe „im Orbit“ vorgenommen.

2.1.4

kritische Funktion eines Elements

vorgeschriebene Funktion, die eine besondere Verifizierung der **Technologie** (2.1.22) erfordert

Anmerkung 1 zum Begriff: Diese Situation tritt auf, wenn entweder das Element selbst oder Bestandteile des Elements neu sind und deshalb nicht aufgrund vorhergehender Umsetzungen beurteilt werden können, oder wenn das Element in einem neuen Zusammenhang verwendet wird, wie z. B. unter neuen Umgebungsbedingungen oder mit einem neuen, noch nicht demonstrierten Verwendungszweck.

Anmerkung 2 zum Begriff: Im Rahmen dieser Norm bezieht sich „kritische Funktion“ immer auf „kritische technologische Funktion“ und sollte nicht mit dem Begriff „sicherheitskritische Funktion“ verwechselt werden.

Anmerkung 3 zum Begriff: Im Rahmen dieser Norm bezieht sich „kritische Funktion“ immer auf „kritische Funktion eines Elements“.

2.1.5

kritischer Teil eines Elements

Teil eines **Elements** (2.1.6), der mit einer kritischen Funktion in Zusammenhang steht

Anmerkung 1 zum Begriff: Der kritische Teil eines Elements kann einen Teilbereich des Elements darstellen und die technologische Verifikation der kritischen Funktion wird möglicherweise nur durch besondere Prüfungen erreicht, die ausschließlich an dem kritischen Teil durchgeführt werden.

Anmerkung 2 zum Begriff: Im Rahmen dieser Norm bezieht sich „kritischer Teil“ immer auf „kritischer technologischer Teil“.

Anmerkung 3 zum Begriff: Im Rahmen dieser Norm bezieht sich „kritischer Teil“ immer auf „kritischer Teil eines Elements“.

2.1.6

Element

Einheit oder Objekt, die/das für eine Beurteilung des Technologie-Reifegrades unter Betrachtung steht

Anmerkung 1 zum Begriff: Das Element kann ein Bauteil, ein Teil der Ausrüstung, ein Subsystem oder ein System sein.

2.1.7

Funktion des Elements

beabsichtigte Wirkung des **Elements** (2.1.6)

2.1.8

funktionale Leistungsanforderungen

Teilbereich der **Leistungsanforderungen** (2.1.16) an ein **Element** (2.1.6), der die **Funktionen des Elements** (2.1.7) festlegt

Anmerkung 1 zum Begriff: Die funktionalen Leistungsanforderungen schließen nicht notwendigerweise Anforderungen mit ein, die sich aus der **Einsatzumgebung** (2.1.13) ergeben.

2.1.9

Laborumfeld

kontrollierte Umgebung, die für den Demonstrationsnachweis von Grundprinzipien und Funktionsverhalten benötigt wird

Anmerkung 1 zum Begriff: Das Laborumfeld entspricht nicht zwingend der **Einsatzumgebung** (2.1.13).

2.1.10

ausgereifte Technologie

Technologie, die durch eine Reihe von reproduzierbaren **Prozessen** (2.1.20) bezüglich Auslegung, Herstellung, Prüfung und Betrieb eines **Elements** (2.1.6) zur Erfüllung von **Leistungsanforderungen** (2.1.16) in der tatsächlichen **Einsatzumgebung** (2.1.13) festgelegt ist

2.1.11

Missionsbetrieb

zur Missionserfüllung festgelegte Abfolge von Ereignissen

2.1.12

Modell

physische oder abstrakte Darstellung der relevanten Aspekte eines **Elements** (2.1.6) als Grundlage für Berechnungen, Vorhersagen, Prüfungen oder weitere Bewertungen

Anmerkung 1 zum Begriff: Der Begriff „Modell“ kann auch zur Identifizierung bestimmter Produktzustände benutzt werden, wie beispielsweise Flugmodell.

Anmerkung 2 zum Begriff: Nach ISO 10795, Begriff 1.141.

2.1.13

Einsatzumgebung

Reihe von natürlichen und induzierten Umgebungsbedingungen, die das **Element** (2.1.6) von seiner Konstruktionsfestlegung bis zum Betrieb einschränken

BEISPIEL 1 Natürliche Bedingungen: Wetter, Klima, Seewetterbedingungen, Bodenbeschaffenheit, Vegetation, Staub, Licht, Strahlung, usw.

BEISPIEL 2 Induzierte Bedingungen: Elektromagnetische Interferenzen, Hitze, Vibration, Verschmutzung, Kontamination, usw.

2.1.14

betriebstechnische Leistungsanforderungen

Teilbereich der **Leistungsanforderungen** (2.1.16) an ein **Element** (2.1.6), der die **Funktionen des Elements** (2.1.7) in seiner **Einsatzumgebung** (2.1.13) festlegt

Anmerkung 1 zum Begriff: Die betriebstechnischen Leistungsanforderungen werden durch Technische Spezifikationen formuliert, die alle Engineering-Bereiche abdecken. Sie werden durch den erfolgreichen Orbitalbetrieb validiert und können auf dem Boden durch Erhebungen von Verifizierungen des Elements, die den Einsatzfall umfassend abdecken, überprüft werden.

Anmerkung 2 zum Begriff: Die vollständigen Leistungsanforderungen eines Elements setzen sich aus den betriebstechnischen Leistungsanforderungen und den Leistungsanforderungen für die Verwendung des Elements auf dem Boden zusammen.

2.1.15

Leistung

Aspekte eines **Elements** (2.1.6), die aus seinem Betrieb oder seiner Funktion beobachtet oder gemessen werden

Anmerkung 1 zum Begriff: Im Allgemeinen sind diese Aspekte quantifiziert.

Anmerkung 2 zum Begriff: Nach ISO 10795, Begriff 1.155.

2.1.16

Leistungsanforderungen

Reihe von Parametern, die durch das **Element** (2.1.6) zu erfüllen sind

Anmerkung 1 zum Begriff: Die vollständige Reihe an Leistungsanforderungen beinhaltet zwangsläufig die Umgebungsbedingungen, unter denen das Element verwendet und betrieben wird; demzufolge sind sie mit der/den zu berücksichtigenden Mission(en) genauso verknüpft, wie mit der Umgebung des Systems, in die das Element integriert wird.

2.1.17

Prozess

Satz von in Wechselbeziehung oder Wechselwirkung stehenden Tätigkeiten, der Eingaben in Ergebnisse umwandelt

Anmerkung 1 zum Begriff: Eingaben zu einem Prozess sind im Allgemeinen Ausgaben anderer Prozesse.

Anmerkung 2 zum Begriff: Prozesse innerhalb einer Organisation werden im Allgemeinen unter kontrollierten Bedingungen geplant und durchgeführt, um einen Mehrwert zu erzeugen.

Anmerkung 3 zum Begriff: Ein Prozess, in dem die Konformität des resultierenden Produkts nicht ohne Weiteres wirtschaftlich überprüft werden kann, wird oft als „spezieller Prozess“ bezeichnet.

[QUELLE: ISO 10795, Begriff 1.160]

2.1.18

Qualifikations-Review

Tätigkeit, die ausgeführt wird, um dem Kunden die Qualifizierungserklärung für ein Produkt zu ermöglichen

2.1.19

relevante Umgebung

Mindestteilbereich der **Einsatzumgebung** (2.1.13), erforderlich für den Demonstrationsnachweis der Leistung der **kritischen Funktionen des Elements** (2.1.4) in seiner **Einsatzumgebung** (2.1.13)

2.1.20

reproduzierbarer Prozess

Prozess (2.1.17), der zeitnah wiederholt werden kann

Anmerkung 1 zum Begriff: Reproduzierbare Prozesse sind bei der Definition „ausgereifter Technologie“ von grundlegender Bedeutung und eng mit Durchführbarkeit und Verifizierbarkeit verknüpft.

Anmerkung 2 zum Begriff: Bei einem Element, das „Dank eines Zufalls“ entwickelt wurde, kann auch bei Erfüllung der Anforderungen offensichtlich nicht angegeben werden, dass es auf einer *ausgereiften Technologie* beruht, falls die Möglichkeiten, das Element auf Grundlage eines verlässlichen Zeitplans zu reproduzieren, gering sind. Im Gegenzug dazu führt die Reproduzierbarkeit implizit den Begriff der Zeit in die Definition von ausgereifter Technologie ein. Eine Technologie kann zu einem bestimmten Zeitpunkt als ausgereift erklärt, und zu einem späteren Zeitpunkt auf einen niedrigeren Reifegrad heruntergestuft werden, weil ihre Bestandteile veraltet sind, oder weil die Prozesse eine bestimmte Organisation mit einzigartigen Fähigkeiten erfordern, die nicht mehr vorhanden ist.

2.1.21

Anforderung

Erfordernis oder Erwartung, das oder die festgelegt ist und erfüllt werden muss

Anmerkung 1 zum Begriff: Nach ISO 10795, Begriff 1.190.

2.1.22

Technologie

Anwendung wissenschaftlicher Kenntnisse, Werkzeuge, Techniken, Handwerk, Systeme oder Organisationsmethoden zum Lösen eines Problems oder zum Erreichen eines Ziels

2.1.23

Validierung

Bestätigung durch einen objektiven Nachweis, dass die **Anforderungen** (2.1.21) für einen spezifischen beabsichtigten Gebrauch oder eine spezifische beabsichtigte Anwendung erfüllt worden sind

Anmerkung 1 zum Begriff: Der Begriff „validiert“ wird zur Bezeichnung des entsprechenden Status verwendet.

Anmerkung 2 zum Begriff: Die Validierung kann unter echten oder simulierten Benutzungsbedingungen erfolgen.

Anmerkung 3 zum Begriff: Die Verifizierung darf durch eine Kombination aus Prüfung, Analyse, Demonstration und Inspektion bestimmt werden.

Anmerkung 4 zum Begriff: Wenn das Element validiert ist, so ist bestätigt, dass es fähig ist, seinen vorgesehenen Verwendungszweck in der vorgesehenen **Einsatzumgebung** (2.1.13) zu erfüllen.

Anmerkung 5 zum Begriff: Nach ISO 10795, Begriff 1.228.

2.1.24

Verifizierung

Bestätigung durch Bereitstellung eines objektiven Nachweises, dass spezifische **Anforderungen** (2.1.21) erfüllt worden sind

Anmerkung 1 zum Begriff: Der Begriff „verifiziert“ wird zur Bezeichnung des entsprechenden Status verwendet.

Anmerkung 2 zum Begriff: Bestätigungen können aus Tätigkeiten bestehen wie: Durchführen alternativer Berechnungen; Vergleichen einer neuen Entwicklungsspezifikation mit einer bereits bewährten Entwicklungsspezifikation; Vornehmen von Tests und Demonstrationen; Bewerten der Dokumente, bevor sie herausgegeben werden.

Anmerkung 3 zum Begriff: Die Verifizierung darf durch eine Kombination aus Prüfung, Analyse, Demonstration und Inspektion bestimmt werden.

Anmerkung 4 zum Begriff: Wenn das Element verifiziert ist, so ist bestätigt, dass es die Entwicklungsspezifikationen erfüllt.

Anmerkung 5 zum Begriff: Nach ISO 10795, Begriff 1.229.

2.2 Abkürzungen

Für die Anwendung dieses Dokuments gelten die folgenden Abkürzungen.

Abkürzung	Bedeutung	
AR	Abnahme-Review	(en: Acceptance Review)
CRR	Review des Ergebnisses der Inbetriebnahme	(en: Commissioning Result Review)
QR	Qualifikations-Review	(en: Qualification Review)
TRL	Technologie-Reifegrad	(en: Technology Readiness Level)

3 Technologie-Reifegrade (TRL)

3.1 Allgemeines

Die Technologie eines für eine Anwendung vorgesehenen Elements erreicht den Grad der Ausgereiftheit, entsprechend TRL 9, wenn sie durch eine Reihe reproduzierbarer Prozesse bezüglich Entwicklung, Herstellung, Prüfung und Betrieb des Elements wohldefiniert ist und das Element darüber hinaus eine Reihe von Leistungsanforderungen in der tatsächlichen Einsatzumgebung erfüllt.

Das zu betrachtende Element wird als physischer Teil eines Systems angesehen. Im Allgemeinen sind Systeme in Subsysteme mit möglicherweise mehreren Unterebenen aufgeteilt. Das Element kann ein beliebiger Teil des Systems sein und stellt nicht notwendigerweise ein bestimmtes Subsystem oder eine bestimmte Unterebene dar.

Eine Grundvoraussetzung für eine TRL-Beurteilung ist die Identifizierung des zu beurteilenden Elements. Höhere TRL erfordern zudem die Identifizierung von Leistungsanforderungen und demzufolge Kenntnisse über die Mission und das System, in dem die Verwendung des Elements vorgesehen ist, sowie dessen Einsatzumgebung. Leistungsanforderungen können vorläufiger Natur sein und auf niedrigen TRL mehrere Missionen betreffen, um dann bei höheren Reifegraden zunehmend weiterentwickelt und verifiziert zu werden.

Die TRL-Skala wird in ihrer Gesamtheit auf ein bestimmtes Element angewendet. Demzufolge gibt es bei der Entwicklung von niedrigen zu hohen Reifegraden keine Abstufungen in der Komplexität des Elements.

Höhere TRL implizieren ferner, dass das Element sich in seiner endgültigen Form befindet und für eine Validierung oder Verwendung in ein System integriert wird. Demzufolge darf der TRL eines bestimmten Elements heruntergestuft werden, wenn das gleiche Element innerhalb eines anderen Systems verwendet wird, es sei denn, sämtliche innerhalb des neuen Systems für das Element geltenden Anforderungen an Umgebung und Schnittstellen erweisen sich als gleich oder weniger anspruchsvoll als im ursprünglichen System.

Die TRL-Beurteilung gilt für ein bestimmtes Element zu einem bestimmten Zeitpunkt. Wenn die zum Zeitpunkt der Beurteilung herrschenden Bedingungen keine Gültigkeit mehr besitzen, darf sich die Beurteilung weiterentwickeln. Solche Situationen können zu einer TRL-Neubeurteilung und -Herabstufung führen, vor allem, wenn eine Neuerstellung/Wiederverwendung eines Elements angedacht ist. Dies kann zum Beispiel der Fall sein, wenn veraltete oder nicht mehr verfügbare Elektronik modifiziert werden muss, oder wenn für die Produktion spezifische Fachkenntnisse erforderlich sind, die nicht mehr vorhanden sind.

Die Zeitdauer oder der Aufwand für die Entwicklung von einem TRL zu einem anderen sind technologieabhängig und nicht linear mit der TRL-Skala verknüpft. Die Erfahrung zeigt, dass je nach Element und zu betrachtender Mission erhebliche Unterschiede bezüglich Zeitdauer und Aufwand bestehen können. Deshalb ist die TRL-Skala zwar ein geeignetes Werkzeug zur Beurteilung des Entwicklungsstandes einer Technologie zu einem bestimmten Zeitpunkt, jedoch können mit ihr keine Voraussagen über den erforderlichen Aufwand und die Kosten zur Erreichung des nächsten Reifegrades getroffen werden.

Während der TRL 9 sich auf ausgereifte Technologien bezieht, wird durch niedrigere TRL die Tatsache widerspiegelt, dass eine oder mehrere Bedingungen zum Erreichen einer ausgereiften Technologie noch nicht erfüllt wurden, so z. B.:

- a) die Prozesse für die Herstellung des Elements wurden noch nicht vollständig definiert;
- b) die Anforderungen an die betriebstechnische Leistung wurden noch nicht vollständig definiert;
- c) das Element wurde noch nicht vollständig definiert;
- d) das Element wurde noch nicht gebaut;
- e) die Leistungsanforderungen an das Element wurden noch nicht innerhalb seiner Einsatzumgebung demonstriert.

Wenn das Element ein integriertes System oder Subsystem ist, kann es aus Unterelementen aufgebaut sein, von denen jedes über eine bestimmte Technologie verfügt. In diesem Fall kann der TRL des Elements nicht höher sein, als die TRL der einzelnen Unterelemente.

Für jeden TRL ist der erwartete Stand der Leistungsanforderungen an das Element in den Beschreibungen angegeben.

3.2 TRL 1 — Grundlagen erfasst und dargelegt

3.2.1 Beschreibung

Bestehende wissenschaftliche Forschungen bezüglich der zu beurteilenden Technologie werden anfänglich in die angewandte Forschung und Entwicklung übertragen. Grundlagen werden durch akademische geprägte Forschungen erfasst und dargelegt. Mögliche Anwendungen werden identifiziert, jedoch findet noch keine Festlegung von Leistungsanforderungen statt.

Beim TRL 1 kann noch keine bestimmte Mission mit der Technologie in Verbindung gebracht werden, da Konzepte und/oder Anwendungen erst bei TRL 2 festgelegt werden. Demzufolge dürfen auch die Leistungsanforderungen in dieser Phase der Entwicklung noch nicht definiert werden.

3.2.2 Beispiele

Im Folgenden sind Beispiele für TRL 1 angegeben:

- a) Im Jahre 1895 entdeckte der deutsche Physiker Wilhelm Conrad Röntgen die Röntgenstrahlen.
- b) Im Jahre 1911 entdeckte H. Kamerlingh Onnes das abrupte Verschwinden des elektrischen Widerstandes bestimmter Materialien unterhalb einer charakteristischen Temperatur, und damit die Supraleitung.
- c) Im Oktober 2010 meldeten Forscher die Entdeckung des weltweit zweitgrößten Virus, CroV genannt. Dieses Virus, das marine Einzeller befällt, wird aufgrund der Größe seines Genoms als riesig angesehen — annähernd 730 000 Basenpaare oder Bausteine, mehr als doppelt so groß, wie das größte bekannte „normale“ Virus.

3.3 TRL 2 — Technologiekonzept und/oder Technologieanwendung formuliert

3.3.1 Beschreibung

Sobald die Grundlagen erfasst sind, können praktische Anwendungen erfunden werden. Anwendungen sind spekulativer Natur und es steht möglicherweise kein Beweis oder keine Detailanalyse zur Verfügung, der/die die Annahmen unterstützt.

Beim TRL 2 sind die Leistungsanforderungen an das Element allgemein gehalten und sehr weit gefasst, stimmen aber mit dem formulierten Konzept oder festgelegten Anwendung überein.

3.3.2 Beispiele

Im Folgenden sind Beispiele für TRL 2 angegeben:

- a) Aufgrund ihrer supraleitenden Sprungtemperatur wird die Verwendung von Supraleitern, wie z. B. Aluminium oder Titan, für die Konstruktion von hochempfindlichen Bolometern in Erwägung gezogen. An das Bolometer angekoppelte Energie erhöht die Temperatur des supraleitenden Materials und versetzt es damit weiter in seinen nicht-supraleitenden Zustand, wodurch sich sein elektrischer Widerstand erhöht. Diese Erhöhung des Widerstandes kann verwendet werden, um kleinste Änderungen der Temperatur, und damit der Energie, festzustellen.
- b) Das Konzept der Verwendung des photoelektrischen Effekts zur Konstruktion von Photovoltaik-Anlagen ist formuliert.