

# 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 . . . . .	11
1.3	Progenesis und Neotenie – geschlechtsreife Larven: Fundgrube der Evolution? . . . . .	18
<b>2</b>	<b>Etappen und Prinzipien der Entwicklung</b> . . . . .	21
2.1	Etappen der Entwicklung in der Übersicht . . . . .	21
2.2	Allgemeine Prinzipien in Kurzfassung . . . . .	29
<b>3</b>	<b>Der Start: Befruchtung, Aktivierung des Eies und erste Zellteilungen (Furchung)</b> . . . . .	37
3.1	Die Befruchtung . . . . .	37
3.2	Aktivierung des Eies . . . . .	44
3.3	Nicht-chromosomale Informationsträger . . . . .	47
3.4	Erste Zellteilungen: die Furchung und der MPF-Oszillator . . . . .	49
<b>4</b>	<b>Entwicklung bedeutsamer Modellorganismen I: Wirbellose</b> . . . . .	55
4.1	Der Seeigel-Keim: Basismodell für tierische Entwicklung und Objekt historisch bedeutsamer Experimente . . . . .	55
4.2	Ein Außenseiter: <i>Dictyostelium discoideum</i> . . . . .	66
4.3	<i>Hydra</i> und weitere Cnidarier: Unsterbliche Polypen und historische Pioniermodelle der Entwicklungsbiologie . . . . .	71
4.4	<i>Caenorhabditis elegans</i> : ein Beispiel für invariante Zellstammbäume . . . . .	80
4.5	Spiralier: ein in der Natur oft benutztes Furchungsmuster . . . . .	85
4.6	<i>Drosophila melanogaster</i> : Referenzorganismus der genetischen und molekularbiologischen Entwicklungsbiologie . . . . .	88
4.7	Tunikaten: „Mosaikentwicklung“ im Stamm der Chordaten? . . . . .	111
<b>5</b>	<b>Entwicklung bedeutsamer Modellorganismen II: Wirbeltiere</b> . . . . .	115
5.1	<i>Xenopus</i> : Referenzmodell der Wirbeltierentwicklung . . . . .	115
5.2	Zebrabärbling <i>Danio rerio</i> und der Medaka <i>Oryzias latipes</i> . . . . .	136
5.3	Amnioten: Hühnchen, Wachtel und Chimären von beiden . . . . .	140
5.4	Die Maus: Stellvertreter für den Menschen . . . . .	145
<b>6</b>	<b>Die Embryonalentwicklung des Menschen</b> . . . . .	155
6.1	Der Mensch und Modellorganismen . . . . .	155

6.2	Von den Urkeimzellen bis zur Befruchtung . . . . .	156
6.3	Von der Befruchtung bis zum phylotypischen Stadium . . . . .	158
6.4	Schnittstelle Mutter/Kind: die Plazenta . . . . .	166
6.5	Hormonale Beziehungen zwischen Kind und Mutter . . . . .	170
6.6	Die Entwicklung des Menschen im Vergleich zu anderen Wirbeltieren: Gemeinsames, Trennendes, Aspekte der Evolution . . . . .	186
6.7	Konservative Wege versus Neuerungen in der Entwicklung der Wirbeltiere und des Menschen . . . . .	192
<b>7</b>	<b>In Vorbereitung auf neues Leben I: Geschlechtsbestimmung und Geschlechtsentwicklung . . . . .</b>	<b>201</b>
7.1	Wesen der Sexualität . . . . .	201
7.2	Geschlechtsbestimmung . . . . .	202
7.3	Die frühe Sexualentwicklung bei Säugern und dem Menschen . . . . .	205
7.4	Das psychische Geschlecht und postnatale Sexualentwicklung . . . . .	214
<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>227</b>
8.1	Keimbahn und Urkeimzellen . . . . .	227
8.2	Die Oogenese: Herstellung und Bevorratung der Eizelle . . . . .	233
8.3	Die Spermatogenese: das Herstellen von Spermien . . . . .	238
8.4	Weitere Mitgift: maternale und paternale Prägung . . . . .	241
8.5	Genetische Konsequenzen der Soma-Keimbahn-Trennung . . . . .	241
<b>9</b>	<b>Positionsinformation, Musterbildung I: Spezifikation der Körperkoordinaten und erste Schicksalsbestimmung durch maternale Faktoren . . . . .</b>	<b>243</b>
9.1	Das Starten ortsgerechter Differenzierungsprogramme . . . . .	243
9.2	Festlegung der Körperachsen . . . . .	244
9.3	Frühe Determination von Zelltypen durch maternale Faktoren . . . . .	252
9.4	Autonome versus abhängige Entwicklung, asymmetrische Zellteilung versus Zell-Zell-Interaktion . . . . .	253
<b>10</b>	<b>Positionsinformation, Musterbildung II: Embryonale Induktion und Musterbildung durch Zell-Zell-Kommunikation . . . . .</b>	<b>257</b>
10.1	Positionsinformation und die Erzeugung neuer Muster . . . . .	257
10.2	Musterbildung durch Signalaustausch zwischen Nachbarn über direkten Zellkontakt: laterale Inhibition und laterale Hilfe . . . . .	259
10.3	Embryonale Induktion und der Spemann-Organisator . . . . .	264
10.4	Induktionskaskaden und Identifizierung der Signale . . . . .	269
10.5	Musterbildung: Morphogene und Gradiententheorie . . . . .	274
10.6	Das Herz am rechten Fleck: Links-rechts-Asymmetrie . . . . .	280
10.7	Morphogenetische Felder . . . . .	283
10.8	Modellfelder: die Knospen für Vogelflügel und Mäusebein . . . . .	287
10.9	Musterkontrolle und Positionsgedächtnis bei Hydra . . . . .	295
10.10	Musterkorrektur durch Interkalation . . . . .	299
10.11	Periodische Muster . . . . .	300

<b>11</b>	<b>Entwicklungssteuernde Signale und Signaltransduktion</b> . . . . .	307
11.1	Signalsysteme und Mechanismen der Signalweiterleitung: ein Überblick . . . . .	307
11.2	Wie Zellen miteinander kommunizieren: Signal-Transmission, -Propagation und -Transduktion . . . . .	310
11.3	Signalmoleküle und die von ihnen aktivierten Transduktionssysteme . . . . .	319
11.4	Lipophile Signalmoleküle und Steuerung der Genaktivität . . . . .	332
<b>12</b>	<b>Entwicklung und Gene: Genetische und epigenetische Mechanismen der Differenzierung</b> . . . . .	337
12.1	Differenzielle Genexpression als Basis der Differenzierung . . . . .	338
12.2	Gen-gesteuerte Programme . . . . .	347
12.3	Gene zur Spezifikation von Körperregionen: <i>Hox</i> -Gene . . . . .	348
12.4	Gene der Pax-Familie und die Programmierung der vorderen Körperregion mit Gehirn und Augen . . . . .	355
12.5	Gene zur Programmierung von Zelltypen . . . . .	357
12.6	Entwicklungssteuernde Gene und Transkriptionskontrolle . . . . .	359
12.7	Eingriffe in das Genom – <i>genome-editing</i> – als Methoden für den Entwicklungsbiologen . . . . .	375
12.8	Epigenetik und das zelluläre Gedächtnis . . . . .	376
12.9	Epigenetik, Umwelteinflüsse, Transgenerationseffekte . . . . .	384
12.10	Irreversible Veränderung des Genoms und damit des Zelltyp-spezifischen genetischen Programms . . . . .	386
<b>13</b>	<b>Anwendungsorientierte Experimente an Frühkeimen der Wirbeltiere: Klonen, Chimären, Teratome, transgene Tiere</b> . . . . .	391
13.1	Klonen: die Herstellung genetisch identischer Kopien . . . . .	391
13.2	Versuche mit Chimären und Teratomen – und was solche Versuche (nicht) bringen . . . . .	398
13.3	Für den menschlichen Bedarf genetisch umgerüstete Lebewesen . . . . .	401
13.4	Neue Methoden zur Herstellung transgener Organismen und für Eingriffe in das Genom – <i>Genome-editing</i> . . . . .	404
<b>14</b>	<b>Morphogenese: Gestaltbildung durch aktive Zellbewegung, differenzielle Zelladhäsion und Zelltod</b> . . . . .	421
14.1	Aktive Zellbewegung und Ortsveränderung . . . . .	421
14.2	Gleitvorgänge und Zellsortierung kraft differenzieller Zelladhäsion . . . . .	422
14.3	Zelladhäsionsmoleküle und Zellerkennung . . . . .	424
14.4	Die Bildung verzweigter tubulärer Strukturen: Tracheen, Lungen, Blutgefäße, Nierentubuli . . . . .	426
14.5	Gestaltbildung durch Entfernen von Zellen: Apoptose, der programmierte Zelltod . . . . .	429
<b>15</b>	<b>Fernwanderer und die vielfältigen Schicksale der ausgewanderten Neuralleistenzellen</b> . . . . .	433
15.1	Urkeimzellen und Blutzellen . . . . .	433

15.2	Die Neuerung der multipotenten Neuralleistenzellen ermöglichten den Wirbeltieren, einen ausgeprägten Kopf und Kiemen zu erlangen . . . . .	435
15.3	Sogar im ZNS wandern viele Zellen . . . . .	445
<b>16</b>	<b>Das Nervensystem und zentrale Sinnesorgane . . . . .</b>	<b>447</b>
16.1	Morphologische Entwicklungsgeschichte des Nervensystems . . . . .	447
16.2	Die genetische Programmierung des Nervensystems . . . . .	454
16.3	Das wachsende ZNS und seine Stammzellen . . . . .	463
16.4	Das periphere Nervensystem und Zellmigration über weite Strecken . . . . .	468
16.5	Navigation der Nervenfortsätze und Vernetzung der Nervenzellen . . . . .	471
16.6	Aus Plakoden gebildete, ans Gehirn angeschlossene Sinnesorgane des Kopfes . . . . .	474
16.7	Auge und Nase: der Anschluss des Auges und Riechepithels an das Gehirn . . . . .	475
16.8	Im Rückenmark und vom Rückenmark in die Peripherie . . . . .	484
16.9	Plastizität: Korrekturen, Ausbau, Reserven . . . . .	487
<b>17</b>	<b>Herz und Blutgefäße . . . . .</b>	<b>491</b>
17.1	Vom scheinbaren Chaos zur Ordnung . . . . .	491
17.2	Das Herz . . . . .	495
17.3	Blutgefäße: Vasculogenese und Angiogenese . . . . .	499
17.4	Anpassung des Kreislaufs vor und nach der Geburt . . . . .	506
<b>18</b>	<b>Stammzellen, Regeneration, regenerative Medizin . . . . .</b>	<b>511</b>
18.1	Die stetige Grunderneuerung des Organismus; Stammzellen des Menschen . . . . .	511
18.2	Die multipotenten hämatopoietischen (blutbildenden) Stammzellen . . . . .	517
18.3	Adulte hämatopoietische Stammzellen in der Klinik . . . . .	525
18.4	Das medizinische Potenzial weiterer adulter Stammzellen . . . . .	528
18.5	Reprogrammierung differenzierter Zellen zu pluripotenten Stammzellen und Transdifferenzierung, das Umprogrammieren differenzierter Zellen in andere Zellarten . . . . .	530
18.6	Klinische regenerative Medizin mit Stammzellen . . . . .	533
18.7	Natürliche Regeneration des Nervensystems, von Körperteilen und Organen . . . . .	540
18.8	Die zellulären Grundlagen eines hohen Regenerationsvermögens . . . . .	542
18.9	Kontrollsysteme . . . . .	547
<b>19</b>	<b>Wachstumskontrolle und Krebs . . . . .</b>	<b>555</b>
19.1	Wachstumskontrolle . . . . .	555
19.2	Krebs: Wesenszüge, Vorkommen, Begriffe . . . . .	556
19.3	Besondere Eigenschaften von Krebszellen und Tumoren . . . . .	559
19.4	Ursachen einer Cancerogenese . . . . .	562

---

<b>20</b>	<b>Metamorphose und ihre hormonale Steuerung</b> . . . . .	571
20.1	Metamorphose: ein zweiter Phänotyp aus einer „zweiten Embryogenese“ . . . . .	571
20.2	Hormonale Steuerung der Metamorphose . . . . .	575
20.3	Auslösung der Metamorphose . . . . .	580
20.4	Reverse Entwicklung . . . . .	584
<b>21</b>	<b>Unsterblichkeit oder Altern und Tod: Was will die Natur?</b> . . . . .	587
21.1	Möglichkeit und Unmöglichkeit einer Immortalität . . . . .	587
21.2	Theorien des Alters . . . . .	589
21.3	Der Tod als genetisch vorprogrammiertes Ereignis . . . . .	591
<b>22</b>	<b>Evolution von Entwicklungsprozessen</b> . . . . .	595
22.1	Ein Rückblick auf Klassisches . . . . .	595
22.2	Neue Möglichkeiten des Erkenntnisgewinns – Evo-Devo-Biologie und ihre Grundlagen . . . . .	596
22.3	Neues aus Überkommenem im genetischen Programm . . . . .	601
22.4	Der gemeinsame Satz molekularer Werkzeuge ( <i>molecular tool kit</i> ) . . . . .	604
22.5	Morphologische Neuerwerbungen und genetisch fixierte Variationen der Baupläne innerhalb von Tierstämmen . . . . .	610
22.6	Rekonstruktion der großen Entwicklungsreihen und von phylogenetischen Stammbäumen . . . . .	613
22.7	Evolution der Augen – Darwins Dilemma . . . . .	626
22.8	Zur Evolution des Menschen . . . . .	631
	<b>Glossar</b> . . . . .	637
	<b>Literaturverzeichnis</b> . . . . .	649
	<b>Sachverzeichnis</b> . . . . .	699