

## Inhaltsverzeichnis

<b>1</b>	<b>Einführung</b>	<b>11</b>
<b>2</b>	<b>Allgemeine Betrachtungen</b>	<b>13</b>
2.1	Wetterfaktoren	13
2.2	Bestrahlen oder Bewittern	14
2.3	Bewitterungs- oder Korrosionsprüfungen	16
2.4	Wetterbeständigkeit, Lebensdauer und Alterungsverhalten	18
2.5	Bewitterungsprüfung und Lebensdauervorhersage	21
2.6	Beschleunigte Bewitterung als zeitgeraffte oder intensivierte Prüfung	22
<b>3</b>	<b>Wirkungsfaktoren der Bewitterung</b>	<b>25</b>
3.1	Wirkungsfaktor Sonnenstrahlung	25
3.1.1	Messgrößen der Sonnenstrahlung	25
3.1.2	Spektralverteilung der Sonnenstrahlung	25
3.1.3	Referenzspektrum der Sonnenstrahlung	28
3.1.4	Direkter und diffuser Anteil der Globalstrahlung	32
3.1.5	Einfluss des Neigungswinkels	35
3.1.6	Einfluss der Umgebung	36
3.1.7	Einfluss der Bewölkung	38
3.1.8	Einfluss der Höhenlage	42
3.1.9	Strahlungsmessung	43
3.1.10	Bestrahlung an Referenzstandorten	46
3.1.11	Wirkungsspektrum der Sonnenstrahlung	46
3.2	Wirkungsfaktor Wärme	46
3.2.1	Umgebungstemperatur	46
3.2.2	Sonnenstrahlung auf organischen und polymeren Werkstoffen	48
3.2.3	Oberflächentemperaturen	49
3.2.4	Messung von Oberflächentemperaturen	51
3.2.5	Oberflächentemperaturen an der Grenzfläche	55
3.2.6	Zyklische Beanspruchung	57
3.3	Wirkungsfaktor Wasser	57
3.3.1	Quantifizierung des Wirkungsfaktors Wasser	58
3.3.2	Grenzflächenklima	61
3.3.3	Wasser im Tagesverlauf	64
3.4	Wirkungsfaktor „saure Niederschläge“	66
3.5	Weitere Wirkungsfaktoren	68
3.6	Wetter und Klima	68
<b>4</b>	<b>Photochemie der Lackalterung</b>	<b>71</b>
4.1	Kinetik und Thermodynamik der Lackalterung	71
4.2	Allgemeines zur Lackalterung	71
4.3	Photochemische Alterung	72
4.4	Reziprozitätsprinzip	78
4.5	Formen der photochemischen Alterung	82
4.5.1	Photooxidation	82
4.5.2	Weitere Abbauege	86
4.6	Spektrale Empfindlichkeit	89
4.6.1	Allgemein	89
4.6.2	Ermittlung der spektralen Empfindlichkeit mit monochromatischer Strahlung	92
4.6.3	Bestimmung der spektralen Empfindlichkeit mit UV-Grenzwellenlängenfiltern	94

4.7	UV-Stabilisierung von Lacken	97
4.7.1	Pigmente	98
4.7.2	UV-Absorber	100
4.7.3	UV-Schutzschichten	101
4.7.4	Quencher	103
4.7.5	Radikalfänger	103
4.7.6	Stabilisator-Kombinationen	106
4.8	Einfluss der Temperatur	107
4.8.1	Arrhenius-Konzept	108
4.8.2	Temperaturabhängigkeit der Diffusion	112
4.8.3	Glasübergangstemperatur	114
4.8.4	Mechanische Beanspruchung durch Temperaturwechsel	116
4.9	Einfluss von Wasser auf die Lackalterung	117
4.9.1	Photo-/Hydro-Katalyse	117
4.9.2	Hydrolyse	119
4.9.3	Auswirkung auf die Glasübergangstemperatur	120
4.9.4	Mechanischer Stress bei zyklischer Beanspruchung durch Wasser	121
4.9.5	Weitere physikalischen Wirkungsweisen	123
4.9.6	Senkung der Oberflächentemperatur	124
4.9.7	Weitere Wirkungsweisen	125
4.10	Einfluss von sauren Niederschlägen	125
4.11	Biologische Wirkungsfaktoren	127
4.12	Rolle der Probenvorgeschichte	129
<b>5</b>	<b>Freibewitterung</b>	<b>131</b>
5.1	Allgemeines	131
5.2	Geschichte der Freibewitterung	132
5.3	Freibewitterungsstandorte	133
5.3.1	Referenzstandorte	133
5.3.2	Süd-Florida und feucht-warme Referenzstandorte	137
5.3.3	Zentral-Arizona und trocken-heiße Referenzstandorte	139
5.3.4	Zentral-Arizona und Süd-Florida im Vergleich	140
5.3.5	Freibewitterungsstandorte mit maritimem Klima	142
5.3.6	Referenzstandort für Industrieklima: Jacksonville/Florida	145
5.3.7	Referenzstandort für mediterranes Klima: Bandol-Region	148
5.3.8	Weitere Standorte	149
5.4	Formen der direkten Freibewitterung	150
5.4.1	Direkte Freibewitterung bei konstantem Neigungswinkel	150
5.4.2	Freibewitterung mit wechselndem Neigungswinkel	160
5.4.3	Freibewitterung mit kontinuierlicher Probennachführung (Tracking)	161
5.4.4	Freibewitterung mit Wechsel der Bewitterungsstation	164
5.4.5	Freibewitterung auf der Black Box	167
5.4.6	Freibewitterung mit zusätzlicher Probenbenässung	168
5.4.7	Freibewitterung mit kontrollierter Säurebeanspruchung	169
5.4.8	Exposition im Freien hinter Glas	171
5.5	Referenzlackierungen für die Freibewitterung	174
5.6	Beurteilung der Ergebnisse bei der Freibewitterung	177
5.7	Beschleunigungseffekt der statischen Freibewitterung	179
5.8	Empfehlungen zur Durchführung	180
5.8.1	Probengeometrie und Probengröße	180
5.8.2	Anzahl der Proben für die Freibewitterung	181

## Inhaltsverzeichnis

---

5.8.3	Wahl des Substrats für die Freibewitterung	182
5.8.4	Auswahl und Kennzeichnung der Proben	183
5.8.5	Verschmutzung und Reinigung der Probentafeln	184
5.9	Stärken und Schwächen der Freibewitterung	185
<b>6</b>	<b>Beschleunigte Freibewitterung</b>	<b>187</b>
6.1	Prinzip	187
6.2	Geschichte der beschleunigten Freibewitterung	187
6.3	Technik der beschleunigten Freibewitterung	189
6.3.1	Allgemeine Funktionsweise	189
6.3.2	Temperaturkontrolle	192
6.3.3	Prüfzyklen	194
6.3.4	Prüfung hinter Glas	195
6.4	Parameter bei der Beschleunigten Freibewitterung	195
6.4.1	Bestrahlung	195
6.4.2	Oberflächentemperatur	200
6.4.3	Probenbesprühung	203
6.5	Korrelation und Beschleunigung	204
6.6	Bewertung der Wiederholbarkeit	205
6.7	Stärken und Schwächen der beschleunigten Freibewitterung	206
6.8	Normen der beschleunigten Freibewitterung	207
<b>7</b>	<b>Künstliche Bewitterung</b>	<b>209</b>
7.1	Ziel der künstlichen Bewitterung	209
7.2	Geräte für die künstliche Bewitterung	210
7.2.1	Xenonbogengeräte	211
7.2.2	Geräteaufbau	212
7.2.3	UV-Fluoreszenzgeräte	230
7.2.4	Kohlebogengeräte	238
7.2.5	Weitere Technologien	239
7.2.6	Spezifische Mess- und Regeltechnik	242
7.3	Gleichmäßigkeit bei der künstlichen Bewitterung	245
7.4	Verfahrensvalidierung zur künstlichen Bewitterung	247
7.5	Praxiskorrelation der künstlichen Bewitterung	248
7.6	Bewitterungstechnologien im Vergleich	250
7.6.1	Allgemeines	250
7.6.2	Spektrale Bestrahlungsstärke	250
7.6.3	Temperatur	252
7.6.4	Feuchte	253
7.6.5	Ökonomische Aspekte	254
7.7	Stärken und Schwächen der künstlichen Bewitterung	254
<b>8</b>	<b>Prinzipien der Beschleunigung</b>	<b>255</b>
8.1	Allgemeines	255
8.2	Beschleunigungsfaktor	255
8.3	Beschleunigung durch erhöhte Photonenenergie	257
8.3.1	UV-Fluoreszenzgeräte mit UVB-313-Lampen	257
8.3.2	Xenonbogengeräte mit extended UV-Filtern	258
8.3.3	Zusammenfassung	262
8.4	Einfluss der Strahlungskontinuität	268
8.5	Beschleunigung durch erhöhte Bestrahlungsstärke	269
8.5.1	Technische Möglichkeiten	270
8.5.2	Mechanistische Einschränkungen	271

## Danksagung

---

8.5.3	Überprüfung der Reziprozität	273
8.5.4	Zusammenfassung: erhöhte Bestrahlungsstärken	275
8.6	Beschleunigung durch erhöhte Temperaturen	275
8.7	Beschleunigung bei zyklischer Beanspruchung	278
8.8	Zusammenfassung	280
<b>9</b>	<b>Beurteilung der Korrelation</b>	<b>281</b>
9.1	Allgemein	281
9.2	Methoden der Korrelation	283
9.2.1	Voraussetzungen	283
9.2.2	Pass/Fail-Beurteilung	284
9.2.3	Pearson-Korrelation	286
9.2.4	Spearman-Rangkorrelation	288
9.3	Beispiele	289
9.4	Sonderfall: Korrelation von Eigenschaftsänderungen	296
9.5	Faktoren, die sich auf die Korrelation auswirken	297
9.6	Voraussetzungen für systematische Korrelationsuntersuchungen	297
<b>10</b>	<b>Alterungskriterien der Lackalterung</b>	<b>299</b>
10.1	Erscheinungsformen	299
10.2	Betrachtungen zur Auswahl der Alterungskriterien	300
10.3	Glanz und Haze	305
10.4	Rissbildung	307
10.5	Farbänderung	308
10.6	Kreidung	309
10.7	Haftfestigkeit	310
10.8	Kratzbeständigkeit	311
10.9	Abriebbeständigkeit	313
10.10	Steinschlagbeständigkeit	314
10.11	Mechanische Eigenschaften des Substrats	315
10.12	Weitere Alterungskriterien	315
<b>11</b>	<b>Referenzmaterialien für die Lackprüfung</b>	<b>317</b>
11.1	Referenz- und Kontrollmaterialien	317
11.2	Referenzmaterialien für die Lichtechtheitsprüfung	318
11.3	Referenzmaterialien für die Bewitterungsprüfung	320
11.4	Überwachung der Strahlung durch Referenzlackierungen	329
<b>12</b>	<b>Normen und Prüfmethoden</b>	<b>333</b>
12.1	Normenausschüsse	334
12.2	Verbände	339
12.3	Prüfvorschriften von Firmen	339
12.4	Kategorien von Normen in der Bewitterung	340
12.5	Entstehung von Normen	343
12.6	Die wichtigsten Prüfmethoden	345
12.7	Zusammenfassung	351
<b>13</b>	<b>Literatur</b>	<b>353</b>
	<b>Autor</b>	<b>366</b>
	<b>Index</b>	<b>367</b>