

DIN EN 14092:2003-11 (D)

Raumfahrttechnik (Engineering) - Raumfahrtumweltbedingungen; Deutsche Fassung
EN 14092:2002

Inhalt	Seite
Vorwort	10
Einleitung	11
1 Anwendungsbereich	11
2 Normative Verweisungen	11
3 Begriffe und Abkürzungen	12
3.1 Begriffe	12
3.2 Abkürzungen	18
4 Gravitation	20
4.1 Einleitung	20
4.1.1 Newtonsches Gravitationsgesetz	20
4.1.2 Abweichung vom Punkt-Masse-Modell	20
4.1.3 Genaue Darstellung des Geopotentials	21
4.2 Vorstellung von Modellen	23
4.2.1 Modell	23
4.2.2 Verbindliche Modellparameter	23
4.2.3 Anwendungsrichtlinien	23
4.3 Referenzdaten	23
4.3.1 Modellausgabe	23
4.3.2 Ergebnisse typischer Missionen	23
4.4 Verweisungen	25
5 Geomagnetische Felder	26
5.1 Einleitung -- Übersicht über das geomagnetische Feld und Effekte	26
5.2 Referenzdaten über das magnetischen Feld	26
5.3 Modelle des geomagnetischen Felds und Analysemodelle	27
5.3.1 Dipolmodell	27
5.3.2 Feldmodelle mit interner Quelle	27
5.3.3 Exzentrisches Dipolmodell	28
5.3.4 Geomagnetische Koordinaten B und L	29
5.3.5 Feldmodelle mit externer Quelle	31
5.3.6 Grenzen der Magnetosphäre	32
5.4 Anpassungsrichtlinien	32
5.5 Bilder	33
5.6 Verweisungen	35
6 Elektromagnetische Strahlung von Sonne und Erde und Indizes	36
6.1 Einleitung	36
6.2 Solare elektromagnetische Strahlung	37
6.2.1 Solarkonstante	37
6.2.2 Sonnenspektrum	37
6.3 Elektromagnetische Strahlung der Erde	38
6.3.1 Erdalbedo	38
6.3.2 Infrarotstrahlung der Erde (Erdeigenstrahlung)	39
6.4 Solare und geomagnetische Indizes	39
6.4.1 Allgemeines	39
6.4.2 Beschreibung von Indizes	39

6.4.3	Sonnenzyklusabhängigkeit	40
6.4.4	Referenzindexwerte	43
6.4.5	Anpassungsrichtlinien	43
6.5	Bilder	44
6.6	Verweisungen	45
7	Die neutrale Erdatmosphäre	45
7.1	Einleitung	45
7.2	Empfohlenes Referenzmodell	45
7.3	Struktur der Erdatmosphäre	45
7.4	Atmosphärische Zustandsparameter	46
7.5	Temperatur-, Zusammensetzungs- und Dichtemodell der Erdatmosphäre	47
7.6	Temperatur-, Zusammensetzungs- und Dichtemodell der Erdatmosphäre	56
7.7	Ausgabe des Referenzmodells	57
7.8	Windmodell der Homosphäre und Heterosphäre der Erde	57
7.9	Einfache Dichtemodelle der Planetenatmosphären	59
7.10	Aerodynamik in der Erdatmosphäre	60
7.11	Bilder	62
7.12	Verweisungen	68
8	Plasmen	68
8.1	Einleitung	68
8.2	Die Ionosphäre	70
8.2.1	Beschreibung	70
8.2.2	Effekte	70
8.2.3	Modelle	70
8.2.4	Typische und Worst-Case-Parameter	71
8.3	Plasmasphäre	73
8.3.1	Beschreibung	73
8.3.2	Effekte	73
8.3.3	Modelle	73
8.3.4	Typische Parameter	74
8.4	Die äußere Magnetosphäre	74
8.4.1	Beschreibung	74
8.4.2	Effekte	75
8.4.3	Modelle	75
8.4.4	Typische und Worst-Case-Parameter	76
8.5	Der Sonnenwind	77
8.5.1	Beschreibung	77
8.5.2	Effekte	77
8.5.3	Modelle	77
8.6	Künstlich erzeugte Weltraumumgebungen	78
8.6.1	Beschreibung	78
8.6.2	Effekte	78
8.6.3	Modelle	79
8.6.4	Typische Parameter	80
8.7	Anpassungsrichtlinien	80
8.8	Verweisungen	81
9	Energiereiche Teilchenstrahlung	82
9.1	Einleitung -- Übersicht über Umgebung und Effekte energiereicher Teilchenstrahlung	82
9.1.1	Allgemeines	82
9.1.2	Weltraumumgebungen	82
9.1.3	Übersicht über Effekte	83
9.2	Quantifizierung von Effekten und zugehörige Umgebungen	84
9.3	Referenzdaten, Modelle und Analyseverfahren für die Strahlungsumgebung energiereicher Teilchen	85
9.3.1	Eingefangene Strahlungsgürtel	85
9.3.2	Modelle für Ereignisse durch Sonnenteilchen	87
9.3.3	Modelle der kosmischen Strahlungsumgebung und Modelle der Effekte	90
9.3.4	Geomagnetische Abschirmung	91
9.3.5	Sekundärstrahlung des Raumfahrzeugs	92

9.3.6	Neutronen	92
9.4	Analyseverfahren für abgeleitete Größen	92
9.4.1	Allgemeines	92
9.4.2	Ionisationsdosis	92
9.4.3	Referenzdosisdaten der Umlaufbahn	93
9.4.4	Störungsrate durch ein Einzelereignis	94
9.4.5	Verschlechterung der Solarzellen	95
9.4.6	Interne elektrostatische Aufladung	95
9.4.7	Äquivalentdosis	95
9.4.8	Nicht-ionisierende Dosis	95
9.5	Anpassungsrichtlinien: Orbital- und Missionsregime	96
9.5.1	Allgemeines	96
9.5.2	Geostationäre Umlaufbahn	96
9.5.3	MEO, HEO	96
9.5.4	LEO	96
9.5.5	Polar	96
9.5.6	Interplanetare und planetare Umgebung	97
9.6	Erstellung einer Spezifikation für eine Strahlungsumgebung	97
9.7	Bilder	98
9.8	Verweisungen	112
10	Aus Teilchen bestehende Stoffe	113
10.1	Einleitung	113
10.2	Analyseverfahren	114
10.3	Vorstellung von Modellen	115
10.3.1	Meteoroide	115
10.3.2	Weltraummüll	118
10.3.3	Staub	118
10.3.4	Marsstaub	119
10.4	Referenzdaten	119
10.4.1	Verfolgbarer Weltraummüll	119
10.4.2	Statistische Flussdichtemodelle	120
10.5	Bilder	124
10.6	Verweisungen	128
11	Verunreinigung	129
11.1	Einleitung	129
11.2	Molekulare Verunreinigung	129
11.2.1	Quellen für molekulare Verunreinigungen	129
11.2.2	Transportmechanismen	130
11.3	Teilchenverunreinigung	131
11.3.1	Quellen für eine Teilchenverunreinigung	131
11.3.2	Transportmechanismen	132
11.4	Verunreinigungseffekt	132
11.5	Modelle	132
11.5.1	Quellen	133
11.5.2	Transport von molekularen Verunreinigungen	135
11.6	Verweisungen	136
Anhang A (informativ)		138
Anhang B (informativ) Gravitation		139
B.1	Zugehörige Werkzeuge	139
B.2	Effekte	139
B.3	Gravitationsfeld an der Oberfläche eines Planeten	141
B.4	Unsicherheiten	142
B.5	Verweisungen	143
Anhang C (informativ) Geomagnetisches Feld		144
C.1	Beschreibung der Magnetosphäre	144

C.2	Herleitung der Dipolstärke aus Feldmodellkoeffizienten	144
C.3	Unverträglichkeiten und Inkonsistenzen	145
C.4	Einzelheiten und Verfügbarkeit des IGRF-Modells	146
C.5	Verweisungen	146
Anhang D (informativ) Elektromagnetische Strahlung von Sonne und Erde und Indizes		147
D.1	Einzelheiten über das Sonnenspektrum	147
D.2	Albedo- und Infrarotveränderlichkeit	147
D.3	Informationen über die Aktivitätsindizes	148
D.4	Rauschen im Radiofrequenzbereich	148
D.5	Sonnenstrahlungsdruck	148
D.6	Bilder	149
D.7	Verweisungen	153
Anhang E (informativ) Die neutrale Erdatmosphäre		154
E.1	Übersicht über Atmosphärenmodelle	154
E.2	Zugang zum MSISE-90-Modell	154
E.3	Verweisungen	155
Anhang F (informativ) Plasma		156
F.1	Oberflächenaufladung	156
F.2	Aufladung in der erdnahen Umlaufbahn (LEO)	157
F.3	NASCAP-Aufladungskode	159
F.4	POLAR-Aufladungskode	160
F.5	Weitere Aufladungskodes	160
F.6	NASA-Worst-Case-Aufladungsumgebung	160
F.7	Staudruck- und Nachlaufströmungseffekte	160
F.8	Stromansammlungseffekte	161
F.9	Zerstäubung	162
F.10	Ausbreitungseffekte in der Ionosphäre	162
F.11	Verfügbarkeit des IRI95-Modells	163
F.12	Verweisungen	164
Anhang G (informativ) Strahlung		165
G.1	Zusammenhänge mit der Strahlungsprüfung	165
G.2	Künftige Modelle	166
G.3	Quellen von Modellen	167
G.4	Werkzeuge für die Analyse der inneren elektrostatischen Aufladung	168
G.5	Weitere Informationen	168
G.6	Verweisungen	168
Anhang H (informativ) Aus Teilchen bestehende Stoffe		169
H.1	Modelle der Weltraummüllflussdichte	169
H.1.1	Allgemeines	169
H.1.2	MASTER-97	169
H.1.3	ORDEM-96	169
H.1.4	Geschwindigkeitsverteilung	170
H.1.5	Massendichte	170
H.1.6	Anwendbarkeitsarten	170
H.1.7	Anpassungsrichtlinien	170
H.1.8	Weitere Weltraummüllmodelle	171
H.2	Modellunsicherheiten	171
H.2.1	Allgemeines	171
H.2.2	Meteoroide	171
H.2.3	Weltraummüll	171
H.3	Bewertung von Schädigungen	172
H.4	Analysewerkzeuge	173

H.4.1	Allgemeines	173
H.4.2	Deterministische Analyse	174
H.4.3	Statistische Analyse	174
H.5	Nachahmung von Mondstaub	174
H.6	Verweisungen	175
Anhang I (informativ) Verunreinigungen		176
I.1	Vorhandene Werkzeuge	176
I.2	ESABASE: OUTGASSING-, PLUME-PLUMFLOW- und CONTAMINE-Module	176
I.3	JMS3D	177
I.4	CONTAM 3.2 oder CONTAM III	178
I.5	TRICONTAM	179
I.6	SOCRATES	179
I.7	SPACE II	180
I.8	MOLFLUX	180
I.9	ISEM	181
I.10	OPT	181
I.11	CAP	182
I.12	Datenbanken	182
I.13	Verweisungen	182
Bild 1 -- Geomagnetische Feldstärke in einer Höhe von 400 km, basiert auf IGRF-1995		33
Bild 2 -- Ausgabe von geomagnetischen Feldmodellen, die die täglichen Deformationen des Felds und jahreszeitliche Änderungen in der Deformation darstellen [RD5.8]		34
Bild 3 -- Änderung des geomagnetischen Felds als Funktion der Höhe		35
Bild 4 -- Standardvorhersagen der Sonnen- und geomagnetischen Aktivität während eines Zyklus ..		44
Bild 5 -- Entsprechend Modell MSISE-90 Änderung der mittleren Temperatur mit der Höhe für extrem geringe, mittlere und extrem hohe Aktivitäten		62
Bild 6 -- Entsprechend Modell MSISE-90 Änderung der mittleren Luftdichte mit der Höhe für geringe, mittlere und extrem hohe Aktivitäten		62
Bild 7 -- Entsprechend Modell MSISE-90 Änderung des mittleren atomaren Sauerstoffs mit der Höhe für extrem geringe, mittlere und extrem hohe Aktivitäten		63
Bild 8 -- Entsprechend Modell MSISE-90 Änderung des mittleren Konzentrationsprofils der atmosphärischen Bestandteile N₂, O, O₂, He, Ar, H und N mit der Höhe für mittlere Aktivitäten		63
Bild 9 -- Entsprechend Modell MSISE-90 Tages- (a) und jahreszeitliche Breiten- (b) Schwankungen der örtlichen Temperatur in einer Höhe von h = 400 km		64
Bild 10 -- Entsprechend Modell MSISE-90 Tages- (a) und jahreszeitliche Breiten- (b) Schwankungen der Luftdichte in einer Höhe von h = 400 km für mittlere atmosphärische Bedingungen ...		65
Bild 11 -- Entsprechend Modell MSISE-90 Tages- (a) und jahreszeitliche Breiten- (b) Schwankungen der Konzentration des atomaren Sauerstoffs in einer Höhe von h = 400 km für mittlere atmosphärische Bedingungen		66
Bild 12 -- Entsprechend Modell HWM-93 Tages- (a) und jahreszeitliche Breiten- (b) Schwankungen der Windbeträge und -richtungen in einer Höhe von h = 400 km für mittlere atmosphärische Bedingungen		67
Bild 13 -- Mittlere Bereiche von Protonen und Elektronen in Aluminium		98
Bild 14 -- Konturendarstellungen der Elektronen- und Protonenstrahlungsgürtel		99

Bild 15 -- Ungerichtete Flussdichten für Elektronen (a) und Protonen (b), Integral nach der Energie, auf dem geomagnetischen Äquator für unterschiedliche Energieschwellen	100
Bild 16 -- Integral der ungerichteten Flussdichten von Protonen (>10 MeV) und Elektronen (>10 MeV) in einer Höhe von 400 km, das den inneren Strahlungsgürtel „Südatlantische Anomalie“ und im Falle von Elektronen den äußeren Strahlungsgürtel in hohen Breiten darstellt	101
Bild 17 -- Die Anisotropie der Flussdichte in der erdnahen Umlaufbahn, gemittelt über eine Umlaufbahn der Raumstation für Protonen mit einer Energie von >100 MeV	102
Bild 18 -- Fluenzspektren für Sonnenprotonen für unterschiedliche Konfidenzniveaus (99 %, 95 %, 90 %, 75 % und 50 % von oben nach unten in jedem Diagramm) für unterschiedliche Missionszeiträume (Daten vom Modell JPL-1991)	102
Bild 19 -- LET-Spektren der kosmischen Strahlung für typische Missionen	104
Bild 20 -- SHIELDOSE-Datensatz zur Berechnung der Dosis für beliebige Spektren (a) Elektronendosis als Funktion von Energie und Tiefe	105
Bild 21 -- Jährliche Dosis hinter einer sphärischen Abschirmung von 4 mm auf kreisförmigen äquatorialen Umlaufbahnen in den Strahlungsgürteln als Funktion der Höhe der Umlaufbahn	108
Bild 22 -- Vorhersagen typischer Dosiswerte für typische Missionen	109
Typische jährliche Missionsdosis (sphärische Al- Abschirmung)	110
Bild 23 -- Typische Tiefendosiskurven für Erdumlaufbahnen	110
Bild 24 -- Von der ICRP festgelegte Qualitätsfaktoren für die Berechnungen der Äquivalentdosis für radiobiologische Effekte	111
Bild 25 -- Die NIEL-Kurve: (1) Energieverlust durch Protonen bei nicht-ionisierenden Wechselwirkungen (ausgedehnte Versetzungsschädigung, Versetzungsschädigung); (2) NIEL bezogen auf 10 MeV zur Ermittlung der Schädigungsäquivalenz von anderen Energien	111
Bild 26 -- Zeitliche Entwicklung der Anzahl der verfolgbaren Objekte in der Umlaufbahn	124
Bild 27 -- Höhenverteilung von verfolgbaren Objekten in LEO-Umlaufbahnen	124
Bild 28 -- Verteilung verfolgbarer Objekte als Funktion ihrer Inklination	125
Bild 29 -- Kumulative Anzahl von Einschlägen N von einer Seite auf einer willkürlich ausgerichteten Platte für einen Bereich von Mindestteilchengrößen	125
Bild 30 -- Aktivitätsverhältnisfaktor über der Dauer der Aktivität für Hauptmeteoridenströme (a) Januar - August	126
Bild 30 (fortgesetzt) -- Aktivitätsverhältnisfaktor über der Dauer der Aktivität für Hauptmeteoridenströme (b) September - Dezember	127
Verweisungen	128
Bild C.1 -- Schematische Darstellung der Magnetosphäre mit Stromflüssen und Magnetfeldlinien .	145
Bild D.1 -- Normal einfallende Sonnenstrahlung auf Meereshöhe an sehr klaren Tagen, spektrale Irradianz der Sonne außerhalb der Erdatmosphäre bei 1 AU, und spektrale Irradianzkurve des schwarzen Körpers bei T = 5 762 K	149

Bild D.2 -- Tägliche Sonnen- und geomagnetische Aktivitätsindizes über die letzten zwei Sonnenszyklen	150
Bild D.3 -- Monatliche mittlere Sonnen- und geomagnetische Aktivitätsindizes über die letzten zwei Sonnenszyklen	151
Bild D.4 -- Leistungsflussdichtepegel für unterschiedliche Frequenzbereiche von natürlich auftretenden elektromagnetischen und Plasmawellen (aus [RDD.2])	152
Bild F.1 -- Spektrogramme für Elektronen- und Ionenflussdichten während einer Aufladung	157
Bild F.2 -- Satellitenpotential und Integral der Elektronen(anzahl)flussdichte größer als 30 eV und bei 14 keV [RDF.1]	158
Bild F.3 -- Oberflächenpotential über der Elektronentemperatur für eine Anzahl von Materialien	159
 Tabellen	
Tabelle 1 -- Verbindliche Modellparameter	23
Tabelle 2 -- Werte der normierten Koeffizienten nmC vom JGM-2-Modell für Grad (n) und Ordnung (m) 9	24
Tabelle 3 -- Werte der normierten Koeffizienten nmS vom JGM-2-Modell für Grad (n) und Ordnung (m) 9	24
Tabelle 4 -- Vorhergesagter Fehler der Umlaufbahn mittels des JGM-2-Schwerkraftmodells	25
Tabelle 5 -- Änderungen der Dipolmomente von 1945 bis 1995	27
Tabelle 6 -- Das IGRF-95-Modell: Koeffizienten und ihre Säkularvariationen für Grad und Ordnung 3	29
Tabelle 7 -- Änderungen der Dipolterme und abgeleiteten Dipolmomente der IGRF-Modelle	29
Tabelle 8 -- Magnetopausenmodell nach Sibeck u. a. [RD5.17]	32
Tabelle 9 -- Hochenergetische solare elektromagnetische Flussdichte	38
Tabelle 10 -- Umrechnung von Kp in ap	40
Tabelle 11 -- Höchst-, Mittel- und Mindestwerte der über 13 Monate geglätteten solaren 10,7-cm- Radiofrequenz-Flussdichte- und des geomagnetischen Aktivitätsindex über den mittleren Sonnenszyklus	40
Tabelle 12 -- Referenzindexwerte	43
Tabelle 13 -- MSISE-90-Höhenprofile der Temperatur T, der Gesamtdichte , des Drucks p, des mittleren Molekulargewichts M und der Dichteskalenhöhe H für geringe Aktivitäten	50
Tabelle 14 -- MSISE-90-Höhenprofile der Temperatur T, der Gesamtdichte , des Drucks p, des mittleren Molekulargewichts M und der Dichteskalenhöhe H für mittlere Aktivitäten	52
Tabelle 15 -- MSISE-90-Höhenprofile der Temperatur T, der Gesamtdichte , des Drucks p, des mittleren Molekulargewichts M und der Dichteskalenhöhe H für extrem hohe Aktivitäten .	54
Tabelle 16 -- Hauptsächliche technische Probleme infolge Weltraumplasmen	69
Tabelle 17 -- Parameter für das Modell USAF für diffuse Polarlichter	71

Tabelle 18 -- Elektronendichteprofile der Ionosphäre, abgeleitet von IRI95 [RD8.2]	72
Tabelle 19 -- Elektronendichte über der L-Schale für das Modell von Carpenter und Anderson [RD8.7] unter Vernachlässigung von jahreszeitlichen und Sonnenzykluseffekten	74
Tabelle 10 -- Typische Plasmaparameter in der geostationären Umlaufbahn	76
Tabelle 11 -- Worst-Case-Standardumgebung für die Maxwellsche Zweiteilchen-Verteilungsfunktion	76
Tabelle 22 -- Sonnenwindparameter (aus RD8.14)	77
Tabelle 23 -- Typische Plasmaparameter der Magnetosheath (aus RD8.14)	78
Tabelle 24 -- Einige solare UV-Photoionisationsraten bei 1 AU (nach RD8.17)	79
Tabelle 25 -- Photoelektronenparameter der Hülle	80
Tabelle 26 -- Beispiele geeigneter Plasmaumgebungen für verschiedene Missionen	80
Tabelle 27 -- Parameter zur Quantifizierung von Strahlungseffekten	84
Tabelle 28 -- Kenngrößen von typischen Strahlungsgürtelteilchen	85
Tabelle 29 -- Standardfeldmodelle, die mit Strahlungsgürtelmodellen zu verwenden sind	86
Tabelle 30 -- Fluenzwerte für Energie, Missionsdauer und Konfidenzniveau aus dem Modell JPL-1991	88
Tabelle 31 -- Standardwahrscheinlichkeits(Vertrauens)niveaus für verschiedene Missionszeiten ...	89
Tabelle 32 -- Kumulative Anzahl von Einschlägen N von einer Seite auf eine willkürlich ausgerichtete Platte für einen Bereich von Mindestteilchengrößen mit dem ORDEM-96-Weltraummüllmodell	120
Tabelle 33 -- Kumulative Anzahl von Einschlägen N von einer Seite auf eine willkürlich ausgerichtete Platte für einen Bereich von Mindestteilchengrößen mit dem ORDEM-96-Modell	121
Tabelle 34 -- Kumulative Anzahl von Einschlägen N von einer Seite auf eine willkürlich ausgerichtete Platte für einen Bereich von Mindestteilchengrößen mit dem MASTER-Weltraummüllmodell	122
Tabelle B.1 -- Gravitationskenngrößen von Planeten	142
Tabelle B.2 -- Kovarianzfehler in normierten Koeffizienten nmC (Einheiten von 10^{-6}) vom JGM-2-Modell mit dem Grad (n) und der Ordnung (m) 9	142
Tabelle B.3 -- Kovarianzfehler in normierten Koeffizienten nmS (Einheiten von 10^{-6}) vom JGM-2-Modell mit dem Grad (n) und der Ordnung (m) 9	143
Tabelle D.1 -- Gleitendes Mittel (gemittelt über 90 min) der Albedoperzentildaten	147
Tabelle D.2 -- Gleitendes Mittel (gemittelt über 90 min) der Perzentilwerte der Infrarotstrahlung der Erde in W/m	148
Tabelle F.1 -- NASA-Worst-Case-Umgebung	160
Tabelle G.1 -- Strahlungsprüfungen	165
Tabelle H.1 -- Nenn- und Worst-Case-Parameter und Massendichten für das Müllmodell	170
Tabelle H.2 -- Unsicherheit für ein Konfidenzniveau von 90 % für Weltraummüll	172