Claus Mattheck

Design in der Natur

Der Baum als Lehrmeister

Technische Hochschule Darmstadt
Volkswirtschaftliche Bibliothek

Rombach Verlag Freiburg

Inhalt

Vorwort 11

Einleitung 14

Das Minimum an Mechanik 16

Äußere Belastungen und innere Spannungen 16
Wärmedehnungen und Wärmespannungen 25
Die Finite-Elemente-Methode (FEM) 26
Die Bauteilkiller: Kerben und Kerbspannungen 29
Rißausbreitung 34
Übersicht zur Mechanik 35

Was ist ein gutes mechanisches Design? 40

Das Axiom konstanter Spannung und wie daraus Computermethoden entstehen 43

Kerben ohne Kerbspannungen? 43
Computer Aided Optimization – Wachstum im Computer 45
Soft Kill Option: Weg mit dem Ballast! 50
Spannungsgesteuerte E-Modul-Verteilung 52
Die spannungsinkrement-gesteuerte SKO-Methode 54
Methodendarstellung auf einen Blick 56

Die Mechanik der Bäume und die Selbstoptimierung der Baumgestalt 58

Die Steuermechanismen und ihre Wirkung auf den Baum 58
Apicaldominanz: Der Wipfel regiert 58
Geotropismus: Halte Dich gerade! 59
Phototropismus: Der Hunger nach Licht 65

Die gerechte Lastverteilung: Das Axiom konstanter Spannung und die Baumgestalt 68

Die Höhen-Durchmesser-Relation des Stammes 68
Astanbindungen: Von der High-Tech-Verbindung zur Soll-Bruchstelle 72
Baumgabeln: Risiko nur bei falscher Belastung 77
Der Zugzwiesel 77
Der Druckzwiesel 80

Wurzeln: Geniale Anker mit Neigung zu sozialen Kontakten 83
Wundheilung: Soll-Bruchstellen werden eilfertig ausgebessert . . . 91
Baum-Stein-Freundschaften: Mechanische Kumpanei
mit toten Gegenständen 103
Baum-Baum-Kontakte: Artverschiedenheit als mechanisches
Handicap 112
Baumverschweißungen: Vom ersten Kuß zur Ehe auf Lebenszeit . 114
Die Axialverschweißung 114
Die Kreuzverschweißung 117
Die Würgefeige: Gnadloser Verschweißungskünstler 124
Vorteile des Sozialverhaltens der Bäume für die Art 125

Jahresringe: Das innere Tagebuch als Schrittfolge der Außenkontur 127

Reaktionsholz und Drehwuchs im Sägeschnitt 129
Der Sägeschnitt durch verheilte Wunden 129
Frostrippen: Der Krankenreport der Jahresringe 132
Kontaktberichte: Ein toter Ast wird behandelt wie ein Stahlrohr . . 135
Verschweißungen: Die Baumhochzeit im Sägeschnitt 137
Zusammenfassung der Regeln für das Jahresringdesign 140

Holzfasern und Kraftfluß:
Die Angst vor der Schubspannung 141

Wie bricht ein Baum? 150

Der Querbruch des Vollzylinders 151
Versagen dickwandiger Holzrohre durch Querschnittsverflachung . 152
Schalenbeulen: Der Baum als dünnwandiges Rohr 154
Der offene Querschnitt – das lastabhängige Chamäleon 156
Das Teufelsohr 157
Der Unglücksbalken: Fatales Versagen oder letzter Ausweg? 158
Der Windbruch von Flachwurzlern 163
Der Windwurf 164
Faserknicken: Der Anfang vom Ende 167

Können Bäume wirklich nicht schrumpfen? 171

Knochen: Ultraleicht und hochfest
durch permanente Gestaltoptimierung 173

Knochendesign an ausgewählten Beispielen 173

Der Femur: Hoch belastet und erfolgreich 173
Heilung eines Femurbruches 177
Die Folgen von Hüftprothesen für den Femurknochen 178

Der Wirbelbogen – eine Schwachstelle? 183

Trabekulärer Knochen: Mikrofachwerke als Druckverteiler, Stoßbremse und leichtgewichtige Innenarchitektur 185
Trabekelachse und Kraftfluß: Die Angst vor der Biegebelastung . 185
Driften und Rotieren: Die Wanderschaft der Trabekel auf der Suche nach reiner Axialbelastung 186

Knochenfachwerke und Baumfachwerke im Vergleich 192

Trabekel und Luftwurzler 192
Ursachen für die überlegene Gestaltanpassung der Knochen 193

Krallen und Dornen: Gestaltoptimiert durch erfolgreiches Erbwürfelspiel 194

Die Tigerkralle 194
Dornenform und Lastrichtung 196

Biologische Schalen 200

Was sind Schalenstrukturen? 200
Warum eine Schalentheorie zur Gestaltoptimierung nicht ausreicht 202
Schildkröten und Nüsse 204

Die Zuggurtung: Ultraleicht, aber hochspezialisiert 209

Die Vorteile der Zuggurtung und ihre Empfindlichkeit bei designfremder Belastung 209
Die Zuggurtung am Hüftgelenk und bei Bäumen in Erosionszonen: Eine funktionelle Identität 211
Brettwurzeln aus der Sicht der Zuggurtung 213

Gestaltoptimierung durch Wachstum im Maschinenbau 220

Ebene oder rotationssymmetrische Modelle 220
Die Orthopädische Schraube 220
Balkenschultern 221

Gestaltoptimierung von dreidimensionalen Bauteilen 226
Welle mit Rechteckfenster 226

Fachwerke 227

Einheit in der Vielfalt: Designziel und Realisierung 232

Kritik an der Optimalgestalt:
Sensibilisierung durch Spezialisierung 234

Ausblick: Ökodesign und naturnahe Computer-Empirie 235

Literatur 237

Sachwortverzeichnis 241