

DIN EN 14725



ICS 49.140

**Raumfahrttechnik –
Verifikation;
Deutsche und Englische Fassung EN 14725:2003**

Space engineering –
Verification;
German and English version EN 14725:2003

Ingénierie spatiale –
Vérification;
Version allemande et anglaise EN 14725:2003

Gesamtumfang 296 Seiten

Normenausschuss Luft- und Raumfahrt (NL) im DIN

931 02.1
Documents

Document Sharing Hub

Nationales Vorwort

Die *European Cooperation for Space Standardization (ECSS)*, eine Einrichtung zur Erstellung eines kohärenten, einheitlichen Normenwerkes zur Anwendung in allen europäischen Raumfahrtprojekten, hat am 1996-11-13 vom *Europäischen Komitee für Normung (CEN)* das Mandat (M/237) erhalten, für den CEN-Subsector T02 „Aerospace“ Europäische Normen (EN) auszuarbeiten.

Das ECSS-Dokument „ECSS — E — 10-02A“ wurde in den Gremien des ECSS unter Mitwirkung deutscher Experten erarbeitet und nach Durchlauf der formellen Abstimmung im CEN als Europäische Norm EN 14725:2003 angenommen.

Deutsche Fassung

Raumfahrttechnik —
Verifikation

Space engineering — Verification

Ingénierie spatiale — Vérification

Diese Europäische Norm wurde vom CEN am 1. Oktober 2003 angenommen.

Die CEN-Mitglieder sind gehalten, die CEN/CENELEC-Geschäftsordnung zu erfüllen, in der die Bedingungen festgelegt sind, unter denen dieser Europäischen Norm ohne jede Änderung der Status einer nationalen Norm zu geben ist. Auf dem letzten Stand befindliche Listen dieser nationalen Normen mit ihren bibliographischen Angaben sind beim Management-Zentrum oder bei jedem CEN-Mitglied auf Anfrage erhältlich.

Diese Europäische Norm besteht in drei offiziellen Fassungen (Deutsch, Englisch, Französisch). Eine Fassung in einer anderen Sprache, die von einem CEN-Mitglied in eigener Verantwortung durch Übersetzung in seine Landessprache gemacht und dem Management-Zentrum mitgeteilt worden ist, hat den gleichen Status wie die offiziellen Fassungen.

CEN-Mitglieder sind die nationalen Normungsinstitute von Belgien, Dänemark, Deutschland, Finnland, Frankreich, Griechenland, Irland, Island, Italien, Luxemburg, Malta, Niederlande, Norwegen, Österreich, Portugal, Schweden, Schweiz, der Slowakei, Spanien, der Tschechischen Republik, Ungarn und dem Vereinigten Königreich.



EUROPÄISCHES KOMITEE FÜR NORMUNG
EUROPEAN COMMITTEE FOR STANDARDIZATION
COMITÉ EUROPÉEN DE NORMALISATION

Management-Zentrum: rue de Stassart, 36 B-1050 Brüssel

Inhalt

	Seite
Vorwort.....	10
1 Anwendungsbereich.....	11
2 Normative Verweisungen	11
3 Begriffe und Abkürzungen	12
3.1 Begriffe.....	12
3.1.1 Abnahmestufe	12
3.1.2 Analyse.....	12
3.1.3 Montage.....	12
3.1.4 Stufe „im Orbit“	12
3.1.5 Sichtprüfung	12
3.1.6 Integration.....	12
3.1.7 Modellphilosophie.....	12
3.1.8 Stufe „nach der Landung“	12
3.1.9 Stufe „vor dem Start“	13
3.1.10 Qualifikationsstufe	13
3.1.11 Review des Designs.....	13
3.1.12 Test	13
3.1.13 Verifizierungsebene	13
3.2 Abkürzungen	13
4 Verifizierungsprozess	15
4.1 Einleitung	15
4.2 Ziele der Verifizierung.....	15
4.3 Logik des Verifizierungsprozesses	15
4.3.1 Allgemeines	15
4.3.2 Ablauf des Verifizierungsprozesses	15
4.3.3 Verifizierungsgrundsätze	16
4.3.4 Verifizierungsabschluss.....	16
4.4 Verifizierungsmethoden	17
4.4.1 Allgemeines	17
4.4.2 Test	17
4.4.3 Analyse (A).....	17
4.4.4 Designreview (R)	18
4.4.5 Sichtprüfung	18
4.5 Verifizierungsebenen	18
4.6 Verifizierungsstufen.....	18
4.6.1 Allgemeines	18
4.6.2 Qualifikation.....	19
4.6.3 Abnahme	19
4.6.4 Verifizierung vor dem Start	19
4.6.5 Verifizierung im Orbit.....	19
4.6.6 Verifizierung nach der Landung	20
5 Verifizierungsstrategie	20
5.1 Vorbereitung	20
5.2 Klassifizierung der Anforderungen	20
5.2.1 Anforderungsfeststellung	20
5.2.2 Anforderungsdokumentation.....	20
5.2.3 Anforderungseigenschaften	21
5.2.4 Kritikalität der Anforderungen	21
5.2.5 Anforderungen ohne Nachprüfung	21
5.2.6 Anforderungskategorien	21
5.2.7 Rückverfolgbarkeit von Anforderungen	22
5.2.8 Verifizierungsmatrix.....	22

5.3	Wahl der Verifizierungsmethoden, -ebenen und -stufen	23
5.3.1	Allgemeines	23
5.3.2	Wahl der Verifizierungsmethode	23
5.3.3	Wahl der Verifizierungsebene	23
5.3.4	Wahl der Verifizierungsstufen	23
5.3.5	Weitere Regeln für die Auswahl	23
5.4	Wahl von Modellen	24
5.4.1	Nummer- und Typmodell	24
5.4.2	Modellphilosophie	24
5.4.3	Anwendbarkeit des Modells	25
5.5	Verifizierung durch Test	25
5.5.1	Allgemeines	25
5.5.2	Definition des Testprogramms	25
5.5.3	Integrationsablauf	25
5.5.4	Integrationstests	26
5.5.5	Tests nach erneuter Montage	26
5.5.6	Tests auf Verifizierungsstufen	26
5.5.7	Tests auf Verifizierungsebenen	26
5.5.8	Testmatrizen	26
5.6	Verifizierung durch Analyse	26
5.6.1	Allgemeines	26
5.6.2	Definition des Analyseprogramms	26
5.6.3	Kriterien für die Verifizierungsanalyse	27
5.6.4	Analyse von Verifizierungsstufen	27
5.6.5	Analyse von Verifizierungsebenen	27
5.6.6	Analysematrizen	28
5.7	Verifizierung durch Designreview	28
5.7.1	Allgemeines	28
5.7.2	Designreview-Programm	28
5.7.3	Designreview auf Verifizierungsstufen	28
5.7.4	Designreview auf Verifizierungsebenen	28
5.7.5	Designreview-Matrizen	28
5.8	Verifizierung durch Sichtprüfung	28
5.8.1	Allgemeines	28
5.8.2	Prüfprogramm	29
5.8.3	Prüfung auf Verifizierungsstufen	29
5.8.4	Prüfung auf Verifizierungsebenen	29
5.8.5	Prüfmatrizen	29
5.9	Verifizierung bei Wiederholung des Flugs	29
5.9.1	Verifizierungsprogramm	29
5.9.2	Tätigkeiten	29
6	Durchführung der Verifizierung	30
6.1	Allgemeine Aspekte	30
6.2	Zuständigkeiten	31
6.2.1	Zuständigkeitsfestsetzung	31
6.2.2	Verifizierungskontrollausschuss (VCB)	31
6.2.3	Testbereitschaftsreview (TRR) und Review nach dem Test (PTR)	31
6.2.4	Fehleruntersuchungsausschuss (NRB)	31
6.2.5	Dokumentation der Zuständigkeiten	31
6.3	Verifizierungsplanung	32
6.3.1	Einsetzung von Planungsaktivitäten	32
6.3.2	Planungselemente	32
6.3.3	Verbindung zum Projektlebenszyklus	32
6.3.4	Dokumentation	32

6.4	Werkzeuge	33
6.4.1	Allgemeines	33
6.4.2	Werkzeugvalidierung	33
6.4.3	Bodendienstgeräte (GSE).....	33
6.4.4	Softwarevalidierung (SVF)	35
6.4.5	Simulatoren.....	35
6.4.6	Software für die Verifizierung durch Analyse	35
6.4.7	Einrichtungen und Geräte für Integration und Tests	36
6.5	Durchführung und Kontrolle der Verifizierung	36
6.5.1	Überwachung.....	36
6.5.2	Datenbank	36
6.5.3	Erneute Verifizierung	36
6.5.4	Nachweis der Verifizierung	37
6.5.5	Verifizierungsabschluss.....	37
6.5.6	Eignung von Tests	37
6.5.7	Auswertung von Erfahrungen.....	37
6.6	Dokumentation	37
6.6.1	Dokumentationsschritt	37
6.6.2	Verifizierungsdokumente	39
6.6.3	Sonstige Dokumente	42
Anhang A (normativ) Verifizierungsdokumentation		43
Anhang B (informativ) Leitlinien zur Verifizierung		44
B.1	Leitlinien zur Definition von Modellen und der Modellphilosophie	44
B.1.1	Einleitung	44
B.1.2	Modellbeschreibung	44
B.1.3	Beschreibung der Modellphilosophien.....	48
B.1.4	Hardwarematrix	56
B.2	Besondere Anpassungsregeln	59
B.3	Hinweise für Reviews bei erneuter Verifizierung bei Wiederholung des Fluges	62
B.4	Leitlinien für die Verifizierung.....	65
B.4.1	Allgemeines	65
B.4.2	Phase A	65
B.4.3	Phase B	65
B.4.4	Phase C	65
B.4.5	Phase D	66
B.4.6	Phase E	66
B.4.7	Phase F.....	66
B.4.8	Ablauf des Verifizierungsprozesses	66
B.5	Typische Aufgaben des Verifizierungspersonals.....	69
B.5.1	Verifizierungspersonal	69
B.5.2	Beziehung zum Engineering	69
B.5.3	Beziehung zu Produktsicherung und Qualitätskontrolle.....	70
B.5.4	Beziehung zum Projektmanagement	70
Anhang C (normativ) Verifizierungsmatrix — Definition der Anforderungen an Dokumente (DRD)		71
C.1	Einleitung	71
C.2	Zweck und Anwendungsbereich	71
C.2.1	Zweck	71
C.2.2	Anwendungsbereich	71
C.3	Verweisungen	71
C.3.1	Terminologie.....	71
C.3.2	Bezugsdokument	71
C.4	Begriffe, Abkürzungen und Symbole	72
C.4.1	Begriffe.....	72
C.4.2	Abkürzungen	72
C.5	Beschreibung und Ziel	72
C.6	Anwendung und Zusammenhänge	72

C.7	Vorläufige Elemente der Verifizierungsmatrix	73
C.7.1	Titel.....	73
C.7.2	Titelseite	73
C.7.3	Inhaltsverzeichnis.....	73
C.7.4	Vorwort	73
C.7.5	Einleitung.....	73
C.8	Inhalt.....	74
C.8.1	Zweck und Anwendungsbereich.....	74
C.8.2	Verweisungen.....	74
C.8.3	Begriffe und Abkürzungen.....	75
C.8.4	Angaben zur Verifizierung	75
Anhang D (normativ) Plan zur Montage, Integration und Verifizierung (MIV-Plan) —		
	Definition der Anforderungen an Dokumente (DRD)	77
D.1	Einleitung.....	77
D.2	Zweck und Anwendungsbereich.....	77
D.2.1	Zweck	77
D.2.2	Anwendungsbereich.....	77
D.3	Verweisungen.....	77
D.3.1	Terminologie	77
D.3.2	Bezugsdokument	77
D.4	Begriffe, Abkürzungen und Symbole.....	78
D.4.1	Begriffe.....	78
D.4.2	Abkürzungen	78
D.5	Beschreibung und Ziel	79
D.6	Anwendung und Zusammenhänge	79
D.7	Vorläufige Elemente des MIV-Plans.....	79
D.7.1	Titel.....	79
D.7.2	Titelseite	80
D.7.3	Inhaltsverzeichnis.....	80
D.7.4	Vorwort	80
D.7.5	Einleitung.....	80
D.8	Inhalt des Dokuments.....	80
D.8.1	Zweck und Anwendungsbereich.....	80
D.8.2	Verweisungen.....	81
D.8.3	Begriffe und Abkürzungen.....	81
D.8.4	Gegenstand der Verifizierung.....	82
D.8.5	Verifizierungsgrundsätze	82
D.8.6	Modellphilosophie	82
D.8.7	Verifizierungsstrategie	82
D.8.8	Programm zur Montage, Integration und Verifizierung	82
D.8.9	MIV-Werkzeuge	82
D.8.10	Verfahren zur Verifizierungskontrolle.....	83
D.8.11	Dokumentation.....	83
D.8.12	Organisation und Management	83
Anhang E (normativ) Verifizierungskontrolldokument (VCD) —		
	Definition der Anforderungen an Dokumente (DRD)	91
E.1	Einleitung.....	91
E.2	Zweck und Anwendungsbereich.....	91
E.2.1	Zweck	91
E.2.2	Anwendungsbereich.....	91
E.3	Verweisungen.....	91
E.3.1	Terminologie	91
E.3.2	Bezugsdokument	91
E.4	Begriffe und Abkürzungen.....	92
E.4.1	Begriffe.....	92
E.4.2	Abkürzungen	92
E.5	Beschreibung und Ziel	92

E.6	Anwendung und Zusammenhänge	92
E.7	Vorläufige Elemente des Verifizierungskontrolldokuments	93
E.7.1	Titel	93
E.7.2	Titelseite	93
E.7.3	Inhaltsverzeichnis	93
E.7.4	Vorwort	93
E.7.5	Einleitung	93
E.8	Inhalt des Dokuments	94
E.8.1	Zweck und Anwendungsbereich	94
E.8.2	Verweisungen	94
E.8.3	Begriffe und Abkürzungen	95
E.8.4	Gegenstand der Verifizierung	95
E.8.5	Vordrucke für das Verifizierungskontrolldokument	95
Anhang F (normativ) Testspezifikation — Definition der Anforderungen an Dokumente (DRD)		97
F.1	Einleitung	97
F.2	Zweck und Anwendungsbereich	97
F.2.1	Zweck	97
F.2.2	Anwendungsbereich	97
F.3	Verweisungen	97
F.3.1	Terminologie	97
F.3.2	Bezugsdokument	97
F.4	Begriffe und Abkürzungen	98
F.4.1	Begriffe	98
F.4.2	Abkürzungen	98
F.5	Beschreibung und Ziel	98
F.6	Anwendung und Zusammenhänge	98
F.7	Vorläufige Elemente der Testspezifikation	99
F.7.1	Titel	99
F.7.2	Titelseite	99
F.7.3	Inhaltsverzeichnis	99
F.7.4	Vorwort	99
F.7.5	Einleitung	99
F.8	Inhalt	99
F.8.1	Zweck und Anwendungsbereich	99
F.8.2	Verweisungen	100
F.8.3	Begriffe und Abkürzungen	101
F.8.4	Zu verifizierende Anforderungen	101
F.8.5	Testansatz	101
F.8.6	Testbeschreibung	101
F.8.7	Testeinrichtung	101
F.8.8	Ablauf des Tests	102
F.8.9	Kriterien für Bestehen des Tests	102
F.8.10	Testdokumentation	102
F.8.11	Testorganisation	102
Anhang G (normativ) Testverfahren — Definition der Anforderungen an Dokumente (DRD)		103
G.1	Einleitung	103
G.2	Zweck und Anwendungsbereich	103
G.2.1	Zweck	103
G.2.2	Anwendungsbereich	103
G.3	Verweisungen	103
G.3.1	Terminologie	103
G.3.2	Bezugsdokument	103
G.4	Begriffe und Abkürzungen	104
G.4.1	Begriffe	104
G.4.2	Abkürzungen	104
G.5	Beschreibung und Ziel	104
G.6	Anwendung und Zusammenhänge	104

	Seite
G.7 Vorläufige Elemente des Testverfahrens	105
G.7.1 Titel.....	105
G.7.2 Titelseite	105
G.7.3 Inhaltsverzeichnis.....	105
G.7.4 Vorwort	105
G.7.5 Einleitung.....	105
G.8 Inhalt.....	105
G.8.1 Zweck und Anwendungsbereich.....	105
G.8.2 Verweisungen.....	106
G.8.3 Begriffe und Abkürzungen.....	106
G.8.4 Zu verifizierende Anforderungen	107
G.8.5 Gegenstand des Tests.....	107
G.8.6 Testaufbau	107
G.8.7 Erforderliche Bodendienstgeräte.....	107
G.8.8 Testgerät und gerätetechnische Ausrüstung	107
G.8.9 Testeinrichtung	107
G.8.10 Testbedingungen	107
G.8.11 Erforderliche Dokumentation	108
G.8.12 Versuchsteilnehmer.....	108
G.8.13 Testauflagen und -ablauf	108
G.8.14 Einzelschrittanweisungen.....	108
Anhang H (normativ) Testbericht — Definition der Anforderungen an Dokumente (DRD)	110
H.1 Einleitung.....	110
H.2 Zweck und Anwendungsbereich.....	110
H.2.1 Zweck	110
H.2.2 Anwendungsbereich.....	110
H.3 Verweisungen.....	110
H.3.1 Terminologie	110
H.3.2 Bezugsdokument	110
H.4 Begriffe und Abkürzungen.....	111
H.4.1 Begriffe.....	111
H.4.2 Abkürzungen	111
H.5 Beschreibung und Ziel	111
H.6 Anwendung und Zusammenhänge	111
H.7 Vorläufige Elemente des Testberichts.....	112
H.7.1 Titel.....	112
H.7.2 Titelseite	112
H.7.3 Inhaltsverzeichnis.....	112
H.7.4 Vorwort	112
H.7.5 Einleitung.....	112
H.8 Inhalt.....	113
H.8.1 Zweck und Anwendungsbereich.....	113
H.8.2 Verweisungen.....	113
H.8.3 Begriffe und Abkürzungen.....	114
H.8.4 Testergebnisse.....	114
H.8.5 Abweichungen	114
H.8.6 Schlussfolgerungen	114
Anhang I (normativ) Analysebericht — Definition der Anforderungen an Dokumente (DRD)	117
I.1 Einleitung.....	117
I.2 Zweck und Anwendungsbereich.....	117
I.2.1 Zweck	117
I.2.2 Anwendungsbereich.....	117
I.3 Verweisungen.....	117
I.3.1 Terminologie	117
I.3.2 Bezugsdokument	117

	Seite
I.4 Begriffe und Abkürzungen	117
I.4.1 Begriffe	117
I.4.2 Abkürzungen	118
I.5 Beschreibung und Ziel	118
I.6 Anwendung und Zusammenhänge	118
I.7 Vorläufige Elemente der Testspezifikation	119
I.7.1 Titel	119
I.7.2 Titelseite	119
I.7.3 Inhaltsverzeichnis	119
I.7.4 Vorwort	119
I.7.5 Einleitung	119
I.8 Inhalt	119
I.8.1 Zweck und Anwendungsbereich	119
I.8.2 Verweisungen	120
I.8.3 Begriffe und Abkürzungen	120
I.8.4 Analyseansatz	121
I.8.5 Annahmen	121
I.8.6 Beschreibung der Analysetechnik	121
I.8.7 Analyseergebnisse	121
I.8.8 Schlussfolgerungen	121
Anhang J (normativ) Designreview-Bericht — Definition der Anforderungen an Dokumente (DRD) ..	124
J.1 Einleitung	124
J.2 Zweck und Anwendungsbereich	124
J.2.1 Zweck	124
J.2.2 Anwendungsbereich	124
J.3 Verweisungen	124
J.3.1 Terminologie	124
J.3.2 Bezugsdokument	124
J.4 Begriffe und Abkürzungen	125
J.4.1 Begriffe	125
J.4.2 Abkürzungen	125
J.5 Beschreibung und Ziel	125
J.6 Anwendung und Zusammenhänge	125
J.7 Vorläufige Elemente des Designreview-Berichts	126
J.7.1 Titel	126
J.7.2 Titelseite	126
J.7.3 Inhaltsverzeichnis	126
J.7.4 Vorwort	126
J.7.5 Einleitung	126
J.8 Inhalt	127
J.8.1 Zweck und Anwendungsbereich	127
J.8.2 Verweisungen	127
J.8.3 Begriffe und Abkürzungen	128
J.8.4 Zusammenfassung	128
J.8.5 Schlussfolgerungen	128
Anhang K (normativ) Prüfbericht — Definition der Anforderungen an Dokumente (DRD)	131
K.1 Einleitung	131
K.2 Zweck und Anwendungsbereich	131
K.2.1 Zweck	131
K.2.2 Anwendungsbereich	131
K.3 Verweisungen	131
K.3.1 Terminologie	131
K.3.2 Bezugsdokument	131
K.4 Begriffe und Abkürzungen	132
K.4.1 Begriffe	132
K.4.2 Abkürzungen	132
K.5 Beschreibung und Ziel	132

	Seite
K.6 Anwendung und Zusammenhänge	132
K.7 Vorläufige Elemente des Prüfberichts	133
K.7.1 Titel.....	133
K.7.2 Titelseite	133
K.7.3 Inhaltsverzeichnis.....	133
K.7.4 Vorwort	133
K.7.5 Einleitung.....	133
K.8 Inhalt.....	134
K.8.1 Zweck und Anwendungsbereich.....	134
K.8.2 Verweisungen.....	134
K.8.3 Begriffe und Abkürzungen.....	135
K.8.4 Zusammenfassung	135
K.8.5 Geprüfte Einheit	135
K.8.6 Schlussfolgerungen	135
Anhang L (normativ) Verifizierungsbericht — Definition der Anforderungen an Dokumente (DRD)...	138
L.1 Einleitung.....	138
L.2 Zweck und Anwendungsbereich.....	138
L.2.1 Zweck	138
L.2.2 Anwendungsbereich.....	138
L.3 Verweisungen.....	138
L.3.1 Terminologie	138
L.3.2 Bezugsdokument	138
L.4 Begriffe und Abkürzungen.....	139
L.4.1 Begriffe.....	139
L.4.2 Abkürzungen	139
L.5 Beschreibung und Ziel	139
L.6 Anwendung und Zusammenhänge	139
L.7 Vorläufige Elemente des Verifizierungsberichts	140
L.7.1 Titel.....	140
L.7.2 Titelseite	140
L.7.3 Inhaltsverzeichnis.....	140
L.7.4 Vorwort	140
L.7.5 Einleitung.....	140
L.8 Inhalt.....	140
L.8.1 Zweck und Anwendungsbereich.....	140
L.8.2 Verweisungen.....	141
L.8.3 Begriffe und Abkürzungen.....	141
L.8.4 Verifizierungsergebnisse	142
L.8.5 Schlussfolgerungen	142
Literaturhinweise	145

Vorwort

Diese Europäische Norm (EN 14725:2003) wurde von CEN/CS erstellt.

Diese Europäische Norm muss bis spätestens zum Juni 2004 entweder durch Veröffentlichung einer gleichlautenden Fassung oder durch Einführung den Status einer nationalen Norm erhalten; entgegenstehende nationale Normen müssen bis zu diesem Zeitpunkt zurückgezogen werden.

Die Norm beruht auf einer früheren Version¹⁾, die von der ECSS erstellt, vom Technischen Ausschuss der ECSS geprüft und vom ECSS-Lenkungsgremium verabschiedet wurde. ECSS ist ein Gremium, in dem die Europäische Raumfahrtagentur ESA, nationale Raumfahrtagenturen sowie europäische Industrieverbände mit dem Ziel zusammenarbeiten, einheitliche Normen zu erstellen und zu pflegen.

Diese Norm legt Anforderungen in Form von Zielen fest, die zu erreichen sind, und nicht in Bezug auf die Organisation und Durchführung der erforderlichen Arbeiten. Dies ermöglicht es, bewährte Organisationsstrukturen und -verfahren beizubehalten und erlaubt gleichzeitig deren Weiterentwicklung, ohne dass die Normen überarbeitet werden müssen.

Bei der Erarbeitung dieser Norm wurde die Normenreihe ISO 9000 berücksichtigt.

Die Anhänge A, C, D, E, F, G, H, I, J, K und L sind normativ.

Der Anhang B ist informativ.

In Übereinstimmung mit der CEN/CENELEC-Geschäftsordnung sind folgende Staaten verpflichtet, diese Europäische Norm anzuwenden: Belgien, Dänemark, Deutschland, Estland, Finnland, Frankreich, Griechenland, Irland, Island, Italien, Lettland, Litauen, Luxemburg, Malta, Niederlande, Norwegen, Österreich, Polen, Portugal, Schweden, Schweiz, Slowakei, Slowenien, Spanien, Tschechische Republik, Ungarn, Vereinigtes Königreich und Zypern.

1) ECSS-E-10-02A

1 Anwendungsbereich

Diese Europäische Norm legt Anforderungen an die Verifizierung von Produkten für Raumfahrtsysteme fest.

Sie stellt die Grundbegriffe des Verifizierungsprozesses, die Kriterien zur Entwicklung der Verifizierungsstrategie sowie Regeln für die Durchführung des Verifizierungsprogramms auf.

Sie beschreibt in den Anhängen A und B die erforderliche Dokumentation (d. h. DRD) und gibt einige Richtlinien zu Besonderheiten des Verifizierungsprozesses, wie Definitionen der Modellphilosophien.

Diese Europäische Norm gilt für verschiedene Produkte auf verschiedenen Ebenen (d. h. umfasst sowohl Einzelgeräte wie das Gesamtsystem). Sie gilt sowohl für den Kunden als auch für den Lieferanten in allen Projektphasen.

Die Anwendung dieser Anforderungen auf ein bestimmtes Produkt zielt auf eine wirkungsvolle Produktverifizierung ab und dient damit der Sicherung eines hohen Vertrauens in einem erfolgreichen Einsatz des Raumfahrtprodukts für den vorgesehenen Zweck.

Die Anforderungen dieser Norm dürfen an die einzelnen Anwendungen in der Raumfahrttechnik entsprechend den allgemeinen ECSS-Anpassungsleitlinien (siehe ECSS-M-00-02) angepasst werden, wobei zusätzlich die besonderen Leitlinien nach Anhang B.2 zu berücksichtigen sind.

Um die Anwendung, wirkungsvolle Nutzung und Anpassung dieser Norm zu erleichtern, orientierte sich die Erarbeitung an folgenden Zielen:

Festlegung eines Rahmens von Mindestanforderungen für die Verifizierung der unterschiedlichen Produkte, damit über die Anpassung eine Auswahl (durch Reduzierung) stattfindet;

Kennzeichnung von Anforderungen als zwingend modifizierbar oder als Empfehlungen durch sinnvolle Verwendung der Verbformen „muss“, „sollte“ bzw. „darf“;

Text, der Anforderungen definiert, muss in sich verständlich sein, um deren Anpassung an den Einzelfall zu ermöglichen.

2 Normative Verweisungen

Diese Europäische Norm enthält durch datierte oder undatierte Verweisungen Festlegungen aus anderen Publikationen. Diese normativen Verweisungen sind an den jeweiligen Stellen im Text zitiert, und die Publikationen sind nachstehend aufgeführt. Bei datierten Verweisungen gehören spätere Änderungen oder Überarbeitungen dieser Publikationen nur zu dieser Europäischen Norm, falls sie durch Änderung oder Überarbeitung eingearbeitet sind. Bei undatierten Verweisungen gilt die letzte Ausgabe der in Bezug genommenen Publikation (einschließlich Änderungen).

EN 13701:2001, *Luft- und Raumfahrt — Raumfahrttechnik — Dreisprachige Fassung EN 13701:2001.*

EN 13290-4, *Raumfahrt-Projektmanagement — Allgemeine Anforderungen — Teil 4: Projektphaseneinteilung und -planung.*

EN 13291-2, *Luft- und Raumfahrt — Raumfahrtproduktsicherung — Teil 2: Qualitätssicherung.*

prEN 13291-3, *Raumfahrtproduktsicherung — Allgemeine Anforderungen — Teil 3: Materialien, mechanische Teile und Prozesse.*

EN 14097, *Luft- und Raumfahrt — Raumfahrtproduktsicherung — Nichtkonformitätskontrollsystem.*

EN ISO 14620-1, *Raumfahrtsysteme — Sicherheitsanforderungen — Teil 1: Systemsicherheit.*

ECSS-Q-60, *Raumfahrtproduktsicherung — Elektrische, elektronische und elektromechanische (EEE-) Bauteile.*

ECSS-E-10, *Raumfahrttechnik — Systemtechnik.*

EN 14824, *Raumfahrttechnik — Tests.*

3 Begriffe und Abkürzungen

3.1 Begriffe

In dieser Norm gelten die Begriffe nach EN 13701.

Die folgenden Benennungen und Definitionen gelten in Ergänzung zu den in EN 13701:2001 aufgeführten Benennungen und Definitionen.

3.1.1

Abnahmestufe

Stufe im Verifizierungsprozess, auf der nachgewiesen wird, dass das Produkt keine Mängel in der Ausführung und Integrationsfehler aufweist und einsatzfähig ist

3.1.2

Analyse

Verifizierungsmethode, bei der eine theoretische oder empirische Bewertung mittels anerkannter Analyseverfahren durchgeführt wird

ANMERKUNG 1 Zu diesen gehören üblicherweise die Systematik, Statistik, qualitative Designanalyse, Modellbildung und Computersimulation.

ANMERKUNG 2 Siehe auch EN 13701.

3.1.3

Montage

Vorgang des mechanischen Zusammenbaus von Hardware, um nach der Herstellung eine bestimmte Konfiguration auf niedriger Ebene zu erzielen

ANMERKUNG Siehe auch EN 13701.

3.1.4

Stufe „im Orbit“

Stufe bei der Verifizierung von Projekten, deren Eigenschaften (z. B. Mission, Orbitalbetrieb) eine Verifizierung während des Ruges erfordern

3.1.5

Sichtprüfung

Verifizierungsmethode, mit der Konformität mit den Anforderungen an Baumerkmale, Dokumente, Zeichnungen, Ausführung und technische Eigenschaften ermittelt wird, ohne dass dafür besondere Laborgeräte, -verfahren oder -dienste verwendet werden

ANMERKUNG Siehe auch EN 13701.

3.1.6

Integration

Vorgang der physischen und funktionellen Kombination von Produkten nach geordneter Ebene (Hardware und/oder Software) zum Erzielen einer bestimmten funktionellen Konfiguration

3.1.7

Modellphilosophie

Festlegung der optimalen Anzahl und Eigenschaften physischer Modelle, um bei kürzester Planungszeit unter angemessener Kosten- und Risikoabwägung ein hohes Vertrauen in die Produktverifizierung zu erzielen

3.1.8

Stufe „nach der Landung“

Stufe bei der Verifizierung von Projekten, deren Eigenschaften eine Verifizierung nach der Landung erfordern

BEISPIEL Projekte mit Wiederverwendung des Raumfahrzeugs.

3.1.9**Stufe „vor dem Start“**

Stufe bei der Verifizierung von Projekten, in der nachgewiesen wird, dass das Ruggerät für den Start regelrecht konfiguriert ist und in dem für den Start geplanten Umfang betrieben werden kann

3.1.10**Qualifikationsstufe**

Stufe bei der Verifizierung von Projekten, in der nachgewiesen wird, dass das Design die einschlägigen Anforderungen unter Berücksichtigung aller Reserven erfüllt

3.1.11**Review des Designs**

Verifizierungsmethode, bei der auf die Validierung früherer Aufzeichnungen oder validierte Designdokumente unter der Voraussetzung zurückgegriffen wird, dass geeignete Designberichte, technische Beschreibungen und technische Zeichnungen eindeutig ausweisen, dass die Anforderung erfüllt ist

3.1.12**Test**

Verifizierungsmethode, bei der die Einhaltung von Anforderungen durch Messen der Produktleistung und -funktionen in unterschiedlicher simulierter Umwelt geprüft wird

ANMERKUNG Siehe auch EN 13701.

3.1.13**Verifizierungsebene**

Ebene in der Produktarchitektur, in der die Verifizierung durchgeführt wird

3.2 Abkürzungen

In dieser Europäischen Norm gelten die folgenden Abkürzungen

Abkürzung		Bedeutung
AIV	(Assembly, Integration and Verification)	Montage, Integration und Verifizierung (MIV)
AOCS	(Attitude and Orbit Control System)	Lage- und Bahnregelungssystem
AR	(Acceptance Review)	Abnahmereview
BB	(Breadboard)	Versuchsaufbau
CDR	(Critical Design Review)	Kritisches Designreview
CR	(Commissioning Review)	Review bei Inbetriebnahme
DM	(Development Model)	Entwicklungsmodell
DRD	(Document Requirements Definition)	Definition der Anforderungen an Dokumente
ECLS	(Environmental Control and Life System)	Systeme zur Umweltkontrolle und Lebenserhaltung
ECSS	(European Cooperation for Space Standardization)	European Cooperation for Space Standardization
EEE	(Electronic, Electrical and Electromechanical)	Elektronisch, elektrisch und elektromechanisch
EIDP	(End Item Data Package)	Endeinheit-Datenpaket
EM	(Engineering Model)	Ingenieurmodell
EMC	(Electromagnetic Compatibility)	Elektromagnetische Verträglichkeit (EMV)
EOL	(End of Life)	Ende der Lebensdauer
EQM	(Engineering Qualification Model)	Qualifikationsingenieurmodell
ESD	(Electrostatic Discharge)	Elektrostatische Entladung
EVA	(Extra Vehicular Activities)	Tätigkeit außerhalb des Raumfahrzeugs
FM	(Flight Model)	Flugmodell
FMECA	(Failure Mode Effects and Critically Analysis)	Fehlerarten-/Wirkungsanalyse

Abkürzung

FS	(Flight Spare)
GPS	(Global Positioning System)
GSE	(Ground Support Equipment)
HFE	(Human Factors Engineering)
H/W	(Hardware)
I/F	(Interface)
ICD	(Interface Control Document)
IM	(Integration Model)
ISO	(International Standard Organization)
IVA	(Intra Vehicular Activities)
LL	(Lower Level)
LRR	(Launch Readiness Review)
MRB	(Material Review Board)
MU	(Mock-up)
NCR	(Nonconformance Report)
OBDR	(On-board Data Handling)
OFT	(Orbital Flight Test)
P/L	(Payload)
PDR	(Preliminary Design Review)
PFM	(Protoflight Model)
PRR	(Preliminary Design Review)
PTR	(Post Test Review)
QM	(Qualification Model)
QR	(Qualification Review)
RCS	(Reaction Control System)
RF	(Radio Frequency)
RFW	(Request for Waiver)
S/C	(Spacecraft)
SS	(Subsystem)
S/W	(Software)
SM	(Structural Model)
SRR	(System Requirements Review)
STE	(Special Test Equipment)
STM	(Structural-Thermal Model)
SVF	(Software Validation Facility)
TCL	(Test Configuration List)
TM	(Thermal Model)
TRR	(Test Readiness Review)
TTC&C	(Telemetry, Tracking and Command)
VCB	(Verification Control Board)
VCD	(Verification Control Document)

Bedeutung

Flugersatzteil
Globales Positionsbestimmungssystem
Bodendienstgeräte
Ergonomik
Hardware
Schnittstelle
Schnittstellenkontroll-Dokument
Integrationsmodell
Internationale Organisation für Normung
Bordtätigkeit
Nachgeordnete Ebene
Startbereitschaftsreview
Verfugungsausschuss
Attrappe
Beanstandungsmeldung
Datenverarbeitung an Board
Test im Orbit
Nutzlast
Vorläufiges Designreview
Protoflugmodell
Vorläufiges Anforderungsreview
Review nach dem Test
Qualifikationsmodell
Qualifikationseview
Strahlsteuersystem
Funkfrequenz
Antrag auf Sonderfreigabe
Raumfahrzeug
Untersystem
Software
Strukturmodell
Systemanforderungsreview
Sondertestgerät
Struktur-/Thermalmodell
Einrichtung zur Softwarevalidierung
Testkonfigurationsliste
Thermalmodell
Testbereitschaftsreview
Telemetrie- und Telekommandosystem
Verifizierungskontrollausschuss
Verifizierungskontrolldokument

4 Verifizierungsprozess

4.1 Einleitung

Die Verifizierung ist der Teil der Aufgaben des Lieferanten, der Konformität mit den einschlägigen Anforderungen nachweist. Ein zufriedenstellender Abschluss des Verifizierungsprozesses dient als Grundlage für die vertragsgemäße Abnahme (nach EN 13701) des Produkts durch den Kunden.

4.2 Ziele der Verifizierung

Hauptziele der Verifizierung sind:

- a) Qualifikation des Designs;
- b) Sicherstellen, dass das Produkt dem qualifizierten Design entspricht, keine Ausführungsmängel aufweist und gebrauchsfähig ist;
- c) Nachweis, dass das Raumfahrtssystem (einschließlich der Werkzeuge, Verfahren und Mittel) die Anforderungen der Mission erfüllen wird;
- d) Bestätigen der Unversehrtheit und Leistungsfähigkeit des Produkts nach bestimmten Phasen während des Projektlebenszyklus (z. B. vor dem Start, im Orbit, nach der Landung).

4.3 Logik des Verifizierungsprozesses

4.3.1 Allgemeines

Die mit der Verifizierung verbundenen Tätigkeiten sind schrittweise auf verschiedenen Ebenen und verschiedenen Stufen durchzuführen, wobei das „bottom-up“-Verfahren angewendet und eine sinnvolle Kombination verschiedener Verifizierungsmethoden genutzt werden.

4.3.2 Ablauf des Verifizierungsprozesses

Der Ablauf des Verifizierungsprozesses ist grundsätzlich in folgende Schritte aufzuteilen:

- a) Identifizierung und Klassifizierung aller zu verifizierenden Anforderungen;
- b) Auswahl von Verifizierungskriterien (z. B. Methoden/Ebenen/Stufen) und Modellen anhand der ermittelten Anforderungen;
- c) Planen der entsprechenden Verifizierungstätigkeiten;
- d) Einbinden des Kunden;
- e) Identifizierung der Verifizierungsdokumentation;
- f) Durchführung von Verifizierungsaufgaben und der Verifizierungsüberwachung;
- g) Beendigung der Verifizierungsüberwachung und Nachweis des Verifizierungsbeschlusses;
- h) Kunden-Review und endgültigen Abnahme.

4.3.3 Verifizierungsgrundsätze

4.3.3.1 Definition

Um die Ziele der Verifizierung zu erreichen, sind bereits in einer frühen Projektphase Grundsätze festzulegen, nach deren die zu verifizierenden Anforderungen unter Berücksichtigung

- von Besonderheiten des Designs
- des Grades der Qualifikation der bevorzugten Lösung
- der Verfügbarkeit und der Ausgereiftheit von Verifizierungswerkzeugen
- von Verifizierungs- und Testmethoden
- von programmatischen Randbedingungen
- von Kosten und Zeitplan

zu analysieren sind.

4.3.3.2 Entwicklung der Verifizierungsgrundsätze

Die Verifizierungsgrundsätze sind durch Iteration, die auf Betrachtungen technischer Faktoren und des Kosten- und Zeitrahmens beruht, zu entwickeln und das „Was“, „Wie“, „Wo“ und „Wann“ der Verifizierung festzulegen durch:

- Festlegen einer definierten Menge verifizierbarer Projektanforderungen, die der Verifizierung unterzogen werden können;
- Auswahl von Verifizierungsmethoden;
- Auswahl von Verifizierungsebenen und der entsprechenden Modellphilosophie;
- Auswahl technischer Einrichtungen;
- Festlegen erforderlicher Betriebsmittel, und
- Festlegen der Stufen und Ereignisse, bei denen eine Verifizierung stattfindet.

4.3.4 Verifizierungsabschluss

4.3.4.1 Allgemeines

Der Verifizierungsprozess gilt als abgeschlossen, wenn der Käufer und der Lieferant darin übereinstimmen, dass auf der Grundlage eines ordnungsgemäß dokumentierten Nachweises die zuvor identifizierten Anforderungen verifiziert wurden und die jeweiligen Verifizierungsziele vollständig erreicht worden sind.

4.3.4.2 Ausnahmen

Die auf einer bestimmten Ebene nicht in vollem Umfang verifizierten Anforderungen sind zu benennen und mit dem Kunden zu klären.

4.4 Verifizierungsmethoden

4.4.1 Allgemeines

Die Verifizierung ist Mit einer oder mehreren der folgenden Methoden durchzuführen:

- Test;
- Analyse;
- Designreview;
- Sichtprüfung.

4.4.2 Test

Sind Anforderungen durch Messen von Produktleistung und -funktion in verschiedenen simulierten Umgebungen zu verifizieren, so ist die Methode als „Test“ zu bezeichnen.

4.4.2.1 Grundsätze und Verfahren

Die Messungen können die Verwendung besonderer Geräte, Ausrüstungen und Simulationstechniken erfordern. Die Bestimmung der Konformität mit den Anforderungen muss nach festgelegten Grundsätzen und Verfahren erfolgen (siehe prEN 14824).

4.4.2.2 Auswertung

Der Test muss grundsätzlich die Auswertung der Testergebnisse einschließen.

4.4.2.3 Praktischer Versuch

Gegebenenfalls ist in einem Versuch im Rahmen des Tests die Funktion und die Einhaltung der Anforderungen nachzuweisen. Die dabei gemachten Beobachtungen und Feststellungen sind aufzuzeichnen.

4.4.3 Analyse (A)

4.4.3.1 Allgemeines

Erfolgt die Verifizierung durch theoretische oder empirische Bewertung anhand anerkannter Verfahren, so ist die Methode als „Analyse“ zu bezeichnen.

4.4.3.2 Analyseverfahren

Als Analyseverfahren kommen die systematische, statistische und qualitative Designanalyse, die Modellbildung und die Computersimulation in Frage.

4.4.3.3 Grundsatz der Ähnlichkeit

Verifizierung nach dem Grundsatz der Ähnlichkeit kann gleichermaßen als Analyseverfahren zur Anwendung kommen und zwar dann, wenn sich nachweisen lässt, dass das zu verifizierende Produkt einem anderen Produkt, das bereits anhand gleichwertiger oder strengerer Anforderungen verifiziert worden ist, ähnlich ist.

4.4.4 Designreview (R)

Wenn die Verifizierung durch die Validierung von Aufzeichnungen oder auf Basis von validierten Designdokumenten ausgeführt wird, oder wenn genehmigte Designberichte, technische Beschreibungen und technische Zeichnungen eindeutig die Erfüllung der Anforderung ausweisen, ist die Methode als „Designreview“ zu bezeichnen.

4.4.5 Sichtprüfung

Wenn die Verifizierung durch visuelle Erfassung der physischen Eigenschaften (z. B. Konstruktionsmerkmale, Konformität von Hardware mit Zeichnungen oder Anforderungen an die Ausführung) ausgeführt wird, wird die Methode als „Sichtprüfung“ bezeichnet.

4.5 Verifizierungsebenen

Die Verifizierung der Anforderungen ist schrittweise auf verschiedenen Ebenen durchzuführen. Anzahl und Art dieser Ebenen hängen von der Komplexität des Projekts und seiner Eigenschaften ab.

Die typischen Verifizierungsebenen für ein Raumfahrtprojekt sind (nach Definition von

- Geräte (z. B. Ventile, Batterien, Elektronikboxen);
- Untersystem (z. B. Stromversorgung, Fluglageregelung, Struktur, Thermalregelung, Software);
- Element (z. B. Träger, Satellit, Bodenstation);
- System (z. B. bemanntes Infrastruktursystem).

Unterhalb der Geräteebene liegt die Teile- und Materialebene. Die allgemeinen Anforderungen für die Bewertung, Genehmigung und Beschaffung von Teilen und Materialien sind in ECSS-Q-60 und prEN 13291-3 festgelegt.

Anforderungen an Teile und Materialien, die in der Kundenspezifikation für ein Produkt festgelegt sind, müssen offiziell verifiziert werden.

Ob Verifizierungsebenen als kritisch anzusehen sind, hängt von technischen und programmatischen Überlegungen ab (z. B. Funktionsstruktur, Gemeinkosten), wobei zu beachten ist, dass die Verifizierung im Hinblick auf die jeweiligen Anforderungen in die Zuständigkeit der Organisation fällt, die die Anforderungen zu erfüllen hat.

4.6 Verifizierungsstufen

4.6.1 Allgemeines

Der Verifizierungsprozess muss sich in aufeinanderfolgenden Stufen über den gesamten Programmlebenszyklus erstrecken.

Die Stufen hängen von den Projekteigenschaften ab und kennzeichnen eine Verifizierungsart.

Als typische Zertifizierungsstufen gelten:

- Qualifikation,
- Abnahme,
- vor dem Start,
- im Orbit,
- nach der Landung.

4.6.2 Qualifikation

4.6.2.1 Allgemeines

Auf dieser Stufe besteht das Verifizierungsziel darin, nachzuweisen, dass das Design die jeweiligen Anforderungen erfüllt und die erforderlichen Reserven einschließt.

4.6.2.2 Gegenstand der Qualifikation

Die gewählten Gegenstände sollten für das zu qualifizierende Design typisch sein. Abweichungen von diesem Grundsatz sind unter Kosten-, Zeitplan- und Risikobetrachtungen zulässig, wenn Gegenstände verwendet werden, die in Form, Eignung und Funktion soweit repräsentativ sind, wie dies zum Erreichen des Qualifikationsziels erforderlich ist.

4.6.2.3 Erneute Qualifikation

Auf dieser Stufe kann eine erneute Qualifikation für den Fall erforderlich werden, dass das Design nach erfolgter Erstqualifikation modifiziert wurde.

4.6.3 Abnahme

4.6.3.1 Allgemeines

Auf dieser Stufe besteht das Verifizierungsziel darin, nachzuweisen, dass die Einheit frei von Ausführungsmängeln und Integrationsfehlern und für den betrieblichen Einsatz geeignet ist.

4.6.3.2 Abnahmegegenstand

Der betrachtete Gegenstand muss in Übereinstimmung mit dem qualifizierten Design hergestellt werden und sich wie das qualifizierte Produkt verhalten.

4.6.3.3 Erneute Zertifizierung

Auf dieser Stufe kann eine erneute Zertifizierung für den Fall erforderlich werden, dass das Produkt in seiner typischen Konfiguration (z. B. infolge Ausfalls oder wegen Reparaturmaßnahmen) zerlegt wurde, oder wenn es langfristig gelagert wurde.

4.6.4 Verifizierung vor dem Start

Ziel einer Verifizierung vor dem Start ist es festzustellen, ob der Gegenstand für die Startphase und die folgende Betriebsphase entsprechend konfiguriert ist, und dass der für den Start geplante Ablauf, soweit möglich, durchgeführt werden kann.

4.6.5 Verifizierung im Orbit

4.6.5.1 Allgemeines

Diese Stufe gilt für Projekte, deren Eigenschaften (z. B. Tätigkeiten während der Mission oder im Orbit) eine Verifizierung im Orbit erfordern.

Das Ziel einer Verifizierung auf dieser Stufe besteht insbesondere darin, Bodentests unter Flugbedingungen zu ergänzen, die auf dem Boden nicht vollständig oder kostengünstig kopiert oder nachgebildet werden können.

Zu Beginn dieser Stufe wird bei bestimmten Produkttypen häufig ein Inbetriebnahmeprozess durchgeführt.

4.6.5.2 Erneute Verifizierung im Orbit

Im Orbit müssen zusätzlich Hardware und Software erneut verifiziert werden:

- wenn diese modifiziert wurden;
- nach Reparatur oder Austausch fehlerhafter Hardware/Software;
- wenn eine Funktionskette selbst im Normalfall eine bestimmte Zeit lang ungenutzt war;
- nach Anomalien oder Störfällen im Orbit.

4.6.6 Verifizierung nach der Landung

Diese Stufe ist für Projekte von Bedeutung, deren Eigenschaften eine Verifizierung nach der Landung erfordern (z. B. Projekte mit Wiederverwendung des Raumfahrzeugs).

Das Ziel der Tätigkeit auf dieser Stufe ist es:

- (in regelmäßigen Abständen) ausgewählte Funktionen während der Lagerung
- den Produktzustand nach der Mission
- Folgen von Anomalien im Orbit

zu verifizieren.

5 Verifizierungsstrategie

5.1 Vorbereitung

Als Grundlage für den Verifizierungsprozess müssen für jedes Produkt verbindliche technische Anforderungen festgelegt werden (siehe ECSS-E-10). Vom Lieferanten muss eine geeignete Verifizierungsstrategie mit zweckmäßig gewählten Methoden, Ebenen, Stufen und Modellen entwickelt und dem Kunden zur Genehmigung zugeleitet werden.

Bei der Wahl der Verifizierungsmethoden, -ebenen, -stufen und zugehörigen Modelle ist ein Kompromiss zwischen Kosten, Zeitplan, Leistung und damit einhergehenden Risiken (siehe EN 13290-1) zu suchen.

5.2 Klassifizierung der Anforderungen

5.2.1 Anforderungsfeststellung

Die für ein bestimmtes Produkt geltenden Anforderungen sind in Technischen Spezifikationen und Schnittstellenkontroll-Dokumenten festgelegt.

Der erste Schritt des Verifizierungsprozesses ist es, die zu verifizierenden Anforderungen zu erfassen und zu klassifizieren.

5.2.2 Anforderungsdokumentation

Die Anforderungen müssen entwickelt und von oben nach unten den verschiedenen Projektebenen zugeordnet werden, so dass ein Baum aus Technischen Spezifikationen und Schnittstellenkontroll-Dokumenten entsteht, der aufeinander abgestimmte Anforderungen hinsichtlich Leistung, Design, Schnittstellen, Umgebung, Betrieb und Unterstützung enthält (siehe ECSS-E-10).

5.2.3 Anforderungseigenschaften

Um die Planung, Ausführung, Überwachung der und die Berichterstattung über die Verifizierung zu erleichtern, müssen die Anforderungen, auch im Hinblick auf Zuordnung, bestimmte Eigenschaften aufweisen.

Jede Anforderung muss:

- rückverfolgbar sein;
- eindeutig (z. B. über eine Dokumenten- und Abschnittsnummer) identifizierbar sein;
- eine Einzelanforderung und nicht eine Kombination mehrerer Anforderungen sein;
- unter Verwendung einer oder mehrerer anerkannter Verifizierungsmethoden verifizierbar sein;
- unzweideutig sein;
- gegebenenfalls auf andere Anforderungen bezogen werden (mit jeweiliger Nennung von Dokumenten und Abschnitt) und
- sollte über Schlagwort (Überschrift) ansprechbar sein.

Mit anderen Worten, am Anfang einer erfolgreichen Verifizierung steht eine ausreichende Anzahl von Projektanforderungen. Jede Anforderung muss sowohl als Beginn als auch als Ende des Verifizierungsprozesses angesehen werden und als Grundinformation mit technischem Gehalt und weniger als Element eines weitschweifigen Textes behandelt werden.

5.2.4 Kritikalität der Anforderungen

Die Kritikalität der Anforderungen für die Durchführung der Verifizierung in technischer und programmatischer Hinsicht müssen durch rechtzeitige Einbindung des Verifizierungspersonals in den Prozess der Definition von Anforderungen untersucht werden, da sie für die Verifizierungsstrategie von Bedeutung sind.

5.2.5 Anforderungen ohne Nachprüfung

Manche Anforderungen bedürfen keiner weiteren Nachprüfung, wenn sie in der Praxis:

- hinsichtlich ihrer Umsetzung eindeutig sind (Beispiel: Anforderungen an Testverfahren/-bericht);
- wegen anderer Anforderungen überflüssig sind;
- rein beschreibender Art sind (Beispiel: Definitionen).

Diese Anforderungen müssen entsprechend gekennzeichnet werden.

5.2.6 Anforderungskategorien

Um die Entwicklung einer Verifizierungsstrategie zu erleichtern, sind die zu verifizierenden Anforderungen zu klassifizieren.

Die dabei gewählten Kriterien sollten es ermöglichen, zu jeder Kategorie eine einheitliche Verifizierungsstrategie festzulegen.

Die Anforderungskategorien sind von den Projekteigenschaften und-organisation abhängig. In Tabelle 1 sind typische Anforderungskategorien angegeben.

5.2.7 Rückverfolgbarkeit von Anforderungen

Die Rückverfolgbarkeit von Anforderungen, die in engem Zusammenhang mit der Einteilung der Anforderungen in Kategorien steht, dient dazu, die Geschlossenheit und die Vollständigkeit der gewählten Verifizierungsstrategie sicherzustellen.

5.2.8 Verifizierungsmatrix

Die Verifizierungsstrategie muss sich in einer Verifizierungsmatrix widerspiegeln, die für alle Anforderungen für die verschiedenen Verifizierungsebenen und -stufen die gewählten Verifizierungsmethoden zeigt (siehe 6.6).

Tabelle 1 — Typische Einteilung von Anforderungen in Kategorien

Mechanisch	(einschließlich struktureller Umgebung, Trümmer-/Meteoritenschutz, Mechanismen)
Thermisch	(einschließlich thermischer Umgebung, thermischer Regelung, thermischen Schutzes, aerothermisch)
Leitnavigation und -kontrolle	(AOCS, Rendezvous und Andocken, Fliegen)
Antrieb	(einschließlich RCS)
Energieversorgung	(einschließlich Energieerzeugung und -verteilung)
Landung	(einschließlich Fallschirm, Bremsraketen)
Kommunikation	(einschließlich Antennen, RF)
Datenmanagement	(einschließlich OBDH, Software)
ECLS	(einschließlich Überwachung der Luft im Raumfahrzeug und Luftkontamination)
Mission	(einschließlich Definition der Mission, Lebensdauer, Pointierung, Stabilität, Umlaufbahn, Ausrichtung)
Konfiguration	(einschließlich physikalischer Eigenschaften, Schnittstellen, Aufbau, Modularität, Zugänglichkeit, Lichtdichtheit)
Humanfaktoren	(einschließlich Ergonomik, Mensch als Teil eines Regelkreises, IVA, EVA, besatzungsbezogene Faktoren)
EMC	(einschließlich ESD, Blitz, magnetische Sauberkeit)
Qualitätsfaktoren	(einschließlich Sicherheit, Funktionsfähigkeit, Verfügbarkeit, Instandhaltbarkeit)
Flugbetrieb	(einschließlich Autonomie, Kontrollstelle, Fehlermanagement, Betriebsverfahren)
Bodenbetrieb	(einschließlich Bodenabwicklung, Startplatz, Tätigkeiten nach der Landung, Kontrollzentrum)
Unterstützung	(einschließlich GSE, Ersatzteile, Logistik, Schulung)
Mikrogravitation	(einschließlich Auswirkungen von Lärm und Schwingungen auf den Menschen)

5.3 Wahl der Verifizierungsmethoden, -ebenen und -stufen

5.3.1 Allgemeines

Die Auswahl geeigneter Verifizierungsmethoden, -ebenen und -stufen hängt von den Projekteigenschaften und zugehörigen Anforderungskategorien ab.

5.3.2 Wahl der Verifizierungsmethode

Nach der Bestimmung der zu verifizierenden Anforderung müssen die zur Verfügung stehenden Verifizierungsmethoden und -alternativen in jedem Einzelfall im Rahmen des gegebenen gesamten Projektablaufs, der gegebenen Testverfahren und Analysewerkzeuge betrachtet und auf ihre Durchführbarkeit hinsichtlich der folgenden Kriterien untersucht werden:

- Methode ist technisch durchführbar;
- Verifizierungseinrichtungen sind verfügbar;
- es lässt sich ein ausreichendes Vertrauensniveau mit annehmbarer Zuverlässigkeit, Genauigkeit und Gültigkeit erreichen;
- Risiken für Personal, Flughardware und sonstige Ausrüstung sind vertretbar;
- Auswirkung auf den Zeitplan ist vertretbar;
- Verifizierungskosten sind vertretbar.

5.3.3 Wahl der Verifizierungsebene

Die Wahl der Verifizierungsebenen muss programmatische Gesichtspunkte berücksichtigen, wie genormte Hardwareebenen (z. B. Servicemodule), die Entscheidung über „Eigenanfertigung oder Kauf“ zu treffen (z. B. handelsübliche Geräte), Senkung der Gemeinkosten (z. B. Ausschließen der Untersystemebene) und Zuständigkeit.

5.3.4 Wahl der Verifizierungsstufen

Die Verifizierungsstufen müssen unter Berücksichtigung der Projekteigenschaften und des zugehörigen Lebenszyklus gewählt werden. Insbesondere hat die Wahl in enger Anlehnung an die gewählte Modellphilosophie zu erfolgen (siehe 5.4).

5.3.5 Weitere Regeln für die Auswahl

Außer den mit einer bestimmten Anforderungskategorie verbundenen Faktoren gelten die weiteren Regeln für die Wahl von Verifizierungsmethoden, -ebenen und -stufen:

- a) Alle sicherheitskritischen Funktionen müssen durch einen Test verifiziert werden.
- b) Tests sollten die bevorzugte Verifizierungsmethode sein, wenn dies praktisch, kostensparend und sicher ist; alternative Methoden dürfen unter Berücksichtigung von Anforderungsrisiken, Kosten/Nutzenanalyse und Zeitplan gewählt werden.
- c) Die Analyse sollte verwendet werden, wenn die Flugbedingungen auf dem Boden nicht genau nachgebildet werden können und/oder es ökonomisch nicht vertretbar ist, das gesamte Spektrum der Flugbedingungen zu testen. Analyse- und Testmethoden ergänzen sich häufig.

- d) Falls unter mehreren Verifizierungsmethoden gewählt werden kann, von denen jede dasselbe Vertrauensniveau für die Ergebnisse besitzt, muss die Wahl unter dem Gesichtspunkt der Kostenminimierung getroffen werden.
- e) Die Verifizierung kritischer Anforderungen (z. B. hinsichtlich neuer Technologien) sollte möglichst früh erfolgen (z. B. auf der niedrigstmöglichen Ebene), um die Ergebnisse möglichst schnell in das Programm zurückzuführen.
- f) Um den Schwierigkeiten beim Testen komplexer Systeme (z. B. Größe der Prüfeinrichtungen, Repräsentativität der Testbedingungen) aus dem Wege zu gehen oder um das teure Testen von Systemen auf ein Mindestmaß zu reduzieren, darf ein kombinierter Ansatz gewählt werden, der Testen auf einer niedrigeren Ebene und eine Analyse auf einer höheren Ebene beinhaltet.
- g) Falls insbesondere ein Test unter Umweltbedingungen auf höherer Ebene undurchführbar oder zu kostspielig ist, muss ein Test auf niedrigerer Ebene durchgeführt werden, der durch eine Analyse vervollständigt wird, die die Konformität mit den Anforderungen auf höherer Ebene nachweist.
- h) Wenn Eigenschaften der Mission eine Verifizierung während des Flugs erfordern, darf diese sich nicht allein auf Tätigkeiten während dieser Zeit beschränken; die Anforderungen müssen bei Projekten mit Wiederverwendung des Raumfahrzeugs vor dem Erstflug mit geeigneten Methoden verifiziert werden.
- i) Die Verifizierung innerer und äußerer Schnittstellen ist auf der entsprechenden Zuständigkeitsebene durchzuführen. Beim Testen ist der Einsatz echter Schnittstellen der Verwendung von simulierten Schnittstellen vorzuziehen.
- j) Eine Verifizierung auf niedrigerer Ebene sollte vor einer entsprechenden Verifizierung auf höherer Ebene erfolgen.
- k) Eine unnötige Wiederholung von Verifizierungstätigkeiten auf verschiedenen Ebenen sollte vermieden werden.
- l) Alle zu einer bestimmten Stufe gehörenden Verifizierungstätigkeiten sollten vor Beginn der Verifizierung auf der nächsten Stufe abgeschlossen sein. Insbesondere sollte die Qualifikation vor Beginn der Abnahme beendet sein.
- m) Eine Verifizierung von Software muss einen Test unter Einsatzbedingungen der Hardware einschließen.
- n) Zusätzlich zu der Kombination von Verifizierungstätigkeiten auf den verschiedenen Ebenen sollte die Verifizierung komplexer Funktionsketten (wie Betriebsleistung und Funktion von Mechanismen) einen integrierten „End-zu-End-Test“ vorsehen.
- o) Die Erfüllung der Anforderungen hinsichtlich der Funktion und physikalischen Eigenschaften eines gegebenen Produkts sollte weitest möglich auf der jeweiligen Produktebene nachgewiesen werden.

5.4 Wahl von Modellen

5.4.1 Nummer- und Typmodell

Es sind nach Art und Anzahl optimale physische Modelle festzulegen, um bei kürzester Planung und angemessener Kosten- und Risikoabwägung ein hohes Vertrauen in die Produktverifizierung zu erzielen.

5.4.2 Modellphilosophie

Die Modellphilosophie ist mittels eines Iterationsprozess zu entwickeln, indem programmatische Randbedingungen, Verifizierungsstrategien, die Integration und das Testprogramm betrachtet werden, aber auch der Entwicklungsstand der bevorzugten Designlösung zu berücksichtigen ist (siehe auch ECSS-E-10A, Bild 6).

Die Modellphilosophie muss in einer frühen Projektphase entwickelt werden und wegen ihrer Auswirkung auf die Durchführung des Projekts so bald wie möglich Gültigkeit erlangen.

5.4.3 Anwendbarkeit des Modells

Die verschiedenen Modellarten und -philosophien und die zugehörigen Anleitungen werden in Anhang B.1 beschrieben. Ihre Anwendbarkeit hängt von den besonderen Projektanforderungen ab. Folgende Grundregeln sind zu beachten:

- a) Um die Kosten zu senken, sollte die Anzahl der Modelle möglichst klein und ihre Wiederverwendbarkeit auf unterschiedlichen Ebenen möglichst groß sein.
- b) Es sollten Parallelmodelle genutzt werden, um die Testtätigkeiten geeignet getrennt zu halten und damit die Risiken einer Terminverzögerung zu senken.
- c) An der Hardware und Software, die die Konfiguration der Einheit in ihrer endgültigen Form (z. B. Prototypmodelle, Flugmodelle bei Protoflug- oder Hybrid-Ansatz) nachbildet, ist eine Designverifizierung (-qualifikation) durchzuführen.
- d) An der Hardware und Software ist eine Verifizierung (Abnahme) der Ausführung in ihrer endgültigen Form (z. B. Flugmodelle, Ersatzteile) durchzuführen.
- e) In Ausnahmefällen dürfen ausgewählte Designparameter mit Hilfe von Entwicklungsmodellen, bei Zustimmung des Kunden, verifiziert werden.

5.5 Verifizierung durch Test

5.5.1 Allgemeines

Entsprechend den gewählten Verifizierungsgrundsätzen und der Modellphilosophie ist auf der Grundlage der Verifizierungsstrategien für die verschiedenen Anforderungskategorien ein Testprogramm festzulegen.

5.5.2 Definition des Testprogramms

Bei der Definition des Testprogramms müssen folgende Regeln beachtet werden:

- a) Kritische Einheiten und Schnittstellen müssen in einem früheren Stadium des Projektablaufs getestet werden.
- b) Die Möglichkeit des Pfadwechsels (Ausweichpläne, unvorhergesehene Ereignisse) ist zu berücksichtigen.
- c) Der gewählte Testablauf muss die Möglichkeit eines Rückfalltests minimieren.
- d) Die Wiederverwendbarkeit von Modellen, Simulatoren und unterstützenden Geräten muss möglichst groß sein.
- e) In einem frühen Stadium des Projektablaufs ist die Durchführbarkeit des Tests zu bestätigen.

5.5.3 Integrationsablauf

Zur Optimierung von Test- wie auch Integrationstätigkeiten sind das Testprogramm und der Integrationsablauf aufeinander abzustimmen.

5.5.4 Integrationstests

Schnittstellen- oder Unversehrtheitstests müssen im Rahmen des Integrationsprozesses durchgeführt werden, um Qualität und Status der jeweiligen Konfiguration zu überprüfen.

Falls diese Tests für eine Verifizierung vorgesehen sind, müssen sie im Gesamttestprogramm enthalten sein.

5.5.5 Tests nach erneuter Montage

Als Ergebnis der sich aus der Fehlersuche ergebenden Anforderungen oder bei einer Mission mit Wiederverwendung des Raumfahrzeugs während der Phase nach der Landung kann es erforderlich sein, dass ein Gerät demontiert werden muss. Dies kann auch notwendig sein, um Modifikationen oder Reparaturen durchzuführen.

In diesem Fall müssen Demontage und Wiedermontage kontrolliert durchgeführt und ordnungsgemäß dokumentiert werden. Alle Schnittstellen, die durch die Demontage unterbrochen wurden, müssen erneut verifiziert und alle betreffenden Integrationstests wiederholt werden.

Solche Tests werden auch Rückfalltests genannt.

5.5.6 Tests auf Verifizierungsstufen

Das gesamte Testprogramm muss gegebenenfalls Entwicklung, Qualifikation, Abnahme, Testen vor dem Start, im Orbit und nach der Landung umfassen. Es muss deshalb auf das einzelne Projekt oder Produkt zugeschnitten werden und den Norm-Testanforderungen nach prEN 14824 entsprechen.

5.5.7 Tests auf Verifizierungsebenen

Das gesamte Testprogramm muss gegebenenfalls die verschiedenen Verifizierungsebenen umfassen. Es muss deshalb auf jedes einzelne Projekt und Produkt zugeschnitten werden und den Norm-Testanforderungen nach prEN 14824 entsprechen.

5.5.8 Testmatrizen

Auf der Basis der geltenden Verifizierungsmatrix sollten Testmatrizen festgelegt werden, um den Zusammenhang der Anforderungskategorien mit dem auf verschiedenen Ebenen und unterschiedlichen Verifizierungsstufen durchzuführenden Test darzustellen.

In den Matrizen werden die für die Planung anzuwendenden Arbeitsschritte für die Testverifizierung aufgeführt.

5.6 Verifizierung durch Analyse

5.6.1 Allgemeines

Auf der Grundlage der für die verschiedenen Anforderungskategorien geltenden Verifizierungsstrategie muss ein Analyseprogramm, das auf die gewählten Verifizierungsgrundsätze abgestimmt ist, festgelegt werden.

5.6.2 Definition des Analyseprogramms

Bei der Definition des Analyseprogramms müssen folgende Faktoren berücksichtigt werden:

- a) Das Analyseverfahren muss validiert sein (Verifizierung durch Analyse hängt von der Qualität des Analyseverfahrens und der bei ihrer Benutzung gewonnenen Erfahrung ab).
- b) Die Analyse darf zur Unterstützung des Tests oder der Test zur Unterstützung der Analyse verwendet werden.

- c) Wenn eine Analyse durch Testdaten gestützt wird, muss der Test an einem typischen Modell durchgeführt werden.
- d) Die Analyse für die Verifizierung darf auf der Designanalyse beruhen.

5.6.3 Kriterien für die Verifizierungsanalyse

5.6.3.1 Angebrachte Kriterien

Bei der Durchführung von Verifizierungsanalysen gelten folgende Kriterien:

- Das verwendete Modellsystem muss beschrieben und seine Verwendung gerechtfertigt sein.
- Es ist die Produktkonfiguration zu benennen, für die die Analyse gilt.
- Alle Randbedingungen müssen angegeben werden.
- Alle Annahmen, auf denen die Analyse fußt, müssen angegeben werden.
- Das betrachtete Gebiet und der Gültigkeitsbereich der Ergebnisse müssen festgelegt werden.
- Die Unsicherheit bei der Analyse muss insoweit berücksichtigt werden, als das Erreichen einer bestimmten Leistung mit ausreichender Sicherheit nachgewiesen werden kann.
- Die Analyse muss sowohl die Nennbedingungen als auch die denkbar ungünstigsten Bedingungen einschließen.

5.6.3.2 Ähnlichkeitskriterien

Damit ein Gegenstand „A“ gegenüber einem Gegenstand „B“ als „durch Ähnlichkeit verifiziert“ gelten kann, müssen folgende Kriterien erfüllt sein:

- Gegenstand „A“ stellt eine geringfügige Veränderung gegenüber Gegenstand „B“ dar (d. h. durch Austausch von Teilen und Materialien mit vergleichbarer Funktionsfähigkeit).
- Die Gegenstände „A“ und „B“ erfüllen vergleichbare Funktionen (wobei „B“ für eine vergleichbare oder längere Betriebslebensdauer für Veränderungen nur hinsichtlich der Leistung (z. B. Genauigkeit, Empfindlichkeit oder Input-Output-Eigenschaften) qualifiziert ist).
- Die Gegenstände „A“ und „B“ werden von demselben Hersteller mit identischen Werkzeugen und Fertigungsprozessen hergestellt (falls eine bestimmte Technik oder besonderes Wissen erforderlich ist).
- Die Umweltbedingungen, auf die Gegenstand „B“ während des Verifizierungsprozesses trifft, sind gleich oder ungünstiger als die für den Gegenstand „A“ vorgesehenen Bedingungen.
- Gegenstand „B“ wurde nicht durch Ähnlichkeit qualifiziert.

5.6.4 Analyse von Verifizierungsstufen

Verifizierung durch Analyse sollte nur in der Qualifikationsstufe angewendet werden.

5.6.5 Analyse von Verifizierungsebenen

Verifizierung durch Analyse sollte auf allen Verifizierungsebenen angewendet werden.

5.6.6 Analysematrizen

Auf der Basis der geltenden Verifizierungsmatrix dürfen Matrizen für die Analyse festgelegt werden, die den Zusammenhang der Anforderungskategorien mit den auf den verschiedenen Ebenen durchzuführenden Analysen zeigen.

In den Matrizen werden die für die Planung anzuwendenden Arbeitsschritte für die Verifizierung durch Analyse dargestellt.

5.7 Verifizierung durch Designreview

5.7.1 Allgemeines

Entsprechend den gewählten Verifizierungsgrundsätzen muss auf der Grundlage der Verifizierungsstrategie für die verschiedenen Anforderungskategorien ein Designreview-Programm festgelegt werden.

5.7.2 Designreview-Programm

Bei der Definition des Designreview-Programms sind folgende Faktoren zu beachten:

- a) Tätigkeit muss in der Prüfung eines Dokuments oder einer Zeichnung auf Konformität mit einer bestimmten Anforderung bestehen.
- b) Tätigkeit sollte gleichzeitig mit den Designreviews für ein Produkt ausgeführt werden.
- c) Tätigkeit darf die Prüfung von Aufzeichnungen nachgeordneter Ebene einschließen (z. B. werden Anforderungen durch Tests auf nachgeordneter Ebene verifiziert).

5.7.3 Designreview auf Verifizierungsstufen

Eine Verifizierung durch Designreview sollte nur auf der Qualifikationsstufe erfolgen.

5.7.4 Designreview auf Verifizierungsebenen

Eine Verifizierung durch Designreview darf auf allen Verifizierungsebenen angewendet werden.

5.7.5 Designreview-Matrizen

Auf der Basis der geltenden Verifizierungsmatrix dürfen Matrizen für Designreviews festgelegt werden, die den Zusammenhang der Anforderungskategorien mit den auf den verschiedenen Ebenen durchzuführenden Designreview-Tätigkeiten zeigen.

In den Matrizen werden die für die Planung anzuwendenden Arbeitsschritte für die Verifizierung durch Designreview dargestellt.

5.8 Verifizierung durch Sichtprüfung

5.8.1 Allgemeines

Entsprechend den gewählten Verifizierungsgrundsätzen müssen ein Prüfprogramm und eine Modellphilosophie auf der Grundlage der Verifizierungsstrategie für die verschiedenen Anforderungskategorien festgelegt werden.

5.8.2 Prüfprogramm

Bei der Definition des Prüfprogramms sind folgende Faktoren zu beachten:

- a) Tätigkeit muss in der Prüfung von Hardware und Software auf Konformität mit der einschlägigen Dokumentation bestehen.
- b) Prüfung könnte ergänzend zum Designreview erfolgen.
- c) Prüfung sollte im Rahmen mit der Qualitätssicherung während des Herstellungs- oder Integrationsprozesses erfolgen.
- d) Bei der Verifizierung im Orbit darf die Prüfung durch die Besatzung ausgeführt werden.

5.8.3 Prüfung auf Verifizierungsstufen

Verifizierung durch Sichtprüfung darf auf allen Stufen verwendet werden.

5.8.4 Prüfung auf Verifizierungsebenen

Verifizierung durch Sichtprüfung darf auf allen Verifizierungsebenen durchgeführt werden.

5.8.5 Prüfmatrizen

Auf der Basis der geltenden Verifizierungsmatrix dürfen Matrizen für die Sichtprüfung festgelegt werden, die den Zusammenhang der Anforderungskategorien mit den auf den verschiedenen Ebenen auf den jeweiligen Verifizierungsstufen durchzuführenden Sichtprüfungen zeigen.

In den Matrizen werden die für die Planung anzuwendenden Arbeitsschritte für die Verifizierung durch Sichtprüfung dargestellt.

5.9 Verifizierung bei Wiederholung des Flugs

5.9.1 Verifizierungsprogramm

Nach Sichtung und Auswertung der vorhandenen Dokumentation auf der Grundlage des vorangegangenen Flugs muss ein neues Verifizierungsprogramm unter Berücksichtigung der für den neuen Flug geltenden Anforderungen und bei Überprüfung der erneut einzusetzenden Hardware und Software erstellt werden.

5.9.2 Tätigkeiten

Die folgenden Festlegungen gelten bei einer Wiederholung des Flugs sowohl mit als auch ohne Designänderungen.

Für die Planungs- und Identifizierungsphasen sind folgende Dokumente zu überprüfen, zu analysieren und zu beurteilen.

- a) Endeinheit-Datenpaket (EIDP)
Das Endeinheit-Datenpaket muss Einheit für Einheit überprüft werden, um Tätigkeiten für die Wiederholung der Verifizierung zu bestimmen.
- b) FMECA
Die FMECA muss darauf überprüft werden, ob sie noch Gültigkeit hat.
- c) Frühere Aufzeichnungen müssen auf bestimmte Ereignisse während der Integration, des Tests, der Mission, der Reintegration und des Transports analysiert werden.

- d) Beanstandungsmeldungen und Sonderfreigaben müssen daraufhin überprüft werden, wie weit sie auf „neue“ Beanstandungsmeldungen/Sonderfreigaben übertragbar sind (siehe ECSS-Q-20-09).

Den neuen Beanstandungsmeldungen/Sonderfreigaben sind für Zwecke der Rückverfolgbarkeit die Nummern der Vorversionen zuzuordnen.

- e) Berichte über Fehler und Ausfälle während der Wiederholung des Flugs müssen hinsichtlich ihrer Auswirkung auf die Verifizierung überprüft werden.
- f) Spezifikationen und Schnittstellen-Anforderungsdokumente
Soll ein Produkt bei einer Wiederholung des Flugs wiederverwendet werden, müssen Spezifikationen und Schnittstellen-Anforderungsdokumente hinsichtlich der Anwendbarkeit bestehender Anforderungen, neuer Anforderungen, Anpassung, neuer Umgebung und Tätigkeiten für die Überholung einschließlich Designänderungen überprüft werden.

Dies kann zu einer Aktualisierung der Spezifikation mit neuen oder geänderten Festlegungen zur Verifizierung führen.

- g) Mit Hilfe einer Strukturanalyse, einer Analyse der Bruchmechanik oder der Liste der Einheiten mit begrenzter Lebensdauer sind die Bereiche (z. B. Verbindungsstellen) zu ermitteln, die einen Zugang (bei Anforderungen zur Demontage) für die Sichtprüfung oder eine zerstörungsfreie Prüfung vor der Wiederholung des Flugs erfordern.

6 Durchführung der Verifizierung

6.1 Allgemeine Aspekte

Bei der Einführung und Durchführung eines Verifizierungsprogramms sind folgende allgemeine Faktoren zu betrachten:

- a) Durch Mitwirkung an der Erarbeitung von Spezifikationen ist sicherzustellen, dass für die einzelnen Anforderungen die richtigen Verifizierungskriterien festgelegt werden.
- b) Die Verifizierung hat Auswirkungen auf das Design (z. B. Modularität, Testbarkeit, Zugänglichkeit).
- c) Es muss ein schlüssiger Ansatz für die Durchführung der Verifizierung auf allen Ebenen gefunden werden.
- d) Es ist für eine frühe Verifizierung kritischer Einheiten zu sorgen, um das Risiko später Ausfälle zu senken.
- e) Das Design und die Verwendung von Bodendienstgeräten, Simulatoren und Testsoftware (z. B. bei Wiederverwendung für Flugeinsätze) sind zu optimieren.
- f) Kosten und Zeitbedarf sind zu minimieren, indem eine unnötige Wiederholung von Aufgaben vermieden wird.
- g) Der Einsatz von Testeinrichtungen ist zu optimieren.
- h) Die Rückkopplung von im Orbit ermittelten Ergebnissen im Verifizierungsprozess bei Projekten mit Wiederverwendung des Raumfahrzeugs oder im Falle wiederverwendbare Produkte ist zu planen.
- i) Es ist für eine ausreichende Dokumentation bei der Verifizierung von Schnittstellen zu sorgen.
- j) Es sind innovative Lösungen zu untersuchen, die die Verifizierungskosten insgesamt senken können.
- k) Es ist für eine ausreichende Transparenz und eine Nachweisbarkeit der durchgeführten Verifizierungstätigkeiten zu sorgen.

6.2 Zuständigkeiten

6.2.1 Zuständigkeitsfestsetzung

Der Lieferant muss die Zuständigkeiten für die Durchführung des Verifizierungsprogramms festlegen.

Im Sinne eines abgestimmten Engineeringansatzes ist das Verifizierungspersonal bereits zu einem frühen Zeitpunkt in den Projektablauf einzubeziehen, damit die Definition der Verifizierungsanforderungen nicht losgelöst von der eigentlichen Durchführung der Verifizierung erfolgt.

In Anhang B.5 sind typische Aufgaben für das Verifizierungspersonal beschrieben.

6.2.2 Verifizierungskontrollausschuss (VCB)

Der VCB ist unter Mitwirkung des Kunden und des Lieferanten einzusetzen.

Aufgabe des VCB ist die Bewertung des und Zustimmung zum jeweiligen Stand des Verifizierungsprozesses einschließlich der Genehmigung des Verifizierungsendes.

Der Stand der Verifizierung sollte regelmäßig während der Durchführung des Projekts und bei wichtigen Reviews festgestellt werden.

6.2.3 Testbereitschaftsreview (TRR) und Review nach dem Test (PTR)

Der Lieferant muss Reviews abhalten, um Testbereitschaft anzuzeigen, vorläufige Ergebnisse zu überprüfen und um das Testende bekannt zu geben.

Diese Reviews müssen vor und nach allen wichtigen mit der Integration und dem Testen im Zusammenhang stehenden Tätigkeiten durchgeführt werden (siehe prEN 13291-2).

Der Kunde sollte zu jedem Review hinzugezogen werden.

6.2.4 Fehleruntersuchungsausschuss (NRB)

Wenn bei der Verifizierung ein schwerwiegender Fehler erkannt wird, muss eine Beanstandungsmeldung verfasst und durch einen NRB bearbeitet werden (siehe ECSS-Q-20-09).

Insbesondere wird die Verwendung eines Fragebogens zur Sammlung statistischer Daten zur Eingabe in eine Datenbank hier dringend empfohlen, in der die bei der Verifizierung gewonnenen Erfahrungen und Ergebnisse eingehen.

6.2.5 Dokumentation der Zuständigkeiten

Die Zuständigkeiten für die Verifizierung müssen vom Lieferanten dokumentiert und vom Kunden genehmigt werden (siehe 6.6 bezüglich Einzelheiten).

Vor der Verabschiedung des Leitdokuments sollte keine Tätigkeit im Rahmen des Verifizierungsprozesses beginnen.

6.3 Verifizierungsplanung

6.3.1 Einsetzung von Planungsaktivitäten

Auf der Grundlage der Prozesslogik und unter Berücksichtigung der Modellphilosophie, der Verifizierungsstrategien, des Integrations- und Testprogramms, des Programms für Analyse/Designreview und Prüfung und der festgelegten Verifizierungswerkzeuge ist ein Plan aufzustellen, der die Verifizierungstätigkeiten mit den Projektmeilensteinen und den für das Programm geltenden Randbedingungen in Einklang bringt.

Die Programmtiefe hängt vom Produkttyp und der jeweiligen Projektphase ab.

6.3.2 Planungselemente

Die Verifizierungsplanung muss folgende Elemente berücksichtigen:

- Produktbaum (von der untersten Ebene aufwärts);
- zutreffende Modelle;
- geschätzter Zeitaufwand für Beschaffung, Design und Herstellung des einzelnen Modells;
- Anwendung der Modelle (entsprechend der Modellphilosophie);
- geschätzter Zeitaufwand für die Integration von Modellen;
- gewähltes Testprogramm und -folge auf verschiedenen Ebenen mit Zeit- und Kostenschätzung;
- Analyse, Designreview und Prüftätigkeiten, die entsprechend der Verifizierungsstrategien und Zeit- und Kostenschätzung aufeinander abgestimmt sind;
- mit der Beschaffung der erforderlichen Verifizierungswerkzeuge verbundene Tätigkeiten und Zeitaufwand;
- Projektmeilensteine und zugehöriges Verifizierungsergebnis.

6.3.3 Verbindung zum Projektlebenszyklus

Die Verifizierungsplanung muss auf den Projektlebenszyklus abgestimmt werden.

Bild 1 zeigt beispielhaft den Zusammenhang des Verifizierungsprozesses mit den Projektlebenszyklen (siehe EN 13290-4).

Anhang B.4 enthält Leitlinien für Tätigkeiten im Rahmen der Verifizierung.

6.3.4 Dokumentation

Als korrekten Nachweis für die Planung des Verifizierungsprozesses muss der Lieferant eine Dokumentation erstellen, die die Grundlage für die darauf folgende Durchführung bildet (weitere Einzelheiten hierzu siehe 6.6.2.4).

Die Dokumentation muss vom Kunden genehmigt werden.

6.4 Werkzeuge

6.4.1 Allgemeines

Es muss der Umfang der Verifizierung von Werkzeugen zur Unterstützung des Verifizierungsprogramms festgelegt werden.

Für Werkzeuge als lieferbare Einheiten sind formalisierte Verifizierungsverfahren anzuwenden.

6.4.2 Werkzeugvalidierung

Es muss der Nachweis erbracht werden, dass die Werkzeuge für ihren vorgesehenen Einsatz geeignet sind.

6.4.3 Bodendienstgeräte (GSE)

6.4.3.1 Einleitung

Bodendienstgeräte werden zur Unterstützung der Montage, der Integration, von Tests, der Handhabung, des Transports und von Tätigkeiten im Rahmen der Startvorbereitung verwendet.

6.4.3.2 GSE-Validierung

GSE müssen auf der Grundlage der erwarteten Umweltbedingungen und betrieblicher Auflagen validiert werden.

Bei Gefährdungen von Personal, Flughardware, Einrichtungen und der Umwelt ist nach EN ISO 14620-1 vorzugehen.

6.4.3.3 GSE-Testprogramm

Es muss ein Testprogramm erstellt werden, um die Funktionen und die Leistung aller GSE und die Eignung der Schnittstellen für Fluggeräte und -einrichtungen zu validieren.

6.4.3.4 Modifizierte oder umkonstruierte Bodendienstgeräte

Modifizierte oder umkonstruierte Bodendienstgeräte oder Geräte für eine neue Anwendung müssen in dem vor Gebrauch erforderlichen Umfang erneut validiert werden.

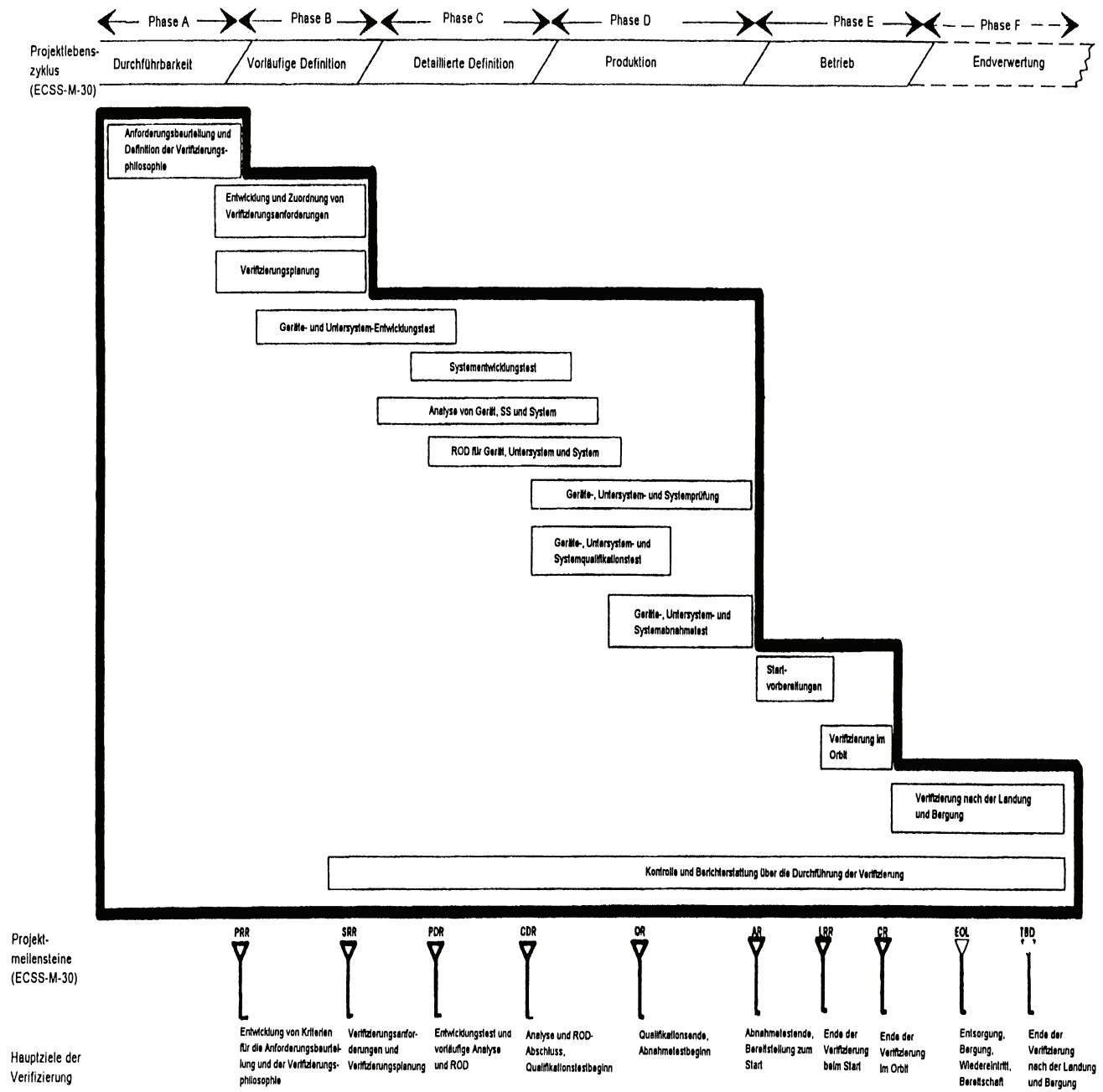


Bild 1 — Zusammenhang zwischen dem Verifizierungsprozess und dem Projektlebenszyklus

6.4.4 Softwarevalidierung (SVF)

6.4.4.1 Einrichtung zur Softwarevalidierung (SVF)

Zur Softwarevalidierung ist ein Prüfstand zu benutzen, der für alle Phasen von Tests und der Validierung von Softwaretests während des Flugs einsetzbar ist. Er wird während der Softwareentwicklung vor der Integration der Software in die Zielhardware als Werkzeug zur Unterstützung einer neutralen Softwarevalidierung und Softwarepflege verwendet.

Insbesondere muss die SVF:

- a) die Bildung von Modellen der Umgebung, in der die Software zu betreiben ist (einschließlich der Fähigkeit, Reserven und Fehler einzugeben);
- b) die Verifizierung der Bordsoftware unter Betriebsbedingungen mit nicht in die Software eingreifenden Methoden;
- c) die Fehlersuche und -behebung bei Bordsoftware unterstützen.

6.4.4.2 SVF-Validierung

Die SVF ist durch Vergleich der Ergebnisse von Testsimulationen mit der geforderten Leistung zu validieren.

6.4.5 Simulatoren

6.4.5.1 Gebrauch von Simulatoren

Simulatoren können während der Integration und Tests auf allen Ebenen zur Simulation von Einheiten, Funktionen, Bedingungen oder Schnittstellen, d. h. ohne die echte Hardware und Software, verwendet werden.

6.4.5.2 Validierung von Simulatoren

Mit der Validierung von Simulatoren ist nachzuweisen, dass deren Eigenschaften auf die Bedingungen des simulierenden Tests abgestimmt sind.

6.4.6 Software für die Verifizierung durch Analyse

6.4.6.1 Verwendung

Software wird häufig bei der Verifizierung durch Analyse eingesetzt.

6.4.6.2 Softwarevalidierung

Es ist Software zu bevorzugen, die für ähnliche Anwendungen bereits validiert ist.

Dabei ist ihre Eignung für die vorgesehene Anwendung zu bewerten.

Noch nicht validierte Software ist vor ihrer Anwendung zu validieren.

6.4.7 Einrichtungen und Geräte für Integration und Tests

6.4.7.1 Einleitung

Zur Unterstützung des Integrations- und Testprogramms können entsprechende Einrichtungen und Laborgeräte verwendet werden.

6.4.7.2 Validierung von Einrichtungen und Geräten

Im Rahmen des gesamten Integrations- und Testprozesses ist die Eignung von Testeinrichtungen und -geräten hinsichtlich Leistung und Eichung nachzuweisen.

6.5 Durchführung und Kontrolle der Verifizierung

6.5.1 Überwachung

Die Durchführung des Verifizierungsprogramms muss anhand eines Konzepts mit täglicher Kontrolle zur Feststellung möglicher Probleme überwacht werden, um das Risiko eines Kostenanstiegs und von Zeitverzögerungen zu verringern.

6.5.2 Datenbank

Der Verifizierungsprozess sollte durch eine Datenbank unterstützt werden, die es ermöglicht:

- alle Anforderungen auf jeder Verifizierungsebene systematisch zurückzuverfolgen;
- Überprüfung der Kohärenz zwischen Produkten und Ebenen durchzuführen;
- den Verifizierungsprozess während des Projektlebenszyklus zu überwachen;
- die Auswirkungen von Änderungen in den Anforderungen oder Risiken bei der Verifizierung auf nachgeordneter Ebene auf den unterschiedlichen Ebenen zu identifizieren;
- Daten zur Erarbeitung der Dokumentation für die Projektverifizierung schnellstmöglich und flexibel zu übermitteln;
- eintönige Arbeiten zu minimieren;
- Fehler zu beseitigen;
- Verifizierungsdaten von nachgeordneten Ebenen in übergeordnete Ebenen zu integrieren.

6.5.3 Erneute Verifizierung

Jede Anforderung sollte nur einmal verifiziert werden, jedoch sollte in den folgenden Fällen eine erneute Verifizierung erfolgen:

- bei Ausfall und Reparatur nach Entscheidung durch den NRB (siehe EN 14097);
- nach Demontage oder nach Lösen von Verbindungen;
- bei Produkten, die in einer Mission erneut eingesetzt werden;
- nach Überholung, Instandhaltung oder Designänderungen;
- nach Änderungen von Anforderungen nach einer Erstverifizierung.

6.5.4 Nachweis der Verifizierung

Der Lieferant muss den Nachweis der Verifizierung oder der erneuten Verifizierung dokumentieren und dem Kunden zuleiten (weitere Einzelheiten zur Dokumentation siehe 6.6).

6.5.5 Verifizierungsabschluss

Der Lieferant muss die Beeindigung des Verifizierungsprozesses dokumentieren und den Nachweis darüber dem Kunden zur Zustimmung zuleiten (weitere Einzelheiten zur Dokumentation siehe 6.6). Nachdem dem entsprechenden Dokument zugestimmt worden ist, gilt die Verifizierung als abgeschlossen.

6.5.6 Eignung von Tests

Zur Optimierung der mit Tests verbundenen Arbeiten müssen Tests auf ihre Eignung untersucht werden, Ausfälle zu erkennen.

Bei der Optimierung sind damit verbundene Kosten und Risiken zu berücksichtigen.

Zur Beurteilung der Eignung von Tests sollten statistische Daten herangezogen werden.

Bei dieser Beurteilung ist davon auszugehen, dass bei Tests auf dem Boden nur ein Teil der Mängel bei Raumfahrzeugen erkannt wird; einige Fehler bleiben unerkannt und können schließlich zu Ausfällen schon in einer frühen Phase eines Flugs führen.

Zur Verringerung der Wahrscheinlichkeit solcher Ausfälle sind Tests mit der größten Aussagekraft zu wählen.

6.5.7 Auswertung von Erfahrungen

Die während des Verifizierungsprozesses gewonnenen Erfahrungen (einschließlich der Ergebnisse der Beurteilung der Eignung von Tests) müssen gesammelt in die Definition des nächsten Verifizierungsprogramms einfließen.

6.6 Dokumentation

6.6.1 Dokumentationsschritt

Über den Verifizierungsprozess und die dabei durchgeführten Tätigkeiten ist eine gesonderte Dokumentation zu erstellen.

Hierbei ist ein Kompromiss zu finden zwischen der Minimierung des Dokumentationsaufwands zur Einhaltung der Kostenvorgaben und der Anforderung, den Verifizierungsablauf rückverfolgen zu können, was für die Risikominimierung und bei Rückführungsmaßnahmen von Bedeutung ist.

Die Dokumentation des Verifizierungsprozesses ist in Bild 2 dargestellt.

ANMERKUNG Die Pfeile spiegeln die logische Verknüpfung zwischen Dokumenten wider und stellen nicht notwendigerweise den Prozessablauf dar.

Beispielsweise sollten bei einer zu verifizierenden thermischen Anforderung für ein System mit einem Wärmebilanztest und zugehöriger Analyse auf der Qualifikationsstufe bei diesem Ansatz die folgenden Schritte durchgeführt werden:

- die Anforderung und der jeweiligen Verifizierungsschritt (d. h. „T“- und „A“-Methoden auf „System“-ebene in der „Qualifikations“-stufe) werden in der betreffenden Spezifikation in der zugehörigen Verifizierungsmatrix angegeben;
- der für das System aufgestellte Montage-, Integrations- und Verifizierungsplan legt die betreffenden Verifizierungsereignisse und zugehörigen Abläufe fest (d. h. Wärmebilanztest und thermische Analyse) und führt sie in den für die einzelnen Tätigkeiten vorgesehenen Vordrucken gesondert auf;

- die Testanforderungen, die die allgemeinen in der Testanforderungsspezifikation genannten Testanforderungen für das Projekt berücksichtigen, werden nachfolgend detailliert in einer Wärmebilanz-Testspezifikation aufgeführt, woran sich mehrere Verfahrensanweisungen mit Angabe der Einzelschritte anschließen;
- die Testergebnisse werden in einem besonderen Bericht zusammengefasst;
- parallel dazu wird eine Analyse der Testtätigkeiten durchgeführt (d. h. Vorhersage der Testergebnisse/Korrelation); die Testergebnisse werden im zugehörigen Analysebericht angegeben;
- die Synthese der durchgeführten Verifizierungstätigkeiten (Test plus Analyse) wird im Verifizierungsbericht beschrieben;
- das Verifizierungskontrolldokument des Systems verfolgt den Verifizierungsprozess, gibt den jeweiligen Stand an und dokumentiert schließlich den Abschluss der Verifizierung.

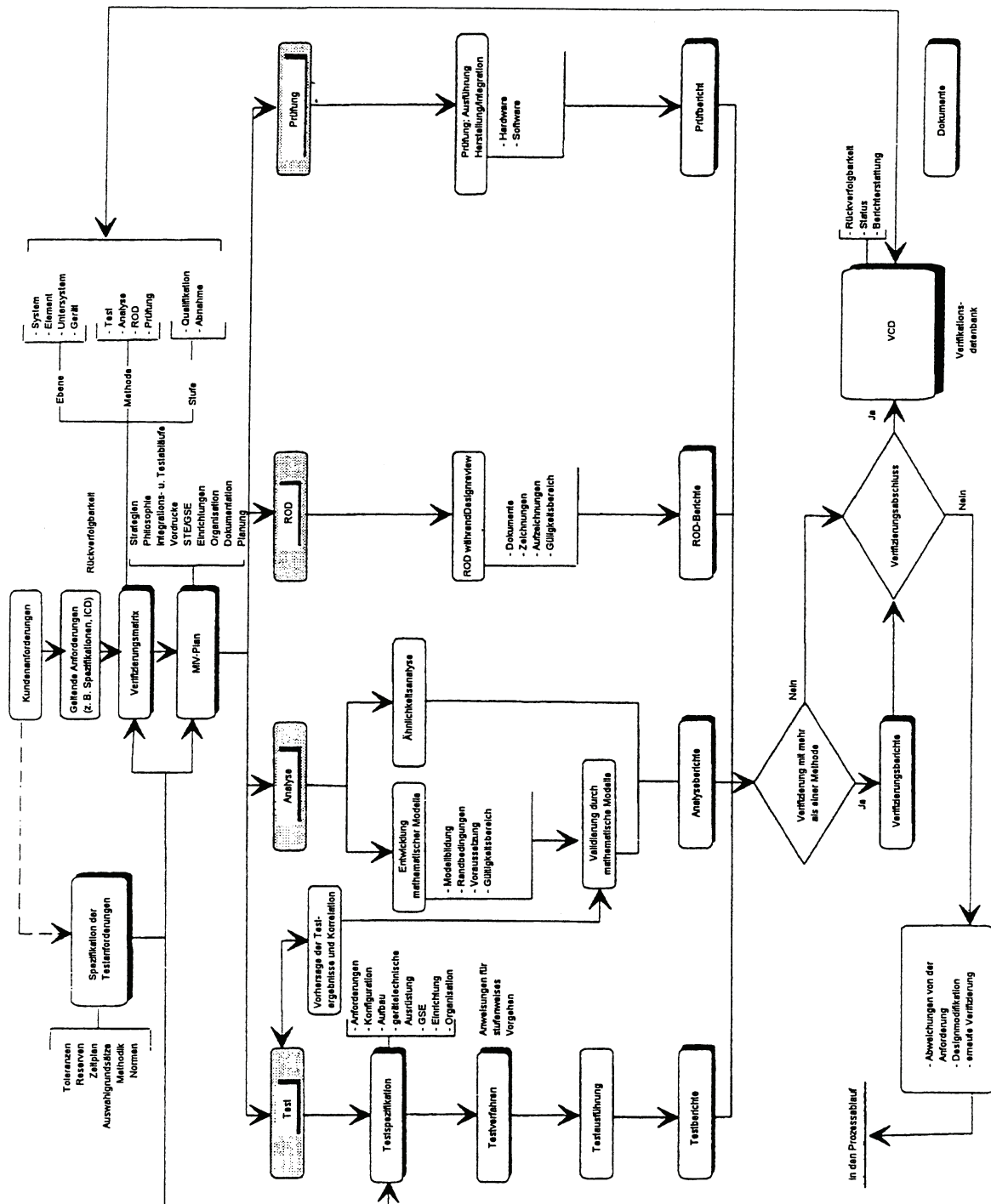


Bild 2 — Verifizierungsdokumentation

6.6.2 Verifizierungsdokumente

6.6.2.1 Allgemeines

Bei den folgenden Verifizierungsdokumenten für Projekte und Produkte ist der jeweilige Anwendungsbereich zu beachten (die DRD-Nummer bezieht sich auf Anhang A).

6.6.2.2 Verifizierungsmatrix

Die Verifizierungsmatrix muss für jede Anforderung auf der jeweiligen Verifizierungsebene und -stufe die Verifizierungsmethode festlegen. Sie darf Teil der Produktspezifikation sein.

Die Verifizierungsmatrix ist die Basis für das Verifizierungskontrolldokument.

Das Dokument muss die festgelegten Anforderungen in Anhang C erfüllen.

6.6.2.3 Spezifikation der Testanforderungen

Die Spezifikation der Testanforderungen ist in der Regel eine Spezifikation zur Systemunterstützung, die für alle Verifizierungsebenen für die jeweiligen Produktspezifikationen (z. B. System-, Untersystem- und Gerätespezifikation) gilt.

Sie muss allgemeine Anforderungen für Tests, Prüfabläufe, Reserven, Zeiten, Toleranzen, Auswahlgrundsätze und Methodik enthalten.

Dieses Dokument sollte eine angepasste Fassung von prEN 14824 (Testen) sein.

6.6.2.4 Montage-, Integrations- und Verifizierungsplan (MIV-Plan)

Der MIV-Plan muss den Rahmen für den Verifizierungsprozess bilden und nachweisen, wie die Anforderungen mit einem einheitlichen Ansatz verifiziert werden. Dieser Plan umfasst den Montage-, Integrations- und Testplan.

Unter besonderen Umständen (z. B. bei Projekten mit einem komplexen Produktionszyklus) darf der Montage- und Integrationsplan ein gesondertes Dokument bilden.

Bei bestimmten Produkten auf nachgeordneter Ebene (z. B. einfache Geräte) kann der MIV-Plan praktisch mit dem Testplan übereinstimmen.

Der Plan muss den Ansatz zur allgemeinen Verifizierung, die Modellphilosophie, die Hardwarematrix, die Verifizierungsstrategien für jede Anforderungskategorie, die Analyse, das Designreview und Prüfprogramm, das Montage-, Integrations- und Testprogramm, die bei der Verifizierung zu verwendenden Vordrucke und die zugehörige Planung, die gewählten Testeinrichtungen, die Verifizierungswerkzeuge, die Methodik zur Verifizierungskontrolle, die zugehörige Dokumentation, das Verifizierungsmanagement und -organisation beschreiben. Das Dokument muss die in Anhang D festgelegten Anforderungen erfüllen.

6.6.2.5 Verifizierungskontrolldokument (VCD)

Das Verifizierungskontrolldokument muss alle Anforderungen aufführen, die mit den gewählten Methoden auf den jeweiligen Stufen und Ebenen zu verifizieren sind und ersetzt in diesem Sinne die Verifizierungsmatrix und ermöglicht eine Rückverfolgbarkeit der Anforderungen während der Phase C/D und gibt Aufschluss darüber, wie und wann die einzelne Anforderung nach Plan verifiziert werden soll und wann sie tatsächlich verifiziert wird. Das Dokument muss die in Anhang E festgelegten Anforderungen erfüllen.

Das VCD bedarf der ausdrücklichen Zustimmung durch den Kunden und wird, wie in prEN 13291-2 näher beschrieben, Teil des Endeinheit-Datenpakets.

6.6.2.6 Testspezifikation

Eine Testspezifikation kann für eine einzelne oder mehrere Prüfungen im Rahmen eines Tests, wie sie in den Vordrucken zum MIV-Plan aufgeführt sind, einzelfallspezifisch erarbeitet werden (z. B. um sie auf eine Testeinrichtung abzustimmen).

Dieses Dokument stellt einen Zwischenschritt in der Definition des Testablaufs zwischen dem Gesamtplan (MIV-Plan) und dem einzelnen Testverfahren dar. Es könne mit den oben aufgeführten Dokumenten kombiniert werden, was von den konkreten Projektanforderungen abhängt.

Die Testspezifikation beschreibt die Zielsetzung der jeweiligen Prüfung, den gewählten Ansatz, die Konfiguration des untersuchten Gegenstands, die Beschreibung des Testaufbaus, das notwendige GSE, die geräte-technische Ausrüstung, die Testbedingungen, die erforderlichen Einrichtungen, den Versuchsablauf mit detaillierten Anforderungen hinsichtlich der Verifizierung, die Kriterien für das Bestehen des Tests, die Organisation und Zuständigkeiten, die zugehörige Dokumentation, den Zusammenhang mit der Produktsicherung und den Zeitplan. Das Dokument muss die in Anhang F festgelegten Anforderungen erfüllen.

6.6.2.7 Testverfahren

Das Testverfahren muss eine ausführliche Beschreibung der einzelnen Schritte des Versuchsablaufs entsprechend den jeweiligen Testanforderungen enthalten.

Es muss den Zweck des Tests und die anzuwendenden Dokumente angeben, eine Verweisung auf die maßgebende Testspezifikation, die Versuchsteilnehmer, ein Verzeichnis der Werkzeuge und Prüfgeräte und eine Beschreibung des Testablaufs enthalten.

Das Dokument muss die in Anhang G festgelegten Anforderungen erfüllen.

6.6.2.8 Testbericht

Der Testbericht muss die Testdurchführung, die Ergebnisse und deren Auswertung im Hinblick auf die Testanforderungen beschreiben.

Der Bericht muss eine Einleitung, die Testbeschreibung, die Testergebnisse einschließlich der durchgeführten Versuche umfassen, ebenso wie die Schlussfolgerungen unter besonderer Berücksichtigung der jeweiligen Verifizierungsanforderungen und Angaben zu Abweichungen vom vorgeschriebenen Testablauf.

Das Dokument muss die in Anhang H festgelegten Anforderungen erfüllen.

6.6.2.9 Analysebericht

Der Analysebericht muss für jede Analyse die jeweiligen Annahmen, verwendeten Methoden und Verfahren sowie Ergebnisse beschreiben.

Er muss den ordnungsgemäßen Nachweis über die Verifizierung der Anforderungen und Hinweise auf Abweichungen enthalten.

Das Dokument muss die in Anhang I festgelegten Anforderungen erfüllen.

6.6.2.10 Designreview-Bericht

Der Designreview-Bericht muss alle Verifizierungstätigkeiten beschreiben, die im Zusammenhang mit der Überprüfung der Dokumentation durchgeführt wurden.

Er muss den ordnungsgemäßen Nachweis über die Verifizierung der Anforderungen und Hinweise auf Abweichungen enthalten.

Das Dokument muss die in Anhang J festgelegten Anforderungen erfüllen.

6.6.2.11 Prüfbericht

Der Prüfbericht muss alle Verifizierungstätigkeiten beschreiben, die im Zusammenhang mit der Prüfung von Hardware durchgeführt wurden.

Er muss den ordnungsgemäßen Nachweis über die Verifizierung der Anforderungen und Hinweise auf Abweichungen enthalten.

Das Dokument muss die in Anhang K festgelegten Anforderungen erfüllen.

6.6.2.12 Verifizierungsbericht

Ein Verifizierungsbericht ist dann zu erstellen, wenn mehr als eine der festgelegten Verifizierungsmethoden verwendet wird, um eine Anforderung oder eine Gruppe von Anforderungen zu verifizieren.

In ihnen muss der gewählte Ansatz angegeben und ein Hinweis darauf enthalten sein, wie Verifizierungsmethoden zur Erreichung von Verifizierungszielen kombiniert wurden.

Sind diese Ziele erreicht, gilt die Verifizierung für die einzelne Anforderung als beendet.

Das Dokument muss die in Anhang L festgelegten Anforderungen erfüllen.

6.6.3 Sonstige Dokumente

Neben den oben genannten Hauptdokumenten können andere Dokumente im Verifizierungsprozess für die notwendige Rückverfolgbarkeit und die Aufzeichnung von Ereignissen eine Rolle spielen (z. B. Testkonfigurationsliste (TCL), Endeinheit-Datenpaket, Arbeitstagebücher (einschließlich Arbeitseinheiten und Arbeitseinheiten bei Abweichungen), Beanstandungsmeldungen (NCR), Anträge auf Sonderfreigaben (RFW), Handbücher, Simulationspläne und die Dokumentation über Verifizierungswerkzeuge).

Anhang A (normativ)

Verifizierungsdokumentation

Für die Verifizierungsdokumentation gilt nach 6.6 die folgende Zusammenstellung der Definitionen der Anforderungen an Dokumente (DRD) nach Tabelle A.1.

Die Tabelle enthält die DRD-Nummer (Anhang in dieser Norm), die Bezeichnung des jeweiligen Dokuments, den Anwendungsbereich für die Projektphasen (nach EN 13290-4), Angaben, wann die DRD übergeben wird, und Bemerkungen.

Allgemein gilt, dass die Verifizierungsdokumentation umfassend und eindeutig sein soll, d. h. unterschiedliche Auslegungen nicht möglich sind.

Tabelle A.1 — DRD-Verzeichnis nach EN 14725

	Dokumentbezeichnung	Gilt für Phase							Zeitpunkt der Übergabe	Bemerkungen
		0	A	B	C	D	E	F		
EN 14725 Anhang C	Verifizierungsmatrix		X	X	X				PRR, SRR, CDR	
EN 14725 Anhang D	Montage-, Integrations- und Verifizierungs- (MIV-)Plan		X	X	X	X	X	X	PRR, SRR, CDR, QR, AR, LRR, EOL	Wird, sobald gültig, in das VCD aufgenommen
EN 14725 Anhang E	Verifizierungskontroll-dokument (VCD)			X	X	X	X	X	Regelmäßig mindestens bei SRR, CDR, QR, AR, LRR, EOL	Einschließlich Montage-, Integrations- und Testplan
EN 14725 Anhang F	Testspezifikation				X	X			Mehrere Monate vor Tests	
EN 14725 Anhang G	Testverfahren				X	X	X	X	Wenige Wochen vor Tests	
EN 14725 Anhang H	Testbericht				X	X	X	X	Wenige Wochen nach Tests	
EN 14725 Anhang I	Analysebericht				X	X	X	X	Wenige Wochen nach der Analyse	
EN 14725 Anhang J	Designreview-Bericht				X	X			Wenige Wochen nach dem Designreview	
EN 14725 Anhang K	Prüfbericht				X	X	X	X	Wenige Wochen nach der Prüfung	
EN 14725 Anhang L	Verifizierungsbericht				X	X	X	X	Wenige Wochen nach Beendigung der letzten Verifizierungstätigkeiten	

Anhang B (informativ)

Leitlinien zur Verifizierung

B.1 Leitlinien zur Definition von Modellen und der Modellphilosophie

B.1.1 Einleitung

Die folgenden Leitlinien sind entsprechend den Anforderungen nach 5.3 zur Unterstützung bei der Definition der für den Verifizierungsprozess in Frage kommenden Modelle und der Auswahl der zugehörigen Modellphilosophie vorgesehen. Es werden Beispiele typischer Modelle und Philosophien für verschiedene Projektarten mit verbundenen Vorschlägen für eine sinnvolle Anwendung vorgestellt. Ferner wird auf das Konzept der Hardwarematrix und der zugehörigen Daten eingegangen.

B.1.2 Modellbeschreibung

B.1.2.1 Allgemeines

Entsprechend den Verifizierungsanforderungen können verschiedene Modelle eingesetzt werden. Es wird jeweils eine Kurzbeschreibung der wichtigsten physischen Modelle gegeben.

Bei diesen Modellen muss die Konfiguration überwacht werden (mit Ausnahmen von Modellen, die in der Entwicklung Verwendung finden, falls nicht anders angegeben).

In Tabelle B.1 sind die Modelle schematisch zusammengestellt mit Angabe des Ziels, wie sie die Wirklichkeit nachbilden und der Ebene(n), auf der das Modell angewendet wird.

B.1.2.2 Attrappe

Attrappen kommen als Unterstützung bei der Designdefinition für Architekturgesamtanalysen, beim Konfigurationsdesign und der Konfigurationsbeurteilung, der Schnittstellenkontrolle und -definition, der Beurteilung des Faktors „Mensch“, der Bewertung von Betriebsverfahren und der Layout-Optimierung zum Einsatz.

Attrappen werden danach, wie sie die Wirklichkeit nachbilden, wie folgt klassifiziert:

- Modelle mit geringer Wirklichkeitstreue: anzuwenden in den Anfangsphasen der Verifizierung (im Allgemeinen können Attrappen, die bei der Entwicklung von Anforderungen hinsichtlich der Ergonomik zum Einsatz kommen, die Wirklichkeit nur unzureichend nachbilden);
- Modelle mit hoher Wirklichkeitstreue: anzuwenden bei der Konfigurationskontrolle in allen Bereichen, in denen die Schnittstellenkontrolle und die Herstellung der Flughardware zu unterstützen ist (z. B. Leitungsführung von Geräten, Halterungen für Verbindungselemente, Befestigungspunkte).

Attrappen werden als mitwachsende Werkzeuge betrachtet, d. h. sie werden im Laufe der Zeit schrittweise verbessert, um gegebenenfalls schließlich die Endkonfiguration nachzubilden.

Attrappen werden auch bei ergonomischen Untersuchungen bei Parabelflügen und Auftriebs- und Schwimmbeckentests eingesetzt. Ihre Wirklichkeitstreue hängt von der Art des durchzuführenden Tests ab.

B.1.2.3 Entwicklungsmodell

Entwicklungsmodelle werden als Unterstützung in der Entwicklung eingesetzt.

Im Allgemeinen werden diese Modelle bei der Entwicklung eines neuen Designs oder bei umfangreichen Umgestaltungen vorhandener Designs eingesetzt.

Sie werden für jede Art von Produkten (z. B. Elektronikbox, Mechanismen, Strukturteile und thermische Geräte) benutzt und können Funktions- und Umwelttests unterzogen werden.

Ferner werden Entwicklungsmodelle bei Untersystemen (z. B. Versuchsaufbauten für die Thermalregelung mit aktivem Regelkreis, Lage- und Bahnregelungssysteme und Navigationsbedienfelder) eingesetzt.

B.1.2.4 Integrationsmodell (IM)

Integrationsmodelle (manchmal auch „elektrische Modelle“ genannt) sind hinsichtlich Elektronik und Software in ihrer Funktion Nachbildungen von Endeinheiten.

Sie werden bei Funktions- und Schnittstellentests und bei Ausfallartuntersuchungen verwendet.

Es werden handelsübliche Teile eingesetzt, die jedoch meistens von demselben Hersteller geliefert werden wie die in der Flugendeinheit verwendeten Teile hoher Zuverlässigkeit (Hi-Rel-Teile).

B.1.2.5 „Suitcase“-Modell

Das „Suitcase“-Modell wird zur Simulation der Leistung sowohl hinsichtlich der Datenverarbeitung (z. B. Fernsteuerung und Fernmessung als Formate, Bitraten, Pakettyp) wie auch im hochfrequenten Bereich verwendet.

Das „Suitcase“-Modell muss alle notwendigen Funktionen (z. B. Decoder und Transponder) simulieren.

Das Modell wird verwendet, um die Verbindung mit dem Bodensegment oder anderen externen Infrastrukturen zu testen.

B.1.2.6 Strukturmodell (SM)

In seiner Struktur ist das Strukturmodell eine vollständige Nachbildung der Endeinheit.

Es wird für die Qualifikation des Strukturdesigns und bei der Korrelation mit mathematischen Modellen eingesetzt.

Im Allgemeinen bildet das Strukturmodell eines Systems eine typische Struktur mit Strukturdummy der Geräte nach. Es enthält weiterhin typische mechanische Teile anderer Untersysteme (z. B. Mechanismen, Solarzellen-Flächen).

Ferner werden solche Modelle für eine Endvalidierung von Testeinrichtungen/GSE und zugehörigen Verfahren eingesetzt.

B.1.2.7 Thermalmodell (TM)

Das Thermalmodell ist eine vollständige Nachbildung der thermischen Eigenschaften der Endeinheit.

Es wird für die Qualifikation des thermischen Designs und bei der Korrelation mit mathematischen Modellen eingesetzt.

Im Allgemeinen bildet das Thermalmodell eines Systems eine typische Struktur mit thermischen Dummy der Geräte nach. Es enthält weiterhin typische thermische Teile anderer Untersysteme.

B.1.2.8 Struktur-/Thermalmodell (STM)

Das Struktur-/Thermalmodell vereinigt die Funktion von Strukturmodell und Thermalmodell.

Es bildet auf Systemebene eine typische Struktur mit thermostrukturellen Dummys der Geräte nach.

Das Struktur-/Thermalmodell kann auch ein Strukturmodell sein, das nach seiner Qualifikation für eine thermische Verifizierung aufgerüstet wurde (in diesem Fall werden an Strukturmodellen keine zerstörenden Prüfungen durchgeführt).

B.1.2.9 Ingenieurmodell (EM)

Das Ingenieurmodell ist in Form, Eignung und Funktion flugtypisch, jedoch ohne vollständige Redundanz und ohne Hi-Rel-Teile.

Ingenieurmodelle werden für die Qualifikation von Funktionen eingesetzt, jedoch nicht für die Verifizierung der Redundanz, den Nachweis der Überlebensfähigkeit bei Ausfällen und die Überprüfung der Parameterdrift.

Ferner wird das Ingenieurmodell für die Endvalidierung von Testeinrichtungen und GSE und den zugehörigen Verfahren eingesetzt.

B.1.2.10 Qualifikationsingenieurmodell (EQM)

Das Qualifikationsingenieurmodell weist das Design der Endeinheit auf, jedoch ohne Normteile (handelsübliche Teile sind zulässig, jedoch werden diese üblicherweise von demselben Hersteller geliefert wie Hi-Rel-Teile).

Qualifikationsingenieurmodelle werden für die Qualifikation der Leistung (einschließlich der Verifizierung von Verfahren zur Ausfallerkennung, -bestätigung und -behebung, zur Aussonderung fehlerhafter Teile und für das Redundanzmanagement) und das Testen auf EMC eingesetzt.

Sie dürfen auch bei Umwelttests eingesetzt werden, sofern die Projektleitung das Risiko übernimmt.

B.1.2.11 Qualifikationsmodell (QM)

Das Qualifikationsmodell weist in jeder Hinsicht das Design der Endeinheit auf.

Qualifikationsmodelle werden bei Funktions- und Umwelt-Qualifikationstests auf allen Ebenen eingesetzt.

Sie sind nur für Geräte/Untersysteme mit neuem Design oder für eine notwendige Deltaqualifikation zur Anpassung an das Projekt erforderlich.

B.1.2.12 Flugmodell (FM)

Das Flugmodell ist eine Flugendeinheit, die nach EN 13290-5 gestaltet ist. Es wird einem gesonderten Funktions- und Umweltabnahmetest unterzogen.

B.1.2.13 Protoflugmodell (PFM)

Das Protoflugmodell ist eine Flugendeinheit, an der vor dem Flug ein partieller oder vollständiger Protoflug-Qualifikationstest durchgeführt wird.

Die Eignung von Protoflugmodellen muss bei vorhandenen Mechanismen genau untersucht werden (Probleme bei begrenzter Lebensdauer).

B.1.2.14 Flugersatzteil (FS)

Das Flugersatzteil ist ein Ersatzteil einer für den Flug vorgesehenen Endeinheit. Es wird einem gesonderten Abnahmetest unterworfen.

Überholte Qualifikationseinheiten dürfen als Flugersatzteile verwendet werden. Im Allgemeinen sollten Qualifikationseinheiten, die mittels FMECA (siehe ECSS-Q-30) als Einzelfehler mit dem Schärfegrad „Verlust der Mission“ klassifiziert wurden, niemals für Flugzwecke eingesetzt werden.

B.1.2.15 Funktionsorientierte Modelle

Funktionsorientierte Modelle werden für die Qualifikation besonderer Funktionsanforderungen vorgesehen.

Sie sind typisch für eine Endeinheit mit eingeschränkten Qualifikationszielen.

Die Definition solcher Modelle hängt von den Projekteigenschaften und den Verifizierungsanforderungen ab.

Als Beispiele für funktionsorientierte Modelle gelten:

- Einrichtung zur Softwarevalidierung,
- aerodynamische Modelle,
- Robotik- und Automatisierungsmodelle und
- Funktionsmodelle für das Bodensegment.

B.1.2.16 Schulungsmodell

Schulungsmodelle sind für die Entwicklung von Flugverfahren und die entsprechende Schulung vorgesehen. Deshalb stellen sie üblicherweise eine funktionale Nachbildung des Flugmodells dar, das so modifiziert ist, dass es bei natürlicher Schwerkraft betrieben werden kann.

Schulungsmodelle können verwendet werden für:

- die Schulung von Flugbesatzung und Bodenpersonal,
- die Entwicklung und Verifizierung von Verfahren,
- das Erstellen von Schulungsunterlagen und
- die Sammlung von Basisdaten.

B.1.2.17 Simulatoren

Simulatoren sind für die Validierung von Einsatzszenarien vorgesehen, wenn die eigentlichen Systembestandteile nicht zur Verfügung stehen. Typische Simulatoren und ihre Funktion können sein:

- I/F-Simulatoren: Strukturschnittstelleneinrichtung, Integrationstest,
- Umweltsimulatoren: Umwelttests, Validierung des Betriebsablaufs (z. B. Sonnenkammern, Unterwassermodell) und
- Systemsimulatoren: Validierung des Betriebsablaufs, integrierte Flugbetrieb-Bodenbetrieb-Schulung, Missionssimulationen, kombinierte Simulationen.

Abhängig von der einzelnen Mission und deren Zielen kann der Simulator die Form einer Attrappe einer einfachen vordersten Stufe oder sogar eine Flugnachbildung sein.

B.1.2.18 Sonstige personenorientierte Modelle

Diese Modelle sind für die Qualifikation besonderer ergonomischen Anforderungen vorgesehen.

In Abhängigkeit von den Qualifikationszielen sind sie nur begrenzt repräsentativ.

B.1.3 Beschreibung der Modellphilosophien

B.1.3.1 Einleitung

Je nach den Verifizierungsanforderungen dürfen unterschiedliche Modellphilosophien verwendet werden.

Im Folgenden werden die wesentlichen für den Verifizierungsprozess in Frage kommenden Modellphilosophien kurz erläutert.

B.1.3.2 Prototyp-Philosophie

Dieser Ansatz wird im Allgemeinen bei Projekten angewendet, bei denen alle kostenmäßig vertretbaren Maßnahmen zur Risikominimierung ergriffen werden. Typische Eigenschaften dieser Projekte sind:

- ein neues oder komplexes Design,
- das Fehlen einer Möglichkeit, das Fluggerät nach dem Start zu bergen oder zu reparieren und
- besondere Anforderungen an die Mission.

Der Prototyp-Ansatz greift weitgehend auf die oben beschriebenen Modelle zurück, um die Verifizierungsanforderungen zu erfüllen.

Die Vorteile dieses Ansatzes bestehen in:

- der Risikominimierung,
- der Möglichkeit, an verschiedenen Modellen gleichzeitig zu arbeiten,
- der Beendigung der Qualifikationstätigkeiten vor der Abnahme und
- der Möglichkeit der Verwendung von QM oder EQM (siehe Tabelle B.1) als Integrationsersatzteil während der Tätigkeiten auf höherer Ebene.

Als Nachteile müssen hohe Kosten genannt werden.

Die betreffende Modellphilosophie muss auf die Projektanforderungen zugeschnitten sein.

Die Bilder B.1 und B.2 zeigen Beispiele von Prototyp-Philosophien für unbemannte bzw. bemannte Projekte.

In den Bildern sind die verschiedenen Modelle und ihre praktische Durchführung auf den verschiedenen Verifizierungsebenen sowie die betreffenden Testtätigkeiten und die Endnutzung erfasst.

Insbesondere zeigt Bild B.1 den üblichen Fall, in dem nach der Thermal-/Struktur-Qualifikation Teile des Modells (nämlich Struktur- und Thermalregelung) zur Vervollständigung des Ingenieurmodells in Ergänzung zu den Geräten aus den Ingenieur- oder Qualifikationsmodellen genutzt werden. Es ist zu beachten, dass nach der elektrischen und funktionalen Qualifikation des Systems das Ingenieurmodell für Bodenanlagen bis hin zum Flugbetrieb verwendet wird. Eine Rückkopplung aus der Qualifikation auf die Flugmodell-Herstellung ist ebenfalls zulässig.