

# Inhaltsverzeichnis

<b>1</b>	<b>Entwicklung und Reproduktion:</b>	
	<b>Wesenszüge des Lebendigen in der Übersicht</b> . . . . .	1
1.1	Entwicklung als Selbstkonstruktion . . . . .	1
1.2	Reproduktion: Sex versus natürliches Klonen . . . . .	10
<b>2</b>	<b>Etappen und Prinzipien der Entwicklung</b> . . . . .	19
2.1	Etappen der Entwicklung in der Übersicht . . . . .	19
2.2	Allgemeine Prinzipien in Kurzfassung . . . . .	28
<b>3</b>	<b>Der Start: Befruchtung, Aktivierung des Eies und erste Zellteilungen (Furchung)</b> . . . . .	35
3.1	Die Befruchtung . . . . .	35
3.2	Aktivierung des Eies . . . . .	41
3.3	Nicht-chromosomale Informationsträger . . . . .	44
3.4	Erste Zellteilungen: die Furchung und der MPF-Oszillator . . . . .	46
<b>4</b>	<b>Entwicklung bedeutsamer Modellorganismen I: Wirbellose</b> . . . . .	53
4.1	Der Seeigel-Keim: Basismodell für tierische Entwicklung und Objekt historisch bedeutsamer Experimente . . . . .	53
4.2	Ein Außenseiter: <i>Dictyostelium discoideum</i> . . . . .	64
4.3	<i>Hydra</i> und weitere Cnidarier: Unsterbliche Polypen und historische Pioniermodelle der Entwicklungsbiologie . . . . .	69
4.4	<i>Caenorhabditis elegans</i> : ein Beispiel für invariante Zellstammbäume . . . . .	78
4.5	Spiralier: ein in der Natur oft benutztes Furchungsmuster . . . . .	82
4.6	<i>Drosophila melanogaster</i> : Referenzorganismus der genetischen und molekularbiologischen Entwicklungsbiologie . . . . .	84
4.7	Tunikaten: „Mosaikentwicklung“ im Stamm der Chordaten? . . . . .	107
<b>5</b>	<b>Entwicklung bedeutsamer Modellorganismen II: Wirbeltiere</b> . . . . .	111
5.1	<i>Xenopus</i> : Referenzmodell der Wirbeltierentwicklung . . . . .	111
5.2	Zebraquappe <i>Danio rerio</i> und der Medaka <i>Oryzias latipes</i> . . . . .	133
5.3	Amnioten: Hühnchen, Wachtel und Chimären von beiden . . . . .	137
5.4	Die Maus: Stellvertreter für den Menschen . . . . .	142
<b>6</b>	<b>Die Embryonalentwicklung des Menschen</b> . . . . .	151
6.1	Der Mensch und Modellorganismen . . . . .	151
6.2	Von den Urkeimzellen bis zur Befruchtung . . . . .	152
6.3	Von der Befruchtung bis zum phylotypischen Stadium . . . . .	154

6.4	Schnittstelle Mutter/Kind: die Plazenta . . . . .	162
6.5	Hormonale Beziehungen zwischen Kind und Mutter . . . . .	166
6.6	Die Entwicklung des Menschen im Vergleich zu anderen Wirbeltieren: Gemeinsames, Trennendes, Aspekte der Evolution . . . . .	180
6.7	Konservative Wege versus Neuerungen in der Entwicklung der Wirbeltiere und des Menschen . . . . .	186
<b>7</b>	<b>In Vorbereitung auf neues Leben I: Geschlechtsbestimmung und Geschlechtsentwicklung . . . . .</b>	<b>195</b>
7.1	Wesen der Sexualität . . . . .	195
7.2	Geschlechtsbestimmung . . . . .	196
7.3	Die frühe Sexualentwicklung bei Säugern und dem Menschen . . . . .	199
7.4	Das psychische Geschlecht und postnatale Sexualentwicklung . . . . .	208
<b>8</b>	<b>In Vorbereitung auf neues Leben II: Gametogenese: Die Entstehung von Ei und Spermium und deren Ausstattung mit einer Mitgift . . . . .</b>	<b>219</b>
8.1	Keimbahn und Urkeimzellen . . . . .	219
8.2	Die Oogenese: Herstellung und Bevorratung der Eizelle . . . . .	225
8.3	Die Spermatogenese: das Herstellen von Spermien . . . . .	230
8.4	Weitere Mitgift: maternale und paternale Prägung . . . . .	232
8.5	Genetische Konsequenzen der Soma-Keimbahn-Trennung . . . . .	232
<b>9</b>	<b>Positionsinformation, Musterbildung I: Spezifikation der Körperkoordinaten und erste Schicksalsbestimmung durch maternale Faktoren . . . . .</b>	<b>235</b>
9.1	Das Starten ortsgerechter Differenzierungsprogramme . . . . .	235
9.2	Festlegung der Körperachsen . . . . .	236
9.3	Frühe Determination von Zelltypen durch maternale Faktoren . . . . .	242
9.4	Autonome versus abhängige Entwicklung, asymmetrische Zellteilung versus Zell-Zell-Interaktion . . . . .	243
<b>10</b>	<b>Positionsinformation, Musterbildung II: Embryonale Induktion und Musterbildung durch Zell-Zell-Kommunikation . . . . .</b>	<b>247</b>
10.1	Positionsinformation und die Erzeugung neuer Muster . . . . .	247
10.2	Musterbildung durch Signalaustausch zwischen Nachbarn über direkten Zellkontakt: laterale Inhibition und laterale Hilfe . . . . .	249
10.3	Embryonale Induktion und der Spemann-Organisator . . . . .	252
10.4	Induktionskaskaden und Identifizierung der Signale . . . . .	257
10.5	Musterbildung: Morphogene und Gradiententheorie . . . . .	262
10.6	Das Herz am rechten Fleck: Links-rechts-Asymmetrie . . . . .	267
10.7	Morphogenetische Felder . . . . .	270
10.8	Modellfelder: die Knospen für Vogelflügel und Mäusebein . . . . .	271
10.9	Musterkontrolle und Positionsgedächtnis bei Hydra . . . . .	280
10.10	Musterkorrektur durch Interkalation . . . . .	285
10.11	Periodische Muster . . . . .	286
<b>11</b>	<b>Entwicklungssteuernde Signale und Signaltransduktion . . . . .</b>	<b>293</b>
11.1	Signalsysteme und Mechanismen der Signalweiterleitung: ein Überblick . . . . .	293

11.2	Wie Zellen miteinander kommunizieren: Signal-Transmission und Propagation . . . . .	296
11.3	Signalsubstanzen und die von ihnen aktivierten Transduktionssysteme . . . . .	303
11.4	Lipophile Signalsubstanzen und Steuerung der Genaktivität . . . .	315
<b>12</b>	<b>Entwicklung und Gene . . . . .</b>	<b>321</b>
12.1	Differentielle Genexpression als Basis der Differenzierung . . . . .	339
12.2	Gene zur Spezifikation von Körperregionen und Organen: <i>Hox</i> -Gene . . . . .	344
12.3	Gene zur Programmierung von Augen und Zelltypen . . . . .	351
12.4	Entwicklungssteuernde Gene und Transkriptionskontrolle: ein Resümee . . . . .	355
12.5	Epigenetik: Reversible Veränderungen in der Zugänglichkeit von Genen . . . . .	359
12.6	Irreversible Veränderung des Genoms und damit des Zelltyp-spezifischen genetischen Programms . . . .	364
<b>13</b>	<b>Anwendungsorientierte Experimente an Frühkeimen der Wirbeltiere: Klonen, Chimären, Teratome, transgene Tiere . . . .</b>	<b>369</b>
13.1	Klonen: die Herstellung genetisch identischer Kopien . . . . .	369
13.2	Versuche mit Chimären und Teratomen – und was solche Versuche (nicht) bringen . . . . .	376
13.3	Genetische Manipulationen an Embryonen: K.o.-Mutanten und transgene Tiere . . . . .	378
<b>14</b>	<b>Morphogenese: Gestaltbildung durch aktive Zellbewegung, differenzielle Zelladhäsion und Zelltod . . . . .</b>	<b>385</b>
14.1	Aktive Zellbewegung und Ortsveränderung . . . . .	385
14.2	Gleitvorgänge und Zellsortierung kraft differenzieller Zelladhäsion . . . . .	386
14.3	Zelladhäsionsmoleküle und Zellerkennung . . . . .	388
14.4	Die Bildung verzweigter tubulärer Strukturen: Tracheen, Lungen, Blutgefäße, Nierentubuli . . . . .	390
14.5	Gestaltbildung durch Entfernen von Zellen: Apoptose, der programmierte Zelltod . . . . .	392
<b>15</b>	<b>Fernwanderer und die vielfältigen Schicksale der ausgewanderten Neuralleistenzellen . . . . .</b>	<b>395</b>
15.1	Urkeimzellen und Blutzellen . . . . .	395
15.2	Neuralleisten-Abkömmlinge . . . . .	397
<b>16</b>	<b>Das Nervensystem und zentrale Sinnesorgane . . . . .</b>	<b>403</b>
16.1	Vorbereitung im frühen Embryo . . . . .	403
16.2	Morphologische Entwicklungsgeschichte des Nervensystems . . .	406
16.3	Die genetische Programmierung des Zentralnervensystems . . . . .	417
16.4	Direkt ans Gehirn angeschlossene Sinnesorgane des Kopfes . . . .	422
16.5	Das periphere Nervensystem und Zellmigration über weite Strecken . . . . .	423
16.6	Navigation der Nervenfortsätze und Vernetzung der Nervenzellen	426

16.7	Der Anschluss des Auges und Riechepithels an das Gehirn . . . . .	429
16.8	Im Rückenmark und vom Rückenmark in die Peripherie . . . . .	438
16.9	Plastizität: Korrekturen, Ausbau, Reserven . . . . .	440
<b>17</b>	<b>Herz und Blutgefäße . . . . .</b>	<b>445</b>
17.1	Vom scheinbaren Chaos zur Ordnung . . . . .	445
17.2	Das Herz . . . . .	445
17.3	Blutgefäße: Vasculogenese und Angiogenese . . . . .	447
17.4	Anpassung des Kreislaufs vor und nach der Geburt . . . . .	453
<b>18</b>	<b>Stammzellen, Regeneration, regenerative Medizin . . . . .</b>	<b>457</b>
18.1	Die stetige Grunderneuerung des Organismus; Stammzellen des Menschen . . . . .	457
18.2	Die hämatopoietischen (blutbildenden) Stammzellen . . . . .	462
18.3	Regenerative Medizin: Gewebe- und Organersatz aus Stammzellen . . . . .	469
18.4	iPSC: Reprogrammierung differenzierter Zellen zu pluripotenten Stammzellen . . . . .	475
18.5	Regeneration ganzer Körperteile und von Organen: Wirbellose und Wirbeltiere im Vergleich . . . . .	479
18.6	Die zellulären Grundlagen eines hohen Regenerationsvermögens .	480
18.7	Kontrollsysteme . . . . .	485
<b>19</b>	<b>Wachstumskontrolle und Krebs . . . . .</b>	<b>493</b>
19.1	Wachstumskontrolle . . . . .	493
19.2	Krebs: Wesenszüge, Vorkommen, Begriffe . . . . .	494
19.3	Besondere Eigenschaften von Krebszellen und Tumoren . . . . .	495
19.4	Ursachen einer Cancerogenese . . . . .	497
<b>20</b>	<b>Metamorphose und ihre hormonale Steuerung . . . . .</b>	<b>503</b>
20.1	Metamorphose: ein zweiter Phänotyp aus einer „zweiten Embryogenese“ . . . . .	503
20.2	Hormonale Steuerung der Metamorphose . . . . .	506
20.3	Auslösung der Metamorphose . . . . .	511
20.4	Reverse Entwicklung . . . . .	514
<b>21</b>	<b>Unsterblichkeit oder Altern und Tod: Was will die Natur? . . . . .</b>	<b>517</b>
21.1	Möglichkeit und Unmöglichkeit einer Immortalität . . . . .	517
21.2	Theorien des Alters . . . . .	518
21.3	Der Tod als genetisch vorprogrammiertes Ereignis . . . . .	520
<b>22</b>	<b>Evolution von Entwicklungsprozessen („Evo-Devo“, Evolution and/of Development) . . . . .</b>	<b>525</b>
22.1	Ein Rückblick auf Klassisches . . . . .	525
22.2	Neue Möglichkeiten des Erkenntnisgewinns – Evo-Devo Biologie und ihre Grundlagen . . . . .	526
22.3	Neues aus Überkommenem im genetischen Programm . . . . .	531
22.4	Der gemeinsame Satz molekularer Werkzeuge ( <i>molecular tool kit</i> )	534
22.5	Variationen von Bauplänen innerhalb von Tierstämmen . . . . .	538
22.6	Rekonstruktion der großen Entwicklungsreihen und phylogenetischer Stammbäume . . . . .	541

---

22.7	Evolution der Augen – Darwins Dilemma . . . . .	552
22.8	Zur Evolution des Menschen . . . . .	557
<b>Glossar</b>	. . . . .	<b>561</b>
<b>Literaturverzeichnis</b>	. . . . .	<b>573</b>
<b>Sachverzeichnis</b>	. . . . .	<b>613</b>

# Liste der Boxen

1.1	Von der Seele zur Information: Zur Geschichte der Entwicklungsbiologie . . . . .	4
2.1	Zu den Begriffen Determination, Spezifikation, Commitment . . . . .	30
3.1	Selbstbefruchtung und Parthenogenese . . . . .	40
6.1	Einige neue Aspekte der Reproduktionsmedizin des Menschen . . . . .	169
6.2	Geboren aus einer Jungfrau? . . . . .	170
6.3	Verantwortung gegenüber dem werdenden Kind . . . . .	171
6.4	Pränataldiagnostik: Möglichkeiten und Konflikte . . . . .	174
6.5	Gesetzliche Regelungen in Deutschland . . . . .	178
7.1	Störungen der Sexualentwicklung beim Menschen und mögliche Ursachen . . . . .	209
7.2	Störungen der Sexualentwicklung und Fertilität durch Hormon-ähnliche Fremdstoffe . . . . .	212
7.3	Männer: Ein aussterbendes Geschlecht? . . . . .	215
9.1	Wo ist vorn, wo hinten, wo ist oben, wo unten? Quellen primärer Positionsinformation . . . . .	236
10.1	Wie können Gradienten erkannt und sichtbar gemacht werden? . . . . .	263
10.2	Modelle zur biologischen Musterbildung . . . . .	277
12.1	Zur Nomenklatur von Genen und Proteinen . . . . .	321
12.2	Genetische und molekularbiologische Methoden der Entwicklungsbiologie . . . . .	322
16.1	Genetische Netzwerke in der Entwicklung des Nervensystems . . . . .	416
19.1	Die Hypothese der Mehrstufen-Carcinogenese . . . . .	501
22.1	Die Sage von den drei Keimblättern – Ungereimtheiten und irreführende Terminologien in der vergleichenden Entwicklungsbiologie . . . . .	544
22.2	Ungelöste Rätsel: Urmund, Mund und primäre Körperachsen – homolog oder nicht? . . . . .	546
22.3	Wie sahen die Urbilateria aus? . . . . .	549
22.4	Sind bei Wirbeltieren und Arthropoden Bauch- und Rückenseite vertauscht? . . . . .	551