

# Inhalt

|   |            |
|---|------------|
| <b>Vorbemerkungen</b>   | <b>VII</b> |
| <b>A ALLGEMEINES</b>  | <b>1</b>   |
| <b>1 Größen, Gleichungen, Schreibweisen</b>   | <b>1</b>   |
| 1.1 Grundgrößen der Physik  | 1          |
| 1.2 Hier verwendete zusammengesetzte Größen   | 2          |
| 1.3 Präfixe   | 5          |
| 1.4 Gleichungen und Konstanten  | 5          |
| 1.5 Schreibweisen   | 8          |
| <b>B ZUR MECHANIK DER FESTEN KÖRPER</b>   | <b>9</b>   |
| <b>2 Länge und abgeleitete Größen; Winkel</b>   | <b>9</b>   |
| 2.1 Länge $l$ , Wegstrecke oder Strecke $s$   | 9          |
| 2.2 Längenänderung: Verlängerung, Verkürzung $\Delta l$   | 9          |
| 2.3 Dehnung $\varepsilon$   | 10         |
| 2.4 Querdehnung $\varepsilon_q$ , Querdehnungszahl $\nu$ , Poissonzahl $\mu$                      | 11         |
| 2.5 Fläche $A$  | 12         |
| 2.6 Längen-Durchmesser-Verhältnis $l/d$ , Schlankheitsgrad $\lambda$                              | 12         |
| 2.7 Volumen $V$   | 15         |
| 2.8 Winkel $\alpha$   | 15         |
| 2.9 Raumwinkel $\Omega$   | 16         |
| <b>3 Zeit und aus Zeit und Weg zusammengesetzte Größe</b>   | <b>21</b>  |
| 3.1 Zeit $t$  | 21         |
| 3.2 Frequenz $f$ , Drehzahl $n$ , Kreisfrequenz $\omega$  | 21         |
| 3.3 Geschwindigkeit $v$   | 22         |
| 3.4 Winkelgeschwindigkeit $\omega$  | 23         |
| 3.5 Schwingungen und Wellen   | 24         |
| 3.5.1 Kennzeichnung einer harmonischen Schwingung   | 24         |
| 3.5.2 Kennzeichnung von harmonischen (linearen) Wellen im Vergleich mit harmonischen Schwingungen | 30         |
| 3.6 Beschleunigung $a$  | 32         |
| 3.7 Winkelbeschleunigung $\alpha$   | 34         |
| 3.8 Coriolis-Beschleunigung $a_c$   | 35         |
| <b>4 Masse und Kraft</b>  | <b>37</b>  |
| 4.1 Masse $m$   | 37         |
| 4.2 Dichte oder spezifische Masse $\rho$  | 37         |
| 4.3 Kraft $F$   | 37         |
| 4.3.1 Gewichtskraft $F_g$   | 39         |
| 4.3.2 Trägheitskraft $F_t$  | 40         |
| 4.3.3 Radialkraft $F_{rad}$ und Fliehkraft $F_r$  | 41         |
| 4.3.4 Corioliskraft $F_c$   | 43         |
| 4.3.5 Reibungskraft oder Reibung $F_r$  | 44         |
| 4.3.5.1 Haft- und Gleitreibung  | 44         |
| 4.3.5.2 Anmerkung zur Rollreibung   | 46         |
| 4.3.6 Widerstandskraft oder Widerstand $F_w$  | 47         |
| 4.4 Wichte oder spezifisches Gewicht $\gamma$   | 47         |
| <b>5 Momente</b>  | <b>51</b>  |
| 5.1 Hebel„gesetze“ und Momente  | 51         |

|   |            |
|---|------------|
| 5.2 Drehmoment $M$  | 52         |
| 5.3 Biegemoment $M_b$   | 54         |
| 5.4 Massenträgheitsmomente $J$  | 55         |
| 5.4.1 Axiales Massenträgheitsmoment $J_x$   | 55         |
| 5.4.2 Polares Massenträgheitsmoment $J_p$   | 57         |
| 5.5 Flächenträgheitsmoment $I$  | 58         |
| 5.5.1 Axiales Flächenträgheitsmoment $I_x$  | 58         |
| 5.5.2 Polares Flächenträgheitsmoment $I_p$  | 61         |
| 5.6 Trägheitsradius $i$   | 63         |
| 5.7 Widerstandsmoment $W$   | 63         |
| <b>6 Arbeit, Leistung, Impuls</b>   | <b>67</b>  |
| 6.1 Arbeit (Energie), Leistung und Wirkungsgrad   | 67         |
| 6.1.1 Reibungsarbeit $W_r$ , bzw. Verschiebearbeit $W_v$ ; Verschiebeleistung $P_v$   | 73         |
| 6.1.2 Hubarbeit $W_h$ , potentielle Energie $W_{pot}$ ; Hubleistung $P_h$   | 76         |
| 6.1.2.1 Senkrecht hochsteigen, Hochheben, Hochziehen  | 76         |
| 6.1.2.2 Hochziehen auf schiefer Ebene   | 77         |
| 6.1.2.3 Physikalische Arbeit und physiologische „Haltearbeit“<br>oder „Tragearbeit“   | 81         |
| 6.1.3 Spannarbeit $W_s$ oder Formänderungsarbeit, elastische Energie $W_e$  | 84         |
| 6.1.4 Beschleunigungsarbeit $W_b$ ; kinetische Energie $W_{kin}$  | 90         |
| 6.1.5 Rotationsenergie $W_{rot}$ , Rotationsleistung $P_{rot}$  | 92         |
| 6.1.6 Oberflächenarbeit, Oberflächenenergie $W_o$   | 93         |
| 6.1.7 Druck-Volumen-Arbeit $W_{pV}$ , Druck-Volumen-Leistung $P_{pV}$   | 94         |
| 6.1.8 Produktion $W_p$  | 95         |
| 6.1.9 Elektrische Arbeit $W_{el}$   | 96         |
| 6.1.10 Chemische Arbeit $W_{chem}$  | 97         |
| 6.2 Impuls $J$ und Kraftstoß $F \cdot t$  | 98         |
| 6.3 Drehimpuls $L$ und Drehmomentenstoß $M \cdot t$   | 103        |
| <b>7 Druck, Spannung, Festigkeit</b>  | <b>111</b> |
| 7.1 Druck $p$ , Zug $-p$ , Spannung $\sigma$  | 111        |
| 7.1.1 Druck und Zug, $p$ , $-p$   | 111        |
| 7.1.2 Druck- und Zug-, Normal- und Tangentialspannungen $\sigma_d$ , $\sigma_t$ , $\sigma_n$ , $\sigma_t$                   | 111        |
| 7.1.3 Biegespannung $\sigma_b$  | 113        |
| 7.2 Festigkeitsbetrachtungen  | 115        |
| 7.2.1 Beanspruchung   | 115        |
| 7.2.2 Festigkeit  | 116        |
| 7.2.3 Sicherheitsfaktor $S$   | 117        |
| 7.3 Elastizitätsmodul $E$   | 117        |
| 7.3.1 Definition, Messung, Interpretation   | 117        |
| 7.3.2 Dehnungszahl $\alpha$   | 123        |
| 7.3.3 Biegeelastizitätsmodul $E_b$  | 123        |
| 7.4 Biegesteifigkeit $C$  | 125        |
| 7.5 Sonstige Kenngrößen und Moduli  | 126        |
| 7.5.1 Kompressibilität $\kappa$ und Kompressionsmodul $K$   | 126        |
| 7.5.2 Scherspannung $\tau$ und Schubmodul $G$   | 127        |
| 7.5.3 Torsionsspannung $\tau_t$ und Gleitmodul $G_t$  | 127        |
| 7.6 Der einseitig eingespannte Balken   | 128        |
| 7.6.1 Biegemomentenverteilung   | 128        |
| 7.6.2 Biegespannungsverteilung  | 130        |
| 7.6.3 Zusammenhänge zwischen Biegespannung $\sigma_{bx}$ ,<br>Biegemoment $M_{bx}$ und Widerstandsmoment $W_x$ ; Ausformung | 132        |
| 7.7 Beispiele für Belastungsfälle   | 132        |
| 7.8 Beispiele für eine Reduktion der Biegebeanspruchung   | 135        |
| 7.8.1 Gegenbiegung, Zuggurtung, Ausgleichsstäbe   | 135        |
| 7.8.2 Modellüberlegungen mit sukzessive größerer Wirklichkeitsnähe  | 138        |
| 7.9 Zum Problem der Knickung  | 141        |

|                            |  |            |
|----------------------------|--|------------|
| 7.10                       | Landlokomotion   | 143        |
| 7.10.1                     | Springen   | 144        |
| 7.10.2                     | Gehen  | 150        |
| 7.10.3                     | Laufen   | 153        |
| <b>C ZUR FLUIDMECHANIK</b> |  | <b>161</b> |
| <b>8</b>                   | <b>Fluidstatik und zwischenmolekular Kräfte</b>                        | <b>161</b> |
| 8.1                        | Dichte $\rho$ eines Fluids   | 161        |
| 8.1.1                      | Luftdichte, abhängig von Temperatur und Meereshöhe                     | 161        |
| 8.1.2                      | Wasserdichte, abhängig von Temperatur und Salzgehalt                   | 162        |
| 8.2                        | Dynamische Zähigkeit $\eta$ ; Newton'sche Reibung                      | 163        |
| 8.2.1                      | Definition   | 163        |
| 8.2.2                      | Viskosimetrie  | 165        |
| 8.3                        | Kinematische Zähigkeit $\nu$   | 166        |
| 8.3.1                      | Definition   | 166        |
| 8.3.2                      | Eingehen in die Reynoldszahl $Re$                                      | 167        |
| 8.4                        | Druck $p$  | 167        |
| 8.4.1                      | Schweredruck $p_h$   | 167        |
| 8.4.2                      | Schweredruck $p_{Luft}$ der Lufthülle                                  | 168        |
| 8.4.3                      | Betriebsdruck oder Außendruck $p_a$                                    | 169        |
| 8.4.4                      | Hydrostatischer Druck $p_{hydr}$                                       | 169        |
| 8.4.5                      | Druckwandlung  | 170        |
| 8.4.6                      | Drücke und Druckeffekte von Membranvorgängen                           | 171        |
| 8.4.6.1                    | Osmotischer Druck $p_{osm}$ und osmotischer Wert $p_{osm}^*$           | 172        |
| 8.4.6.2                    | Wasserpotential $\psi$   | 175        |
| 8.4.6.3                    | Turgor $p_T$ , Wandspannung $S_w$ , Saugspannung $S_s$                 | 178        |
| 8.5                        | Fluidstatischer Auftrieb   | 179        |
| 8.5.1                      | Kennzeichnung  | 179        |
| 8.5.2                      | Dichtebestimmung   | 180        |
| 8.5.3                      | Schwimmen, Schweben, Sinken  | 180        |
| 8.5.4                      | Metazentrum und Schwimmstabilität                                      | 181        |
| 8.6                        | Kohäsion, Adhäsion, Adsorption   | 181        |
| 8.7                        | Oberflächeneffekte   | 182        |
| 8.7.1                      | Oberflächenenergie $W_O$   | 182        |
| 8.7.2                      | Oberflächenspannung $\sigma$   | 183        |
| 8.7.3                      | Oberflächendruck $p_O$   | 185        |
| 8.8                        | Benetzung  | 186        |
| 8.9                        | Kapillarität   | 188        |
| <b>9</b>                   | <b>Strömungsdruck und Strömungsimpuls</b>                              | <b>192</b> |
| 9.1                        | Stromlinien und andere Strömungskennzeichnungen                        | 192        |
| 9.2                        | Kontinuitätsgleichung  | 194        |
| 9.3                        | Dynamischer Druck (Staudruck) $q$                                      | 196        |
| 9.3.1                      | Definition und Beispiele   | 196        |
| 9.3.2                      | Addition mit statischen Druckkomponenten; Bernoulli-Gleichung          | 199        |
| 9.3.3                      | Druckmessung   | 202        |
| 9.3.4                      | Widerstandsbestimmung eines umströmten Körpers aus der Druckverteilung | 203        |
| 9.4                        | Strömungsimpuls  | 205        |
| 9.4.1                      | Prinzipansatz  | 205        |
| 9.4.2                      | Weitere impulsänderungsbedingte Kräfte                                 | 207        |
| 9.4.3                      | Vereinfachte Propellertheorie, ausgehend von Impulsbetrachtungen       | 208        |
| 9.4.4                      | Huberzeugung beim Vogelflug (Schwirrflug)                              | 209        |
| 9.4.5                      | Widerstandsbestimmung über die „Impulsdelle“                           | 212        |
| <b>10</b>                  | <b>Grenzschichten, Kräfte und Momente an umströmten Körpern</b>        | <b>221</b> |
| 10.1                       | Grenzschichten   | 221        |

|           |   |            |
|-----------|---|------------|
| 10.1.1    | Das Grenzschichtkonzept   | 221        |
| 10.1.2    | Laminare und turbulente Grenzschicht  | 222        |
| 10.1.3    | Laufstrecke, Umschlag, Ablösung   | 222        |
| 10.2      | Fluidkräfte   | 223        |
| 10.2.1    | Zum Begriff der Reynoldszahl $Re$   | 223        |
| 10.2.2    | Widerstandskräfte $F_W$ und -beiwerte $c_W$   | 224        |
| 10.2.2.1  | Widerstandsarten  | 227        |
| 10.2.2.2  | Abhängigkeit von der Reynoldszahl $Re$  | 227        |
| 10.2.2.3  | Beispiele aus Technik und Biologie  | 229        |
| 10.2.2.4  | Abhängigkeit des Widerstands $F_W$ von der Anströmgeschwindigkeit bei kleiner und großer $Re$ -Zahl | 231        |
| 10.2.2.5  | Oberflächenwiderstand $F_{WO}$  | 233        |
| 10.2.3    | Auftriebskraft $F_A$ und -beiwert $c_A$   | 235        |
| 10.2.4    | Seitkraft $F_S$ und -beiwert $c_S$  | 235        |
| 10.3      | Momente   | 236        |
| 10.3.1    | Kipp-, Roll- und Giernoment   | 237        |
| 10.3.2    | Momentengleichgewicht und Stabilität  | 237        |
| 10.4      | Strömungen in Röhren  | 239        |
| 10.4.1    | Grenzschichten, Kenngrößen, Reynoldszahlen  | 239        |
| 10.4.2    | Hagen-Poiseuille'sches Gesetz für Kapillaren  | 240        |
| 10.4.3    | Einfluß von Elastizitäten   | 241        |
| <b>11</b> | <b>Vereinfachte Theorie des Tragflügels und Kenngrößen des Gleitflugs</b>                           | <b>247</b> |
| 11.1      | Auftriebsentstehung   | 247        |
| 11.1.1    | Magnus-Effekt   | 247        |
| 11.1.2    | Ansätze über die Zirkulation, Druckverteilung und Beiwertbetrachtung                                | 247        |
| 11.2      | Luftkräfte, Momente und Drücke  | 250        |
| 11.2.1    | Komponenten der Luftkraftresultierenden   | 250        |
| 11.2.2    | Momente   | 250        |
| 11.2.3    | Druckverteilungen   | 252        |
| 11.3      | Geometrische Flügelkennzeichnungen  | 253        |
| 11.3.1    | Profilierung  | 253        |
| 11.3.2    | Seitenverhältnis $\lambda$ und Streckung $\Lambda$  | 254        |
| 11.4      | Induzierter Widerstand $F_{Wi}$   | 255        |
| 11.5      | Flächenbelastung $F_q \text{ A}^{-1}$   | 255        |
| 11.6      | Polarendarstellungen  | 257        |
| 11.6.1    | Lilienthal'sche Polaren   | 257        |
| 11.6.2    | Abhängigkeit von der Reynoldszahl   | 259        |
| 11.6.3    | Parabeln des induzierten Widerstands  | 260        |
| 11.7      | Gleitflug   | 261        |
| 11.7.1    | Gleitkenngrößen, Gleitzahl $\epsilon$   | 261        |
| 11.7.2    | Beiwertbestimmung über Gleitversuche  | 264        |
| 11.7.3    | Sinkpolaren und Gleitleistung   | 265        |
| 11.8      | Segelflug   | 267        |
| <b>12</b> | <b>Wirbel und wirbelbedingte Fluidkräfte</b>  | <b>275</b> |
| 12.1      | Definitionen und Wirbelarten  | 275        |
| 12.2      | Wirbelfaden, Wirbelfläche, Wirbelring   | 276        |
| 12.3      | Zirkulation, Wirbelintensität   | 277        |
| 12.4      | Wirbelbildung bei der Umströmung von Körpern  | 279        |
| 12.4.1    | Strömungsbild um einen Kreiszyylinder, abhängig von der Reynoldszahl                                | 279        |
| 12.4.2    | Komplexe Wirbelstrukturen   | 280        |
| 12.4.3    | Wirbelablösungsfrequenz $f_w$ und Strouhal-Zahl $St$  | 282        |
| 12.4.4    | Berechnung des Widerstandsbeiwerts eines umströmten Körpers aus den Kenngrößen seiner Wirbelstraße  | 284        |
| 12.5      | Ringwirbel und darauf aufbauende fluidmechanische Rechnungen bei Rückstoßvorgängen                  | 287        |

|  |            |
|--|------------|
| <b>13 Schlagflügel und Flossen</b>   | <b>293</b> |
| 13.1 Schlagflügel mit Parallelbewegung   | 294        |
| 13.2 Schuberzeugung über den Schwanzflossen-Schlag von Fischen   | 299        |
| 13.3 Tierflügel und Propeller als Fluidkraftherzeuger mit Winkelbewegung   | 301        |
| 13.3.1 Kräfte- und Impulsgleichgewicht   | 301        |
| 13.3.2 Geometrische Verwindung von Propellerblatt und Tierflügel   | 302        |
| 13.3.3 Erweiterungen zur Propellertheorie  | 303        |
| 13.4 Wirbelphänomene hinter Schlagflügeln und Flossen  | 304        |
| 13.4.1 Wirbelstraßen hinter passiv umströmten und aktiv bewegten Körpern   | 305        |
| 13.4.2 Fisch-Vortrieb  | 307        |
| 13.4.3 Insektenflug  | 309        |
| 13.4.4 Näherungsansätze  | 318        |
| <b>14 Temperatur und Temperatureffekte</b>   | <b>321</b> |
| 14.1 Temperatur $\vartheta$ und Temperaturdifferenz $\Delta\vartheta$  | 321        |
| 14.2 Mischtemperaturen   | 322        |
| 14.3 Temperaturkoeffizienten und Wärmeausdehnung   | 322        |
| 14.3.1 Längen-Temperatur-Koeffizient $\alpha$  | 322        |
| 14.3.2 Volumen-Temperatur-Koeffizient $\gamma$   | 323        |
| 14.4 Druck-Volumen-Beziehungen bei Gasen   | 323        |
| <b>D ZUR KALORIK</b>   | <b>329</b> |
| <b>15 Wärme und Wärmeeffekte</b>   | <b>329</b> |
| 15.1 Wärmeenergie $Q$  | 329        |
| 15.1.1 Grundkenngrößen   | 330        |
| 15.1.2 Spezifische Wärmekapazität $c_s$  | 330        |
| 15.1.3 Molare Wärmekapazität $c_m$   | 331        |
| 15.1.4 Volumenbezogene Wärmekapazität $c_v$  | 331        |
| 15.1.5 Wärmespeicherkapazität $Q$  | 332        |
| 15.1.6 Wasserwert $WW$   | 333        |
| 15.2 Wärmeleistung, Wärmestrom $\Phi$  | 333        |
| 15.2.1 Wärmestromdichte $q$  | 334        |
| 15.2.2 Wärmeleitkoeffizient $\lambda$  | 335        |
| 15.2.3 Wärmedurchgangskoeffizient $k$  | 337        |
| 15.2.4 Strahlungskoeffizient $C$   | 339        |
| 15.2.5 Zum Begriff „Isolierung“  | 342        |
| 15.3 Wärmeausdehnung und thermisch induzierte Spannungen   | 343        |
| 15.4 Phasenübergangswärme  | 343        |
| 15.4.1 Änderungen des Aggregatzustands   | 343        |
| 15.4.2 Schmelzwärme und Erstarrungswärme; Verdampfungswärme und Kondensationswärme                               | 344        |
| 15.4.3 Kühlung durch Schwitzen und durch ausgeatmeten Wasserdampf  | 344        |
| 15.5 Wärmeproduktion durch Verbrennung   | 346        |
| 15.5.1 Brennwert $B$   | 346        |
| 15.5.2 Freigesetzte Wärmemenge bei der Oxidation technischer und biologischer Betriebsstoffe $Q$                 | 346        |
| 15.5.3 Wärmeproduktionsleistung durch Oxidation technischer und biologischer Betriebsstoffe $\Phi_{\text{prod}}$ | 348        |
| 15.5.4 Abbaugleichungen charakteristischer Kohlenhydrate, Fette und Eiweiße                                      | 349        |
| 15.5.5 Respiratorische Austauschrate $RA$ und Respiratorischer Quotient $RQ$                                     | 352        |
| 15.5.6 Oxikalisches Äquivalent $O\ddot{A}$   | 354        |
| 15.6 Kalorimetrie  | 355        |
| 15.6.1 Indirekte Kalorimetrie  | 355        |
| 15.6.2 Direkte Kalorimetrie  | 356        |
| 15.7 Energiebilanzen   | 358        |

|  |            |
|--|------------|
| <b>E SIMILARITÄTEN</b>   | <b>369</b> |
| 16 Größeneffekte und biologische Ähnlichkeit   | 369        |
| 16.1 Einführungsbeispiel: Oberflächen-Volumen-Verhältnis bei kugelförmigen Organismen                                  | 369        |
| 16.2 Auftragung und Ablesung im doppelt logarithmischen Koordinatensystem  | 371        |
| 16.2.1 Koordinateneinteilungen   | 371        |
| 16.2.2 Kenngrößenablesung  | 372        |
| 16.3 Relatives Wachstum in Potenzfunktions-Darstellung   | 372        |
| 16.3.1 Isometrisches und allometrisches Wachstum   | 373        |
| 16.3.2 Hilfsmittel für Zeichnung und Ablesung logarithmischer Skalen   | 374        |
| 16.4 Geometrische und „statische“ Ähnlichkeit  | 375        |
| 16.4.1 Isometrie: Beispiel Schleimpilzen   | 375        |
| 16.4.2 Allometrie: Beispiel Bäume  | 376        |
| 16.5 Physikalische Ähnlichkeitstheorie (MLT-System)  | 378        |
| 16.5.1 Abhängigkeit der Grundgrößen von der Masse  | 378        |
| 16.5.2 Abhängigkeit zusammengesetzter Größen von der Masse   | 379        |
| 16.6 Biologische Ähnlichkeitstheorie (MLT-System) (Beispiel)   | 379        |
| 16.6.1 Unterschiede zur physikalischen Ähnlichkeitstheorie   | 380        |
| 16.6.2 Erweiterung: Abhängigkeit einer massenproportionalen Größe $y$ von einer anderen massenproportionalen Größe $x$ | 382        |
| <b>Ausführliche Legenden zu den Bildtafeln</b>   | <b>391</b> |
| <b>Literatur</b>   | <b>393</b> |
| <b>Lösungen</b>  | <b>399</b> |
| <b>Sachverzeichnis</b>   | <b>443</b> |

## Bildtafeln

|   |     |
|---|-----|
| 1 Maulkinematik   | 19  |
| 2 Beine und Füße von Wirbeltieren                             | 20  |
| 3 Knochenleichtbau  | 48  |
| 4 Hochbaukonstruktionen und Schlankheit                       | 50  |
| 5 Biegesteifigkeit von Pflanzen                               | 66  |
| 6 Grashalmquerschnitte und FEM-Rechnungen                     | 110 |
| 7 Sprungvorgang   | 159 |
| 8 Biegebeanspruchung, Kerbspannungsminimierung u.a.           | 160 |
| 9 Hydrophobe Systeme  | 189 |
| 10 Hai und Delphin als bionische Vorbilder                    | 220 |
| 11 Vogelflug  | 269 |
| 12 Schwimmen mit „Flügelbewegung“                             | 273 |
| 13 Messungen an Vogelflügelmodellen, Arbeitsgruppe Nachtigall | 274 |
| 14 Wirbel- und Grenzschichtdarstellungen                      | 284 |
| 15 Kleinvogelflug   | 318 |
| 16 Strömungssichtbarmachung bei einem Gelbrandkäfer           | 320 |
| 17 Insektenflug   | 328 |
| 18 Schlangen-Kriechen   | 367 |
| 19 Starenflug im Windkanal                                    | 368 |
| 20 Springen bei Vertebraten und Invertebraten                 | 386 |
| 21 Massenspanne bei Insekten                                  | 390 |
| 22 Vögel und Vogelmodelle in der biomechanischen Forschung    | 396 |

Hinweis: An den Randstreifen der Seiten wird auf die Bildtafeln („T“) mit Seitenzahlen („p“) hingewiesen