

Inhaltsverzeichnis

Vorwort	5
1 Strategien und Nutzen der Umweltsimulation	13
1.1 Das «Bananenprinzip»	13
1.2 Prototypenprüfungen	13
1.3 Produktlebenszyklus	15
1.4 Test-Tailoring	16
2 Streßfaktoren	19
2.1 Mechanischer Streß	19
2.1.1 Vibrationen	19
2.1.1.1 Ursachen	19
2.1.1.2 Prüfungen der Vibrationsbeständigkeit	20
2.1.1.2.1 Sinusförmige Schwingungen	21
2.1.1.2.2 Rauschförmige Schwingungen	28
2.1.1.2.3 Sine-on-Random-Schwingungen	36
2.1.1.3 Prüfgeräte und Durchführung von Vibrationsprüfungen	39
2.1.1.3.1 Shaker	39
2.1.1.3.2 Leistungsverstärker	42
2.1.1.3.3 Aufspannvorrichtungen	42
2.1.1.3.4 Gleittisch	43
2.1.1.3.5 Beschleunigungsaufnehmer und Ladungsverstärker	44
2.1.1.3.6 Regelsystem	47
2.1.1.3.7 Mehrachsige Shaker	50
2.1.1.3.8 Hydraulische Schwinganlagen	51
2.1.1.3.9 Temperaturüberlagerung für Schwingprüfungen	52
2.1.2 Mechanischer Schock	53
2.1.2.1 Entstehung von schockförmigen Beanspruchungen	53
2.1.2.2 Prüfgeräte und Durchführung von Schocktests	56
2.1.2.2.1 Mechanische Schocks auf dem elektrodynamischen Shaker	57
2.1.2.2.2 Schocktestmaschinen	58
2.1.3 Falltest	61
2.2 Klimatischer Streß	62
2.2.1 Ursachen	62
2.2.1.1 Natürliches Klima	62
2.2.1.2 Zivilisationsbedingter klimatischer Streß	63
2.2.1.3 Hohe Luftfeuchtigkeit	65
2.2.1.3.1 Definition der Luftfeuchtigkeit	66
2.2.1.3.2 Relative Luftfeuchtigkeit	66
2.2.1.3.3 Absolute Luftfeuchtigkeit	69
2.2.1.3.4 Taupunkt	69
2.2.1.3.5 Taupunktmethode	70
2.2.1.3.6 Psychrometrische Messung der Luftfeuchte	70

2.2.1.3.7	Haarhygrometer	71
2.2.1.3.8	Elektronische Verfahren	72
2.2.2	Wirkungen auf technische Erzeugnisse	72
2.2.2.1	Absorption	73
2.2.2.2	Adsorption	73
2.2.2.3	Diffusion	75
2.2.2.4	Kriechströme durch Betauung	77
2.2.2.5	Elektrochemische Migration	78
2.2.2.6	Festfrieren bewegter Teile	81
2.2.2.7	Nichtkondensierende Feuchte	82
2.2.2.8	Atmungseffekt	83
2.2.3	Prüfungen zur Absicherung gegen Feuchteausfälle	84
2.2.3.1	Kondenswasserprüfung	84
2.2.3.1.1	Prüfklima	85
2.2.3.2	Feuchte Wärme: zyklisch	86
2.2.3.2.1	Prüfung für elektronische Erzeugnisse	86
2.2.3.2.2	Prüfbedingungen für elektromechanische bzw. mechanische Erzeugnisse	86
2.2.3.3	Feuchte Wärme: konstant	88
2.2.4	Prüfgeräte und Durchführung von Klimaprüfungen	89
2.2.4.1	Klimaschränke	89
2.2.4.2	Sicherheitshinweise	96
2.2.4.3	Kondenswasserkammern	96
2.3	Korrosion	97
2.3.1	Ursachen	97
2.3.1.1	Elektrolytische Korrosion	97
2.3.1.2	Reibkorrosion	100
2.3.1.3	Spannungsrißkorrosion	101
2.3.2	Prüfungen zur Absicherung der Korrosionsbeständigkeit	101
2.3.2.1	Salzsprühnebelprüfung	102
2.3.2.2	Kondenswasserprüfung mit Schwefeldioxid	106
2.3.3	Prüfgeräte und Durchführung von Korrosionsprüfungen	108
2.4	Lichtechtheit	109
2.4.1	Auswirkungen von Sonnenlicht	112
2.4.1.1	Infrarotanteil	112
2.4.1.2	Ultraviolettanteil	113
2.4.1.3	Kombinierte Schäden	115
2.4.2	Prüfungen mit Sonnensimulation	116
2.4.2.1	Naturbewitterungstests	116
2.4.2.2	Künstliches Bewittern bzw. Bestrahlen im Labor	117
2.4.2.2.1	Lichtquellen	118
2.4.2.2.2	Sonnensimulation durch künstliches Bestrahlen mit UV-Strahlung	121
2.4.2.2.3	Sonnensimulation durch künstliches Bewittern mittels gefilterter Xenonbogenstrahlung	122
2.4.3	Prüfgeräte und Durchführung von Lichtechtheitsprüfungen	122
2.5	Niedriger Luftdruck	123
2.5.1	Auswirkungen	123
2.5.1.1	Gefahr für Bauteile mit Flüssigkeiten und Hohlräumen	124
2.5.1.2	Explosionsgefahr durch niedrigen Druck	125
2.5.1.3	Überhitzungserscheinungen durch niedrigen Luftdruck	125
2.5.1.4	Elektrische Überschlüge durch niedrigen Luftdruck	127
2.5.1.5	Unterdruckschäden bei mechanisch bewegten Teilen	127
2.5.2	Prüfungen zur Absicherung gegen niedrigen Luftdruck	128
2.5.2.1	Prüfung mit niedrigem Luftdruck	128
2.5.2.2	Prüfung mit niedrigem Luftdruck und niedriger Temperatur	129

2.5.2.3	Prüfung mit niedrigem Luftdruck und hoher Temperatur	130
2.6	Schadgase	131
2.6.1	Entstehung und Wirkung	132
2.6.1.1	Schwefeldioxid: SO ₂	132
2.6.1.2	Schwefelwasserstoff: H ₂ S	135
2.6.1.3	Ozon: O ₃	137
2.6.2	Prüfungen zur Absicherung gegen Ausfälle durch Schadgase	138
2.6.2.1	Einzelgasprüfungen	139
2.6.2.1.1	Schadgastest mit SO ₂	139
2.6.2.1.2	Schadgastest mit H ₂ S	142
2.6.2.1.3	Ozonprüfung	143
2.6.2.1.4	Seriell Anwenden von Einzelgasprüfungen	145
2.6.2.2	Mehrkomponentenschadgasprüfung	146
2.6.2.2.1	Stickoxide: NO _x	146
2.6.2.2.2	Chlor: Cl ₂	147
2.6.2.2.3	Elektrischer Betrieb während des Tests und Beurteilung der Ergebnisse	149
2.7	Thermischer Streß	149
2.7.1	Entstehung und Wirkung	149
2.7.1.1	Hochtemperaturstreß	150
2.7.1.1.1	Wirkung auf Kunststoffe	150
2.7.1.1.2	Wirkung auf mechanische Geräte	152
2.7.1.2	Temperaturwechselstreß	154
2.7.2	Temperaturprüfungen	156
2.7.2.1	Temperaturlagerung	156
2.7.2.1.1	Hochtemperaturlagerung	156
2.7.2.1.2	Tiefemperaturlagerung	157
2.7.2.2	Hochtemperaturdauerlauf	158
2.7.2.3	2-Kammer-Temperaturschock	160
2.7.2.3.1	Temperaturschockanwendung	165
2.7.2.3.2	Risiken im Temperaturschock	166
2.7.2.4	3-Kammer-Temperaturschock	167
2.7.2.5	Liquidschock	168
2.7.2.6	Temperaturwechsel	172
2.7.3	Prüfgeräte und Durchführung thermischer Prüfungen	175
2.7.3.1	Temperaturschrank	175
2.7.3.2	Temperaturschock-Prüfschränke	182
2.7.3.3	Sicherheitshinweise für Temperaturprüfungen	186
2.8	Elektromagnetische Einflüsse	186
2.8.1	Entstehung und Wirkung	186
2.8.1.1	Nichtleitungsgebundene Störungen	187
2.8.1.2	Leitungsgebundene Störungen	191
2.8.1.3	Elektrostatische Aufladung	191
2.8.1.4	Blitze	192
2.8.2	Prüfungen zur Absicherung gegen elektromagnetische Einflüsse	192
2.9	Chemische Einflüsse	194
2.9.1	Entstehung und Wirkung	194
2.9.1.1	Chemische Beständigkeit	194
2.9.1.2	Spannungsrißkorrosion	196
2.9.2	Prüfungen zur Absicherung gegen chemische Einflüsse	197
2.10	Biologische Einflüsse	198
2.10.1	Entstehung und Wirkung	198
2.10.1.1	Schimmel	198
2.10.1.2	Insekten und Nagetiere	201
2.10.2	Prüfungen zur Absicherung gegen biologische Einflüsse	203

2.10.2.1	Prüfung über Schimmelwachstum	203
2.10.2.2	Prüfung auf Termitenresistenz	204
2.10.2.3	Prüfung auf Resistenz gegen Nagetiere	205
3	Schutzartprüfungen	207
3.1	Eindringen fester Fremdkörper	208
3.2	Wasserschutz	212
3.2.1	Beurteilungskriterium für Wasserschutzprüfungen	214
3.2.2	Auswahl eines Schutzgrades für Wasserschutz	214
3.2.3	Übliche Schutzarten	216
3.2.4	Grenzen der Schutzartprüfungen	216
3.3	Prüfgeräte und Durchführung von Schutzartprüfungen	220
3.3.1	Eindringen fester Körper bzw. Berühren gefährlicher Teile	220
3.3.1.1	Staubkammer	220
3.3.1.2	IEC 60 068, Teil 2-68	222
3.3.2	Wasserschutzprüfungen	224
4	Sonderprüfungen	229
4.1	Abriebfestigkeit	229
4.1.1	Tasten und Beschriftungen	230
4.2	Lebensdauerbetrachtungen und Lebensdauerprüfung	232
4.2.1	Ausfallverhalten technischer Erzeugnisse	232
4.2.1.1	Badewannenkurve	233
4.2.1.2	Weibull-Verteilung	234
4.2.2	Lebensdauerversuche	237
4.2.2.1	Erhöhung der Lebensdauer	242
4.2.2.2	Totläufertests mit elektronischen Erzeugnissen	242
4.3	Wind	243
4.3.1	Entstehung und Wirkung von Windkräften	243
4.3.2	Ausfälle durch Windeinwirkung	246
5	Kombinierte Umweltprüfungen	247
5.1	Wechselwirkungen zwischen Umwelteinflüssen	247
5.1.1	Kombinierte Umweltprüfungen	247
5.1.2	Sequentielle Anwendung von Umweltprüfungen	250
5.2	Multi-Streß-Tests	251
6	Beurteilung der Prüfergebnisse	253
6.1	Beurteilung der Funktion	253
6.2	Visuelle Beurteilung	254
7	Stückzahlen für Umweltprüfungen	257
7.1	Stückzahlen in Umweltsimulationsprüfungen	257
7.2	Stückzahlen für Lebensdauerprüfungen	259
8	Beschleunigung von Tests	261
8.1	Beschleunigung von Temperaturprüfungen bei konstanter Temperatur	262
8.1.1	Arrhenius-Beziehung	262
8.2	Beschleunigung von Temperaturwechselprüfungen	265
8.3	Beschleunigung von Feuchteprüfungen	268
8.4	Beschleunigung von Korrosionsprüfungen	269
8.5	Beschleunigung von Vibrationsprüfungen	270

9	Umweltsimulation bei verschiedenen Produkten	273
9.1	Umweltsimulationsprüfungen an einem Oszilloskop	273
9.2	Umweltsimulationsprüfungen an einem Zündsteuergerät eines Motorrades	278
10	Environmental Stress Screening «ESS»	287
10.1	Möglichkeiten für den Einsatz	287
10.2	Wirkungsweise	289
10.3	Arten der ESS	290
10.4	Resümee	292
11	Akkreditierung von Prüflaboratorien	293
11.1	Geschichtliche Entwicklung	293
11.1.1	Gesetzlich geregelter Bereich	293
11.1.2	Gesetzlich nicht geregelter Bereich	294
11.1.3	Unterschiede zu ISO 9000	294
11.2	DIN ISO/IEC 17 025	295
11.3	Notwendigkeit einer Laborakkreditierung	296
12	Verbände der Umweltsimulation	299
12.1	Erfahrungsaustausch	299
12.2	Stark durch Gemeinsamkeit	299
12.3	Adressen	300
	Anhang	301
	Statistische Klimamodelle	302
	Karte der Landklimate (s. S. 323)	
	Normen	313
	Literaturhinweise	315
	Quellenverzeichnis	317
	Stichwortverzeichnis	319