

# Inhaltsverzeichnis

## Teil I Allgemeine Embryologie

|            |   |    |            |  |
|------------|---|----|------------|--|
| <b>1</b>   | <b>Einführung in die molekulare Regulation und Signalbildung</b> .....      | 18 |            |  |
| <b>1.1</b> | <b>Überblick</b> .....  | 18 | <b>1.5</b> | <b>Signalübertragung zwischen Zellen</b> .....                                   |
| <b>1.2</b> | <b>Transkription</b> .....  | 19 |            |  |
| 1.2.1      | DNA-Methylierung hemmt die Transkription .....                              | 22 | 1.5.1      | Signaltransduktionswege ..   |
|            |   |    | 1.5.2      | Parakrine Faktoren .....   |
| <b>1.3</b> | <b>Andere Regulatoren der Genexpression</b> .....                           | 22 | 1.5.3      | TGF- $\beta$ -Superfamilie .....   |
|            |   |    | 1.5.4      | Weitere parakrine Signalmoleküle .....   |
| <b>1.4</b> | <b>Induktion und Organbildung</b> .....                                     | 23 |            |  |
| <b>2</b>   | <b>Gametogenese: Entwicklung männlicher und weiblicher Keimzellen</b> ..... | 29 |            |  |
| <b>2.1</b> | <b>Überblick</b> .....  | 29 | <b>2.4</b> | <b>Fehlbildungen und Aborte als Folge chromosomaler und genetischer Faktoren</b> |
| <b>2.2</b> | <b>Urkeimzellen</b> .....   | 31 |            |  |
| <b>2.3</b> | <b>Chromosomen und Vererbung</b> .....                                      | 32 | <b>2.5</b> | <b>Morphologie der Keimzellreifung</b> .....                                     |
| 2.3.1      | Mitose .....  | 32 | 2.5.1      | Oogenese .....   |
| 2.3.2      | Meiose .....  | 33 | 2.5.2      | Spermatogenese .....   |
| <b>3</b>   | <b>1. Woche – von der Ovulation bis zur Implantation</b> .....              | 58 |            |  |
| <b>3.1</b> | <b>Überblick</b> .....  | 58 | <b>3.3</b> | <b>Befruchtung</b> .....   |
| <b>3.2</b> | <b>Ovarialzyklus</b> .....  | 59 | 3.3.1      | Phase 1: Durchdringen der Corona radiata .....                                   |
| 3.2.1      | Ovulation .....   | 61 | 3.3.2      | Phase 2: Durchdringen der Zona pellucida .....                                   |
| 3.2.2      | Corpus luteum .....   | 63 | 3.3.3      | Phase 3: Fusion der Zellmembranen .....  |
| 3.2.3      | Transport der Oozyte .....  | 63 |            |  |
| 3.2.4      | Corpus albicans .....   | 63 | <b>3.4</b> | <b>Furchung</b> .....  |

|            |  |            |            |  |            |
|------------|--|------------|------------|--|------------|
| 3.5        | Entwicklung der Blastozyste . . . . .                  | 71         | 3.6        | Uterus bei der Implantation . . . . .                                      | 74         |
| <b>4</b>   | <b>Zweischichtige Keimscheibe (2. Woche)</b> . . . . . | <b>79</b>  |            |  |            |
| 4.1        | Überblick . . . . .                                    | 79         | 4.4        | Entwicklungstag 11–12 . . . . .  | 82         |
| 4.2        | Entwicklungstag 8 . . . . .                            | 80         | 4.5        | Entwicklungstag 13 . . . . .   | 83         |
| 4.3        | Entwicklungstag 9 . . . . .                            | 81         |            |  |            |
| <b>5</b>   | <b>Dreiblättrige Keimscheibe (3. Woche)</b> . . . . .  | <b>91</b>  |            |  |            |
| 5.1        | Überblick . . . . .                                    | 91         | 5.5        | Lageplan des Mesoderms während der Gastrulation . . . . .                  | 98         |
| 5.2        | Gastrulation: Bildung der drei Keimblätter . . . . .   | 92         | 5.6        | Weiteres Wachstum der Keimscheibe . . . . .                                | 99         |
| 5.3        | Entwicklung der Chorda . . . . .                       | 93         | 5.6.1      | Weitere Entwicklung des Trophoblasten . . . . .                            | 102        |
| 5.4        | Festlegung der Körperachsen . . . . .                  | 95         |            |  |            |
| <b>6</b>   | <b>Embryonalperiode (3.–8. Woche)</b> . . . . .        | <b>105</b> |            |  |            |
| 6.1        | Überblick . . . . .                                    | 105        | 6.3.3      | Parietales und viszerales Mesoderm . . . . .                               | 121        |
| 6.2        | Derivate des Ektoderms . . . . .                       | 106        | 6.3.4      | Blut und Blutgefäße . . . . .  | 121        |
| 6.2.1      | Molekulare Steuerung der Neuralinduktion . . . . .     | 106        | <b>6.4</b> | <b>Derivate des Entoderms und laterale Abfaltung des Embryos</b> . . . . . | <b>125</b> |
| 6.2.2      | Neurulation – Bildung des Neuralrohrs . . . . .        | 107        | <b>6.5</b> | <b>Die Rolle der Homöobox-Gene bei der Musterbildung</b> . . . . .         | <b>129</b> |
| 6.2.3      | Neuralleistenzellen . . . . .                          | 111        | <b>6.6</b> | <b>Äußere Körperform während des 2. Monats</b> . . . . .                   | <b>129</b> |
| <b>6.3</b> | <b>Derivate des Mesoderms</b> . . . . .                | <b>115</b> |            |  |            |
| 6.3.1      | Paraxiales Mesoderm . . . . .                          | 116        |            |  |            |
| 6.3.2      | Intermediäres Mesoderm . . . . .                       | 121        |            |  |            |
| <b>7</b>   | <b>Darmrohr und Körperhöhlen</b> . . . . .             | <b>137</b> |            |  |            |
| 7.1        | Überblick . . . . .                                    | 137        | 7.3        | Entstehung der Körperhöhle . . . . .                                       | 139        |
| 7.2        | Zwei übereinanderliegende Röhren . . . . .             | 138        | 7.4        | Auskleidung der Leibeshöhlen: Seröse Häute . . . . .                       | 140        |

|             |  |     |             |   |     |
|-------------|--|-----|-------------|---|-----|
| <b>7.5</b>  | <b>Zwerchfell und Brusthöhle</b> . . . . .                         | 143 | 7.5.2       | Lage und Innervation des Zwerchfells. . . . .                       | 146 |
| 7.5.1       | Entwicklung des Zwerchfells. . . . .                               | 144 |             |   |     |
| <b>8</b>    | <b>Fetalperiode (3. Monat bis Geburt)</b> . . . . .                | 149 |             |   |     |
| <b>8.1</b>  | <b>Überblick</b> . . . . .   | 149 | 8.2.2       | Berechnung des Geburtstermins . . . . .                             | 153 |
| <b>8.2</b>  | <b>Entwicklung des Fetus</b> . . . . .                             | 149 |             |   |     |
| 8.2.1       | Monatliche Veränderungen   | 150 |             |   |     |
| <b>9</b>    | <b>Entwicklung der Eihäute und der Plazenta</b> . . . . .          | 156 |             |   |     |
| <b>9.1</b>  | <b>Überblick</b> . . . . .   | 156 | 9.4.4       | Funktion der Plazenta. . . . .                                      | 165 |
| <b>9.2</b>  | <b>Extraembryonale Häute und Plazenta</b> . . . . .                | 157 | 9.4.5       | Veränderungen der Plazenta gegen Ende der Schwangerschaft . . . . . | 168 |
| 9.2.1       | Entwicklung des Trophoblasten . . . . .                            | 157 | <b>9.5</b>  | <b>Amnion und Nabelschnur</b>                                       | 169 |
| <b>9.3</b>  | <b>Chorion frondosum und Decidua basalis</b> . . . . .             | 160 | 9.5.1       | Amnionflüssigkeit . . . . .   | 171 |
| <b>9.4</b>  | <b>Plazenta</b> . . . . .  | 160 | <b>9.6</b>  | <b>Eihäute bei Zwillingen</b> . . . . .                             | 172 |
| 9.4.1       | Aufbau der Plazenta . . . . .                                      | 160 | 9.6.1       | Zweieiige Zwillinge. . . . .  | 172 |
| 9.4.2       | Reife Plazenta. . . . .  | 162 | 9.6.2       | Eineiige Zwillinge. . . . .   | 174 |
| 9.4.3       | Blutzirkulation in der Plazenta . . . . .                          | 163 | <b>9.7</b>  | <b>Geburt</b> . . . . .   | 178 |
| <b>10</b>   | <b>Angeborene Fehlbildungen und pränatale Diagnostik</b> . . . . . | 180 |             |   |     |
| <b>10.1</b> | <b>Überblick</b> . . . . .   | 180 | <b>10.3</b> | <b>Pränatale Diagnostik</b> . . . . .                               | 195 |
| <b>10.2</b> | <b>Angeborene Fehlbildungen</b> . . . . .                          | 181 | 10.3.1      | Sonografie . . . . .  | 195 |
| 10.2.1      | Definition und Häufigkeit . . . . .                                | 181 | 10.3.2      | Untersuchung des mütterlichen Blutes . . . . .                      | 197 |
| 10.2.2      | Einteilung der Fehlbildungen . . . . .                             | 181 | 10.3.3      | Amniozentese. . . . .   | 198 |
| 10.2.3      | Äußere Faktoren. . . . .   | 184 | 10.3.4      | Chorionbiopsie. . . . .   | 198 |
| 10.2.4      | Väterliche Ursachen für Fehlbildungen . . . . .                    | 194 | 10.3.5      | Indikationen für pränatale Diagnostik . . . . .                     | 199 |
|             |  |     | <b>10.4</b> | <b>Fetale Therapie</b> . . . . .                                    | 199 |
|             |  |     | 10.4.1      | Transfusion des Fetus . . . . .                                     | 199 |

|        |  |     |        |                                       |     |
|--------|--|-----|--------|---------------------------------------|-----|
| 10.4.2 | Medikamentöse Behandlung des Fetus . . . . . | 199 | 10.4.4 | Stammzell- und Genthherapie . . . . . | 200 |
| 10.4.3 | Fetale Chirurgie . . . . .                   | 199 |        |                                       |     |

## Teil II Spezielle Embryologie

|           |  |            |        |  |     |
|-----------|--|------------|--------|--|-----|
| <b>11</b> | <b>Achsenskelett . . . . .</b>                                 | <b>202</b> |        |  |     |
| 11.1      | Überblick . . . . .  | 202        | 11.3   | Wirbelsäule . . . . .                                      | 214 |
| 11.2      | Schädel . . . . .  | 202        | 11.4   | Rippen und Brustbein . . . . .                             | 216 |
| 11.2.1    | Neurokranium . . . . .   | 202        |        |  |     |
| 11.2.2    | Viszerokranium . . . . .                                       | 204        |        |  |     |
| <b>12</b> | <b>Muskelsystem . . . . .</b>                                  | <b>218</b> |        |  |     |
| 12.1      | Überblick . . . . .  | 218        | 12.6   | Musterbildung der Muskulatur . . . . .                     | 221 |
| 12.2      | Quer gestreifte Muskulatur . . . . .                           | 219        | 12.7   | Kopf- und Gesichtsmuskulatur . . . . .                     | 222 |
| 12.3      | Innervation der axialen Skelettmuskulatur . . . . .            | 220        | 12.8   | Extremitätenmuskulatur . . . . .                           | 222 |
| 12.4      | Skelettmuskeln und Sehnen . . . . .                            | 221        | 12.9   | Herzmuskulatur . . . . .                                   | 222 |
| 12.5      | Molekulare Steuerung der Muskelentwicklung . . . . .           | 221        | 12.10  | Glatte Muskulatur . . . . .                                | 223 |
| <b>13</b> | <b>Extremitäten . . . . .</b>                                  | <b>225</b> |        |  |     |
| 13.1      | Überblick . . . . .  | 225        | 13.3   | Muskulatur der Extremitäten . . . . .                      | 229 |
| 13.2      | Allgemeine Entwicklung der Extremitäten . . . . .              | 225        | 13.3.1 | Molekulare Steuerung der Extremitätenentwicklung . . . . . | 231 |
| <b>14</b> | <b>Kardiovaskuläres System . . . . .</b>                       | <b>239</b> |        |  |     |
| 14.1      | Überblick . . . . .  | 239        | 14.4   | Bildung der Herzschleife . . . . .                         | 246 |
| 14.2      | Entstehung und Musterbildung des primären Herzfeldes . . . . . | 241        | 14.5   | Molekulare Regulation der Herzentwicklung . . . . .        | 250 |
| 14.3      | Entwicklung und Lage des Herzschlauchs . . . . .               | 244        | 14.6   | Entwicklung des Sinus venosus . . . . .                    | 251 |

|             |  |     |              |  |     |
|-------------|--|-----|--------------|--|-----|
| <b>14.7</b> | <b>Entwicklung der Herzsepten</b> . . . . .                              | 253 | <b>14.9</b>  | <b>Entwicklung des Gefäßsystems</b> . . . . .                    | 270 |
| 14.7.1      | Entwicklung der Septen im Vorhof . . . . .                               | 254 | 14.9.1       | Entwicklung der Arterien . .                                     | 271 |
| 14.7.2      | Unterteilung des Atrioventrikularkanals . . . . .                        | 256 | 14.9.2       | Entwicklung der Venen . . .                                      | 279 |
| 14.7.3      | Entwicklung des Septums im Truncus arteriosus und Conus cordis . . . . . | 262 | <b>14.10</b> | <b>Fetaler Kreislauf und Umstellung bei der Geburt</b> . . . . . | 284 |
| 14.7.4      | Bildung des Ventrikelseptums . . . . .                                   | 265 | 14.10.1      | Fetaler Kreislauf . . . . .                                      | 284 |
| <b>14.8</b> | <b>Entwicklung des Erregungsleitungssystems des Herzens</b> . . . .      | 270 | 14.10.2      | Umstellung bei der Geburt .                                      | 284 |
| <b>15</b>   | <b>Respirationstrakt</b> . . . . .                                       | 288 | <b>14.11</b> | <b>Lymphatisches System</b> . .                                  | 286 |
| 15.1        | Überblick . . . . .  | 288 | <b>15.4</b>  | <b>Trachea, Bronchien und Lungen</b> . . . . .                   | 292 |
| 15.2        | Bildung der Lungenknospen . . . . .                                      | 289 | 15.4.1       | Reifung der Lunge . . . . .                                      | 295 |
| 15.3        | Larynx . . . . .   | 291 | <b>16</b>    | <b>Verdauungssystem</b> . . . . .                                | 299 |
| <b>16</b>   | <b>Verdauungssystem</b> . . . . .  | 299 | 16.1         | Überblick . . . . .  | 299 |
| 16.1        | Überblick . . . . .  | 299 | 16.2         | Einteilung des Magen-Darm-Trakts . . . . .                       | 300 |
| 16.2        | Einteilung des Magen-Darm-Trakts . . . . .                               | 300 | 16.3         | Molekulare Regulation der Darmentwicklung . . .                  | 300 |
| 16.3        | Molekulare Regulation der Darmentwicklung . . .                          | 300 | 16.4         | Mesenterien . . . . .  | 302 |
| 16.4        | Mesenterien . . . . .  | 302 | 16.5         | Vorderdarm . . . . .   | 303 |
| 16.5        | Vorderdarm . . . . .   | 303 | 16.5.1       | Ösophagus . . . . .  | 303 |
| <b>17</b>   | <b>Urogenitalsystem</b> . . . . .  | 330 | 16.5.2       | Magen . . . . .  | 304 |
| 17.1        | Überblick . . . . .  | 330 | 16.5.3       | Duodenum . . . . .   | 311 |
| 17.2        | Harnorgane . . . . .   | 332 | 16.5.4       | Leber und Gallenblase . . . .                                    | 312 |
| 17.2.1      | Entwicklung der exkretorischen Einheit . . . . .                         | 332 | 16.5.5       | Pankreas . . . . .   | 315 |
| 17.2.2      | Nierensysteme . . . . .  | 332 | <b>16.6</b>  | <b>Mitteldarm</b> . . . . .                                      | 318 |
| 17.2.3      | Derivate der Ureterknospe .  | 335 | <b>16.7</b>  | <b>Enddarm</b> . . . . .   | 326 |
| 17.2.4      | Entwicklung der Nephrene .   | 336 | 17.2.3       | Derivate der Ureterknospe .                                      | 335 |
| 17.2.5      | Molekulare Regulation der Nierenentwicklung . . . . .                    | 337 | 17.2.4       | Entwicklung der Nephrene .                                       | 336 |
| 17.2.6      | Aszensus der Niere . . . . .   | 341 | 17.2.5       | Molekulare Regulation der Nierenentwicklung . . . . .            | 337 |
| 17.2.7      | Funktion der Niere . . . . .   | 342 | 17.2.6       | Aszensus der Niere . . . . .                                     | 341 |
| 17.2.8      | Harnblase und Urethra . . .  | 343 | 17.2.7       | Funktion der Niere . . . . .                                     | 342 |
|             |  |     | 17.2.8       | Harnblase und Urethra . . .                                      | 343 |

|             |   |     |              |   |     |
|-------------|---|-----|--------------|---|-----|
| <b>17.3</b> | <b>Genitalsystem</b> . . . . .  | 346 | 17.3.4       | Äußere Genitalien . . . . .                             | 359 |
| 17.3.1      | Gonaden . . . . .   | 346 | 17.3.5       | Descensus testis. . . . .                               | 366 |
| 17.3.2      | Genitalgänge . . . . .  | 350 | 17.3.6       | Deszensus des Ovars . . . . .                           | 369 |
| 17.3.3      | Vagina . . . . .  | 356 |              |   |     |
| <b>18</b>   | <b>Kopf und Hals</b> . . . . .  | 370 |              |   |     |
| <b>18.1</b> | <b>Überblick</b> . . . . .  | 370 | <b>18.5</b>  | <b>Molekulare Regulation der Gesichtsentwicklung</b>    | 381 |
| <b>18.2</b> | <b>Schlundbögen</b> . . . . .   | 373 | <b>18.6</b>  | <b>Zunge</b> . . . . .                                  | 388 |
| 18.2.1      | 1. Schlundbogen . . . . .   | 374 | <b>18.7</b>  | <b>Schilddrüse</b> . . . . .                            | 389 |
| 18.2.2      | 2. Schlundbogen . . . . .   | 377 | <b>18.8</b>  | <b>Gesicht</b> . . . . .                                | 391 |
| 18.2.3      | 3. Schlundbogen . . . . .   | 377 | <b>18.9</b>  | <b>Zwischenkiefersegment</b> .                          | 393 |
| 18.2.4      | 4. und 6. Schlundbogen . . .  | 377 | <b>18.10</b> | <b>Sekundärer Gaumen</b> . . . .                        | 393 |
| <b>18.3</b> | <b>Schlundtaschen</b> . . . . .   | 378 | <b>18.11</b> | <b>Nasenhöhlen</b> . . . . .                            | 399 |
| 18.3.1      | 1. Schlundtasche . . . . .  | 378 | <b>18.12</b> | <b>Zähne</b> . . . . .                                  | 400 |
| 18.3.2      | 2. Schlundtasche . . . . .  | 379 | 18.12.1      | Molekulare Regulation der Zahnentwicklung. . . . .      | 403 |
| 18.3.3      | 3. Schlundtasche . . . . .  | 379 |              |   |     |
| 18.3.4      | 4. Schlundtasche . . . . .  | 379 |              |   |     |
| <b>18.4</b> | <b>Schlundfurchen</b> . . . . .   | 380 |              |   |     |
| <b>19</b>   | <b>Zentralnervensystem</b> . . . . .                                    | 404 |              |   |     |
| <b>19.1</b> | <b>Überblick</b> . . . . .  | 404 | <b>19.3</b>  | <b>Gehirn</b> . . . . .                                 | 419 |
| <b>19.2</b> | <b>Rückenmark</b> . . . . .   | 407 | 19.3.1       | Rhombenzephalon. . . . .                                | 420 |
| 19.2.1      | Neuralepithel, Mantelschicht und Marginalzone .                         | 407 | 19.3.2       | Mesenzephalon . . . . .                                 | 424 |
| 19.2.2      | Grund- und Flügelplatte, Deck- und Bodenplatte . . .                    | 408 | 19.3.3       | Prosenzephalon . . . . .                                | 426 |
| 19.2.3      | Histologische Differenzierung . . . . .                                 | 410 | 19.3.4       | Molekulare Regulation der Gehirnentwicklung . . . . .   | 434 |
| 19.2.4      | Lageveränderung des Rückenmarks. . . . .                                | 414 | <b>19.4</b>  | <b>Hirnnerven</b> . . . . .                             | 441 |
| 19.2.5      | Molekulare Mechanismen bei der Differenzierung des Rückenmarks. . . . . | 414 | <b>19.5</b>  | <b>Autonomes Nervensystem</b> . . . . .                 | 445 |
|             |   |     | 19.5.1       | Sympathisches Nervensystem (Sympathikus) . . . .        | 445 |
|             |   |     | 19.5.2       | Parasympathisches Nervensystem (Parasympathikus). . . . | 449 |

|               |   |     |               |  |
|---------------|---|-----|---------------|--|
| <b>20</b>     | <b>Ohr</b> .....                                  | 451 |               |  |
| <b>20.1</b>   | <b>Überblick</b> .....                            | 451 | <b>20.3.1</b> | Paukenhöhle und Tuba<br>auditiva .....                   |
| <b>20.2</b>   | <b>Innenohr</b> .....                             | 451 | <b>20.3.2</b> | Gehörknöchelchen .....                                   |
| 20.2.1        | Ohrbläschen .....                                 | 451 | <b>20.4</b>   | <b>Äußeres Ohr</b> .....                                 |
| 20.2.2        | Sacculus, Kochlea und<br>Corti-Organ .....        | 452 | <b>20.4.1</b> | Äußerer Gehörgang .....                                  |
| 20.2.3        | Utriculus und Bogengänge .....                    | 454 | <b>20.4.2</b> | Trommelfell .....  |
| <b>20.3</b>   | <b>Mittelohr</b> .....                            | 456 | <b>20.4.3</b> | Ohrmuschel .....   |
| <b>21</b>     | <b>Auge</b> .....                                 | 462 |               |  |
| <b>21.1</b>   | <b>Überblick</b> .....                            | 462 | <b>21.5</b>   | <b>Choroidea, Sklera und<br/>Kornea</b> .....            |
| <b>21.2</b>   | <b>Augenbecher und Linsen-<br/>bläschen</b> ..... | 462 | <b>21.6</b>   | <b>Glaskörper</b> .....                                  |
| <b>21.3</b>   | <b>Retina, Iris und Ziliar-<br/>körper</b> .....  | 463 | <b>21.7</b>   | <b>N. opticus</b> .....                                  |
| <b>21.4</b>   | <b>Linse</b> .....                                | 467 | <b>21.8</b>   | <b>Augenlider</b> .....                                  |
|               |   |     | <b>21.9</b>   | <b>Molekulare Regulation<br/>der Augenentwicklung</b> .. |
| <b>22</b>     | <b>Haut und Anhangsorgane</b> .....               | 474 |               |  |
| <b>22.1</b>   | <b>Überblick</b> .....                            | 474 | <b>22.3</b>   | <b>Haare</b> .....                                       |
| <b>22.2</b>   | <b>Haut</b> .....                                 | 474 | <b>22.4</b>   | <b>Schweißdrüsen</b> .....                               |
| 22.2.1        | Epidermis .....                                   | 474 | <b>22.5</b>   | <b>Brustdrüse</b> .....                                  |
| 22.2.2        | Dermis .....                                      | 476 |               |  |
| <b>Anhang</b> |   |     |               |  |
|               | <b>Antworten zu den Fragen</b> .....              | 484 |               |  |
|               | <b>Glossar</b> .....                              | 500 |               |  |
|               | <b>Abbildungsquellen</b> .....                    | 518 |               |  |
|               | <b>Sachverzeichnis</b> .....                      | 522 |               |  |