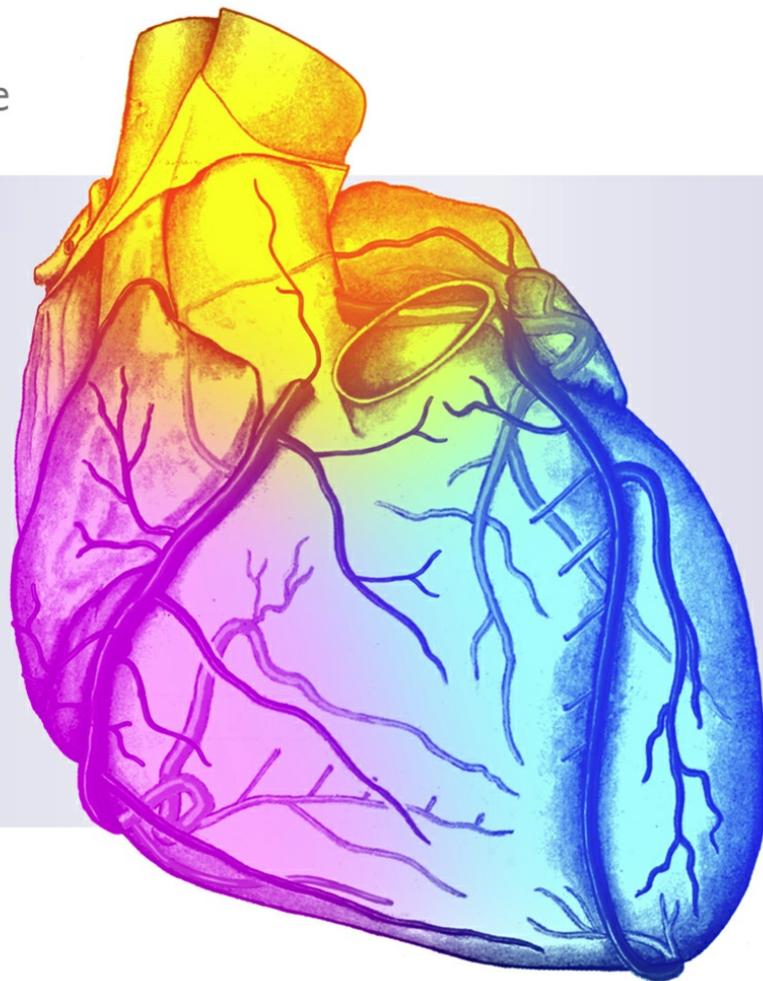


Benninghoff Drenckhahn

Herausgegeben von
D. Drenckhahn und J. Waschke

Taschenbuch Anatomie

3. Auflage



Taschenbuch Anatomie

3. AUFLAGE

Herausgegeben von
Detlev Drenckhahn und Jens Waschke

Benninghoff

Drenckhahn



Inhaltsverzeichnis

Mitwirkende

Der Inhalt dieses Buches basiert auf Benninghoff/Drenckhahn, Anatomie, 16. Auflage. Die Originalbeiträge wurden stark gekürzt und zusammengefasst von Prof. Dr. med. Detlev Drenckhahn, Würzburg, und Prof. Dr. med. Jens Waschke, München.

Basierend auf Beiträgen von:

Prof. Dr. med. Esther Asan, Würzburg
Prof. Dr. med. vet. Dirk Berens von Rautenfeld, Hannover
Prof. Dr. med. Heiko Braak, Frankfurt
Prof. Dr. med. Bodo Christ, Freiburg
Prof. Dr. med. Rolf Dermietzel, Bochum
Prof. Dr. med. Detlev Drenckhahn, Würzburg
Prof. Dr. med. Monika von Düring, Bochum
Prof. Dr. med. Hans-Rainer Duncker, Gießen
Prof. Dr. med. Felix Eckstein, Salzburg
Prof. Dr. med. Hossein Dariush Fahimi, Heidelberg
Prof. Dr. med. Dr. agr. Bernd Fischer, Halle/Saale
Prof. Dr. med. Wolf-Georg Forssmann, Hannover
Prof. Dr. med. Helga Fritsch, Innsbruck
Prof. Dr. med. Richard Funk, Dresden
Prof. Dr. med. Peter Groscurth, Zürich
Prof. Dr. med. Dietrich Grube†, Hannover
Prof. Dr. med. Hans-Dieter Hofmann, Freiburg
Prof. Dr. med. Adolf-Friedrich Holstein, Hamburg
Prof. Dr. med. Ernst Bruno Hunziker, Bern
Prof. Dr. med. Peter Kaufmann†, Aachen
Prof. Dr. rer. nat. Jürgen Koebke†, Bonn
Prof. Dr. med. Horst-Werner Korf, Frankfurt
Prof. Dr. rer. nat. Kerstin Kriegelstein, Freiburg
Prof. Dr. med. Wilhelm Kriz, Heidelberg
Prof. Dr. med. Peter Kugler, Würzburg
Prof. Dr. med. Wolfgang Kummer, Gießen
Prof. Dr. med. Renate Lüllmann-Rauch, Kiel
Prof. Dr. med. Alexander Marx, Mannheim
Prof. Dr. med. Siegfried Mense, Heidelberg
Prof. Dr. med. Magdalena Müller-Gerbl, Basel
Prof. Dr. med. Winfried Neuhuber, Erlangen
Prof. Dr. med. Robert Nitsch, Mainz
Prof. Dr. med. Reinhard Pabst, Hannover
Prof. Dr. med. Reinhard Putz, München
Prof. Dr. med. Dr. phil. Günter Rager, Fribourg
Prof. Dr. rer. nat. Klaus Reutter, Tübingen
Prof. Dr. med. Gabriele Rune, Hamburg
Prof. Dr. med. Hans-Martin Schmidt, Bonn
Prof. Dr. med. Hans-Joachim Schnittler, Münster
Prof. Dr. med. Birte Steiniger, Marburg
Prof. Dr. med. Christoph Viebahn, Göttingen
Prof. Dr. med. Hubert Wartenberg, Bonn
Prof. Dr. med. Wolfgang Zenker, Pfäffikon

Impressum

Elsevier GmbH, Hackerbrücke 6, 80335 München, Deutschland
Wir freuen uns über Ihr Feedback und Ihre Anregungen an

ISBN 978-3-437-42303-1
eISBN 978-3-437-09622-8

Alle Rechte vorbehalten

3. Auflage 2020

© Elsevier GmbH, Deutschland

Wichtiger Hinweis für den Benutzer

Ärzte/Praktiker und Forscher müssen sich bei der Bewertung und Anwendung aller hier beschriebenen Informationen, Methoden, Wirkstoffe oder Experimente stets auf ihre eigenen Erfahrungen und Kenntnisse verlassen. Bedingt durch den schnellen Wissenszuwachs insbesondere in den medizinischen Wissenschaften sollte eine unabhängige Überprüfung von Diagnosen und Arzneimitteldosierungen erfolgen. Im größtmöglichen Umfang des Gesetzes wird von Elsevier, den Autoren, Redakteuren oder Beitragenden keinerlei Haftung in Bezug auf jegliche Verletzung und/oder Schäden an Personen oder Eigentum, im Rahmen von Produkthaftung, Fahrlässigkeit oder anderweitig, übernommen. Dies gilt gleichermaßen für jegliche Anwendung oder Bedienung der in diesem Werk aufgeführten Methoden, Produkte, Anweisungen oder Konzepte.

Für die Vollständigkeit und Auswahl der aufgeführten Medikamente übernimmt der Verlag keine Gewähr.

Geschützte Warennamen (Warenzeichen) werden in der Regel besonders kenntlich gemacht (®). Aus dem Fehlen eines solchen Hinweises kann jedoch nicht automatisch geschlossen werden, dass es sich um einen freien Warennamen handelt.

Bibliografische Information der Deutschen Nationalbibliothek

Die Deutsche Nationalbibliothek verzeichnet diese Publikation in der Deutschen Nationalbibliografie; detaillierte bibliografische Daten sind im Internet über abrufbar.

20 21 22 23 24 5 4 3 2 1

Für Copyright in Bezug auf das verwendete Bildmaterial siehe .

Das Werk einschließlich aller seiner Teile ist urheberrechtlich geschützt. Jede Verwertung außerhalb der engen Grenzen des Urheberrechtsgesetzes ist ohne Zustimmung des Verlages unzulässig und strafbar. Das gilt insbesondere für Vervielfältigungen, Übersetzungen, Mikroverfilmungen und die Einspeicherung und Verarbeitung in elektronischen Systemen.

Um den Textfluss nicht zu stören, wurde bei Patienten und Berufsbezeichnungen die grammatikalisch maskuline Form gewählt. Selbstverständlich sind in diesen Fällen immer alle Geschlechter gemeint.

Planung: Susanne Szczepanek, München

Projektmanagement: Anke Drescher, München

Redaktion: Isabella de la Rosée, Höhenkirchen-Siegertsbrunn

Bildredaktion und Rechtextklärung: Petra Taint, München

Herstellung: Dietmar Radünz, Leipzig

Satz: abavo GmbH, Buchloe

Druck und Bindung: Drukarnia Dimograf Sp. z o. o., Bielsko-Biała/Polen

Umschlaggestaltung: SpieszDesign, Neu-Ulm

Titelfotografie: H. Ferner, Wien, mod. DD [Ch]

Aktuelle Informationen finden Sie im Internet unter .

Vorwort der 1. Auflage

Mit dem vorliegenden Taschenbuch der Anatomie entsprechen wir den Wünschen vieler Studenten und des Verlags, dem großen Lehrbuch der Anatomie (makroskopische Anatomie – Histologie – Embryologie – Zellbiologie) von Benninghoff/Drenckhahn nun auch eine Kurzfassung zur Seite zu stellen.

Das Ziel des vorliegenden Taschenbuchs ist es, das Gesamtgebiet der makroskopischen Anatomie mit embryologischen Grundlagen und klinischen Bezügen übersichtlich und Text sparend darzulegen, um den Studenten ein handliches Lernbuch zum Erschließen des Stoffes und zur Wiederholung in die Kitteltasche zu geben. In Abweichung von dem großen Lehrbuch haben wir uns entschlossen, die Leitungsbahnen in Zusammenhang mit den jeweiligen Körperteilen und Situsabschnitten zu beschreiben.

Durch vielfältige Seitenhinweise auf das große Lehrbuch wollen wir das Nachschlagen zur Erweiterung des Wissens erleichtern, insbesondere was ein fundiertes Verständnis funktioneller und geweblich-zellulärer Zusammenhänge und klinischer Gesichtspunkte betrifft, die im vorliegenden Kurzlehrbuch oft nur beschrieben, aber nicht näher ausgeführt und erklärt werden können.

Es ist uns gelungen, ohne besondere inhaltliche Abstriche in der makroskopischen Anatomie auf weniger als 600 Seiten eine moderne auf das Wesentliche konzentrierte Anatomie und Embryologie darzustellen. Die zahlreichen, neu verfassten Merksätze sollen helfen, sich schnell wichtige Fakten einzuprägen.

Wir hoffen, dass wir die Erwartungen an ein handliches, benutzerfreundliches und zugleich inhaltlich anspruchsvolles Kurzlehrbuch erfüllen und durch diese Buch das Interesse an einer Vertiefung des für die Medizin so fundamentalen Stoffgebietes der Anatomie fördern.

Abschließend möchten wir den Autoren des großen Lehrbuchs (siehe Autorenliste) für ihr Einverständnis danken, das vorliegende Lehrbuch auf der Grundlage ihrer Kapitel und Abbildungen zu gestalten.

Detlev Drenckhahn, und Jens Waschke, Würzburg

Vorwort der 3. Auflage

Unsere Erwartungen, mit dem **Taschenbuch Antonie** ein handliches, benutzerfreundliches und zugleich auch anspruchsvolles Kurzlehrbuch anzubieten, das in die „Kitteltasche passt“, haben sich durchaus erfüllt. Inzwischen liegen auch italienische und spanische Auflagen des Buches vor. Die nunmehr 3. Auflage innerhalb von elf Jahren enthält neben Korrekturen und Anpassungen an neue nomenklatorische Änderungen auch eine Reihe neuer Abbildungen zur besseren Veranschaulichung komplizierter anatomischer und embryologischer Verhältnisse. Auch wurden einige neue klinisch-anatomische Sachverhalte aufgenommen. Wir danken Studierenden, Kollegen und Kolleginnen für Hinweise zur Verbesserung von Text und Abbildungen.

Wir hoffen, dass dieser „Kleine Benninghoff Drenckhahn“ das Interesse am großen Lehrbuch fördert. Den Autoren des großen Lehrbuches (siehe Autorenliste) danken wir für Ihr Einverständnis, Kapitel und Abbildungen als Grundlage für das vorliegende Taschenbuch verwenden zu dürfen.

Herbst 2019

Detlev Drenckhahn, Würzburg

Jens Waschke, München

Abkürzungen

Anatomische Begriffe:	
A.	Arteria
Aa.	Arteriae
Art.	Articulatio
Artt.	Articulationes
BWK	Brustwirbelkörper
BW	Brustwirbel
Ca	Karzinom
Ggl.	Ganglion
Ggl.	Ganglia
Gl.	Glandula
Gll.	Glandulae
HW	Halswirbel
inf.	inferior
lat.	lateralis
Lig.	Ligamentum
Ligg.	Ligamenta
Lnn.	Nodi lymphoidei
LWK	Lendenwirbelkörper
med.	medialis
N.	Nervus
Nn.	Nervi
Ncl.	Nucleus
Nell.	Nuclei
post.	posterior
Proc.	Processus (Singular)
Procc.	Processus (Plural)
R.	Ramus
Rr.	Rami
sup.	superior
Tr.	Tractus
V.	Vena
Vv.	Venae
ZNS	Zentralnervensystem
Bei den Muskeln:	
U	Ursprung (eines Muskels)
A	Ansatz (eines Muskels)
F	Funktion (eines Muskels)
I	Innervation (eines Muskels)

Bei den Leitungsbahnen bzw. Organen:

A	Arterien
V	Venen
L	Lymphabfluss
I	Innervation
Verweise:	
Abb.	Abbildung
S.	Seite
s. BD	Hinweis auf Abschnitte im Benninghoff/Drenckhahn, Anatomie, 16. Auflage
→ Kap.	siehe Kapitel
Tab.	Tabelle

Einführung

1.1. Stoffgebiet der Anatomie und Embryologie

Der Begriff „Anatomie“ leitet sich von der wichtigsten Methode des Fachs ab, nämlich der Zergliederung des Körpers in seine Bauelemente (anatemnein, gr.: aufschneiden). Aufgrund der Dimensionen der betrachteten Bauelemente wird das Fach in die **makroskopische Anatomie** (mit unbewaffnetem Auge sichtbare Strukturen; makros, gr.: groß; skopein, gr.: betrachten) und die **mikroskopische Anatomie** (mit dem Mikroskop sichtbare Strukturen; mikros, gr.: klein) unterteilt. Die Anatomie umfasst auch die **Embryologie** (embryon, gr.: Neugeborenes [Lamm], ungeborene Leibesfrucht), die sich, ausgehend von der Befruchtung der Eizelle, mit den Vorgängen der Bildung der Gewebe (**Histogenese**; genesis, gr.: Entstehung) und Organe (**Organogenese**) sowie der Gestalt des Körpers und seiner Teile (**Morphogenese**; morphe, gr.: Gestalt) befasst. Diese von der befruchteten Eizelle ausgehende Entwicklung wird als **Ontogenese** (on, gr.: seiend) bezeichnet.

1.2. Anatomische Nomenklatur

Eine Fachsprache ist notwendig, um sich präzise ausdrücken und verständigen zu können. Es gibt etwa 6.000 anatomische Namen (Nomina anatomica, NA). Sie werden aus rund 600 Wortstämmen gebildet, von denen über zwei Drittel lateinischen, fast alle übrigen griechischen Ursprungs sind. Nahezu sämtliche NA werden unabhängig von ihrer Herkunft wie lateinische Formen behandelt. Die NA sind international verbindlich katalogisiert. Heute gilt die 2. Auflage der Terminologia Anatomica aus dem Jahr 2017. Die Nomina histologica wurde 2008 und die Nomina embryologica 2017 in der 2. Auflage festgelegt. Ganz neu ist die Terminologia Neuroanatomica aus dem Jahr 2017.

1.3. Achsen und Ebenen, Lage- und Richtungsbezeichnungen, Oberflächenregionen

Eine Standardisierung der Lage- und Richtungsbezeichnungen erfolgt durch Bezug auf ein Koordinatensystem von drei senkrecht aufeinanderstehenden Achsen und Ebenen (). Alle Bezeichnungen werden auf den **aufrecht stehenden Menschen** bezogen (**anatomische Nullstellung**).

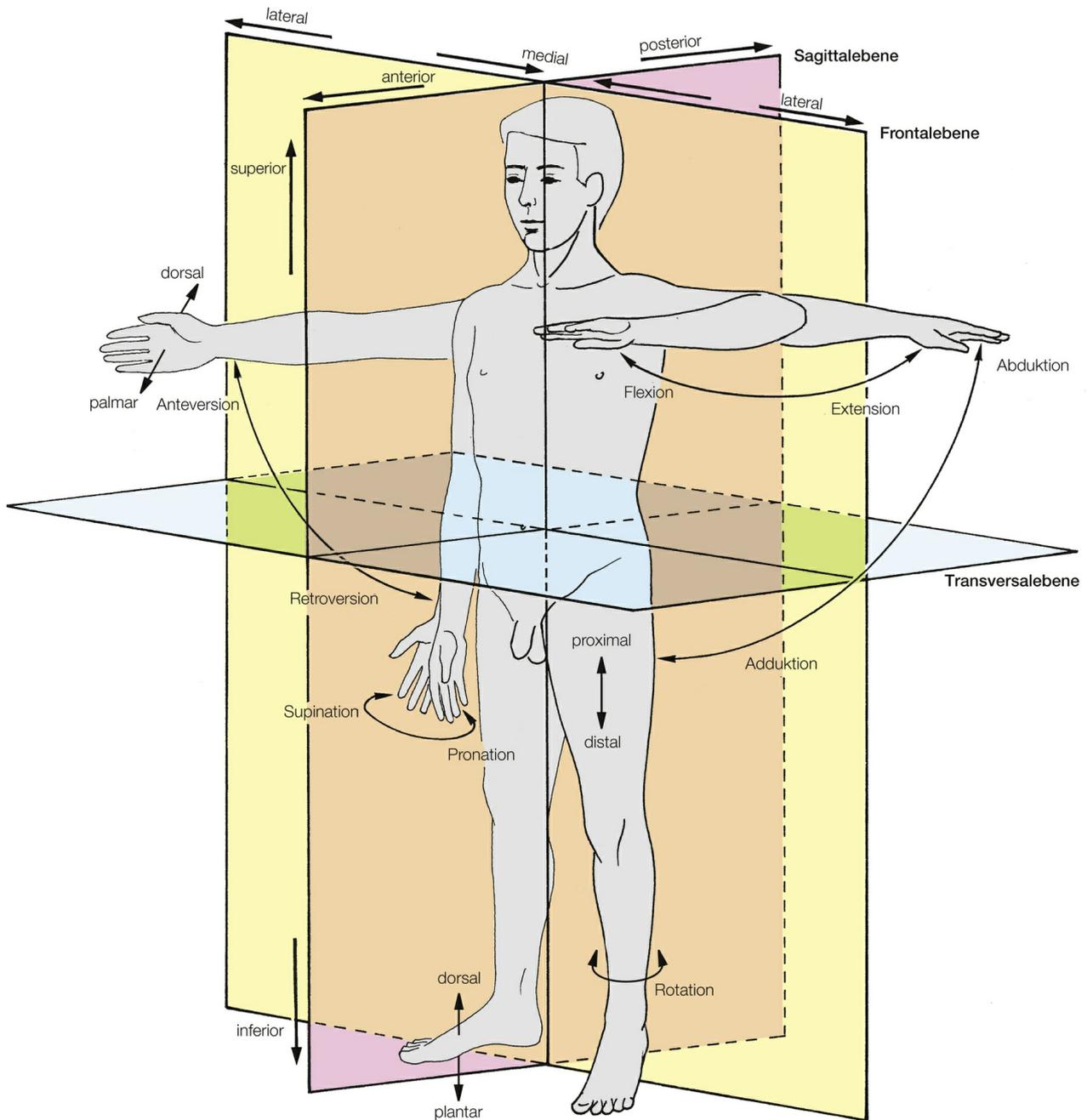


Abb. 1.1 Die wichtigsten Ebenen, Lagebezeichnungen und Bewegungsrichtungen.

Merke

Die anatomische Nullstellung, auf die sich alle Lagebezeichnungen beziehen, ist der aufrecht stehende Körper mit herabhängenden Armen und nach vorne gerichteten Handflächen.

Achsen

- Vertikal (oder longitudinal): senkrecht zur Standfläche
- transversal (oder horizontal): senkrecht zur vertikalen Achse, quer durch den Körper
- sagittal (oder ventrodorsal): in Richtung eines Pfeils (lat.: sagitta), d. h. senkrecht von vorn bzw. von hinten

Ebenen

- Medianebene: vertikale Symmetrieebene, die den Körper in zwei spiegelbildliche Hälften teilt (bilaterale Symmetrie)
- Sagittalebene (Paramedianebenen): Ebenen, die parallel zur Medianebene verlaufen
- Transversalebene: horizontale Querschnittsebenen
- Frontalebene: in der Ebene der Stirn (Frons)

Lagebezeichnungen

- superior, -ius; kranial: oberhalb, auf das Kopfende zu (von Cranium, lat.: Schädel)
- inferior, -ius; kaudal: unterhalb, zum Steißende hin (von Cauda, lat.: Schwanz)
- anterior, -ius; ventral: vorn, zur Vorderfläche hin (von Venter, lat.: Bauch)

- rostral, -is; vorn (nur im Gehirn benutzt) (von Rostrum, lat.: Schnabel)
- posterior, -ius; dorsal: hinten, zur Rückfläche hin (von Dorsum, lat.: Rücken)
- medial: auf die Medianebene zu
- median: in der Medianebene
- lateral: seitlich, von der Medianebene weg
- zentral: auf das Körperinnere oder das Innere eines Organs zu
- peripher: auf die Oberfläche des Körpers oder eines Organs zu
- profundus: -a, -um: tief
- superficialis, -e: oberflächlich
- dexter: -tra, -trum: rechts
- sinister: -tra, -trum: links

An den **Extremitäten** gelten folgende zusätzliche Lagebezeichnungen:

- distal: vom Rumpf weg
- proximal: zum Rumpf hin
- ulnar: zur Ellenseite (Kleinfingerseite) hin
- radial: zur Speichenseite (Daumenseite) hin
- palmar: zur Handinnenfläche hin
- dorsal: zum Handrücken hin
- fibular: zur Wadenbeinseite (Kleinzehenseite) hin
- tibial: zur Schienbeinseite (Großzehenseite) hin
- plantar: zur Fußsohle hin
- dorsal: zum Fußrücken hin

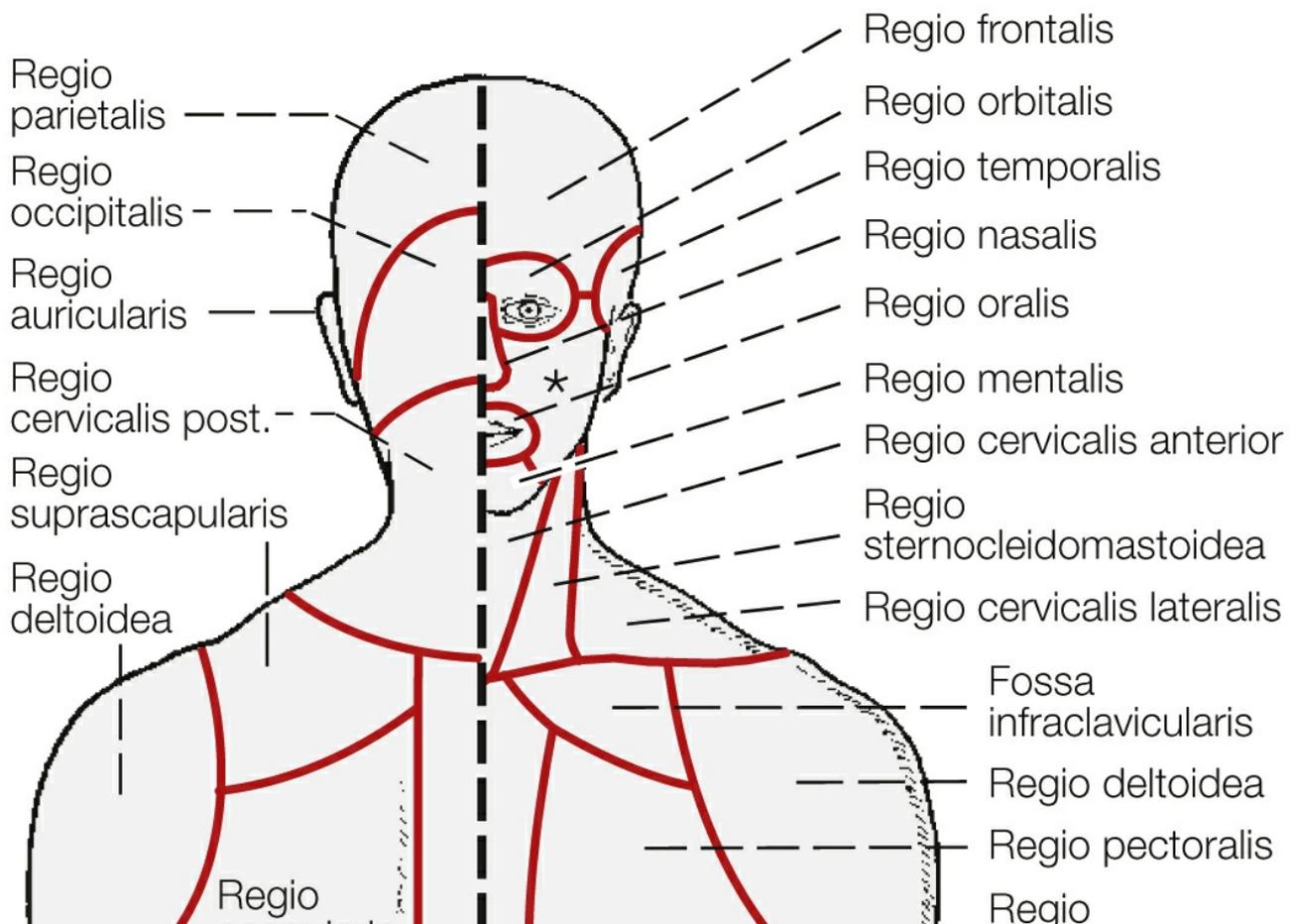
Bewegungsrichtungen des Rumpfes und der Extremitäten

- Extension: Streckung
- Flexion: Beugung. Lateralflexion: Seitwärtsneigung des Rumpfes
- Abduktion: Bewegung vom Körper (Hauptachse) weg, Abspreizen
- Adduktion: Bewegung zum Körper (Hauptachse) hin, Heranführen
- Rotation: Drehung (Kreiselung) um die Hauptachse (Längsachse)
- Pronation/Supination: Wendebewegungen des Unterarms mit Hand, der Füße
- Anteversion/Retroversion: Vorheben und Rückführen des Arms und Beins

Oberflächenregionen

Die Körperoberfläche wird in Regionen unterteilt ().

* Weitere Regionen im Gesichtsbereich sind: Regio infraorbitalis, zygomatica, buccalis, parotideomasseterica



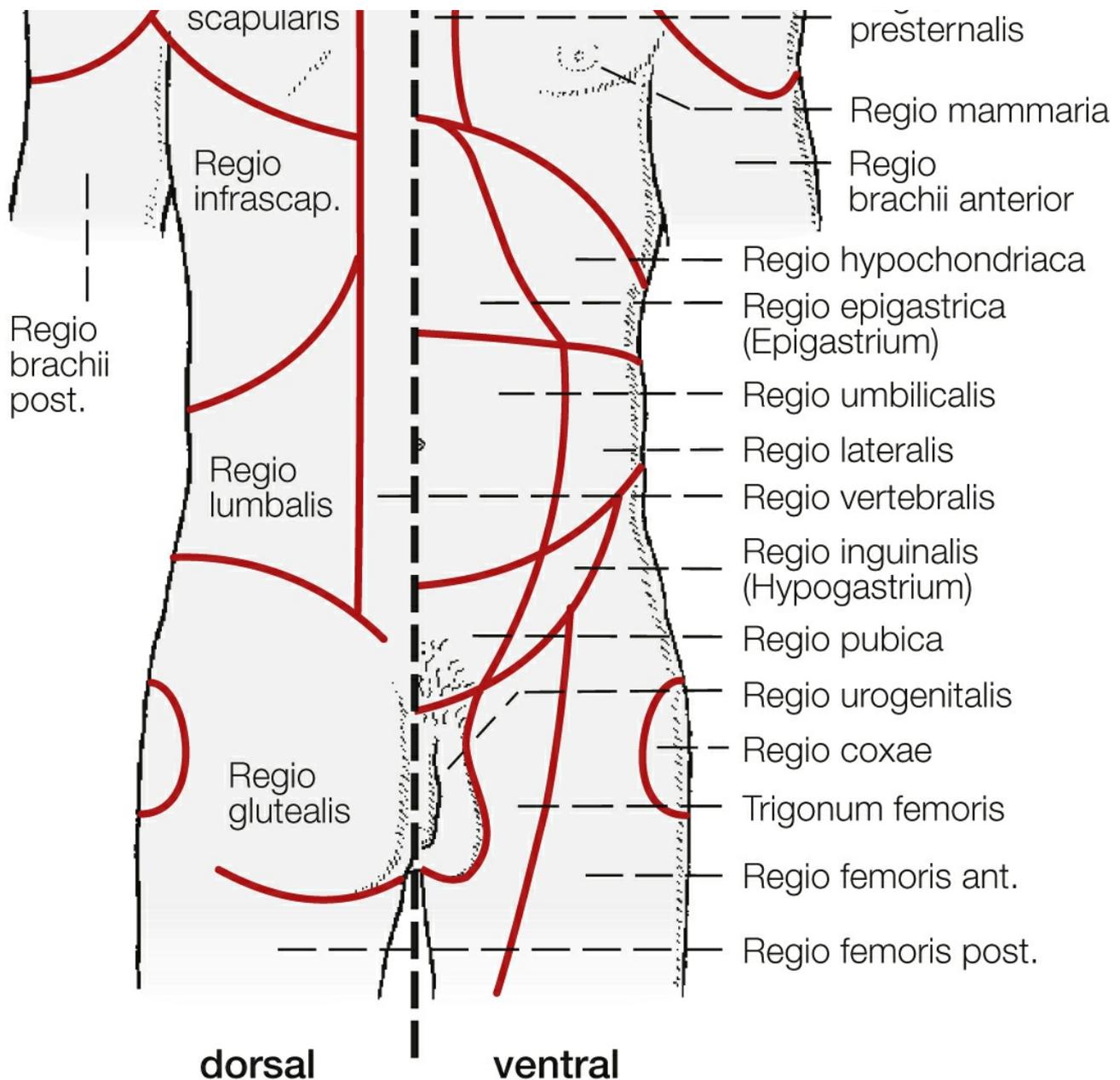


Abb. 1.2 Die Regionen der Körperoberfläche.

1.4. Körpermaße (Höhe, Gewicht, Oberfläche)

Die mittlere **Körperhöhe** (in Mitteleuropa Männer: 177 cm, Frauen: 167 cm) hat seit etwa Mitte des 19. Jahrhunderts, wahrscheinlich bedingt durch die verbesserten Lebensbedingungen, kontinuierlich zugenommen (**Akzeleration**). Dies ist auch mit einer Vorverlegung des Eintritts der Geschlechtsreife einhergegangen.

Das **Körpergewicht** korreliert mit der Körpergröße. Der Körper des Erwachsenen besteht zu 65 % (2/3!) aus Wasser (Säuglinge 75 %, Greise 55 %). Der mittlere Wassergehalt aller Organe und Gewebe beträgt 70–80 %, Knochen enthält etwa 20 % Wasser, Fettgewebe nur 10 %. Das Normalgewicht wird nach der **BROCA-Formel** berechnet:

Normalgew. (kg) = Körperlänge (cm) – 100.

Bei einer Körperlänge von 170 cm beträgt das Normalgewicht 70 kg.

Für die Definition der Übergewichtigkeit wird der **Körpermassenindex** (engl.: body mass index, BMI) bestimmt:

$BMI = \text{Körpergewicht (kg)} : \text{Körperlänge (m)}^2$.

Übergewicht: BMI > 23 (Frauen), > 24 (Männer), **Obesitas** (Fettleibigkeit, Fettsucht): BMI > 30, **Untergewicht:** BMI < 18,5.

Der **Fettanteil** am Körpergewicht bei Frauen unter 60 Jahren ist aufgrund ihres dickeren Unterhautfettgewebes mit durchschnittlich 20–35 % größer als der von Männern (10–22 %). Gesteuert durch Geschlechtshormone, wird bei der Frau das Fett vorwiegend in der Gluteal- und Femoralregion (**gynoider Fettverteilungstyp**) eingelagert, beim Mann besonders in der Abdominalregion (**androider Fettverteilungstyp**).

Die **Körperoberfläche** ist als wichtigste Wärmeabgabefläche eine bedeutende Größe für den Energiehaushalt (Grundumsatz) des Organismus. Die Körperoberfläche (in m^2) wird nach DUBOIS berechnet:

$71,84 \times \text{Gewicht (kg)}^{0,425} \times \text{Länge (cm)}^{0,725}$

Bei mittlerer Körpergröße von 177 cm (♂) bzw. 167 cm (♀) und einem Gewicht von 70 kg (♂) bzw. 60 kg (♀) beträgt die Körperoberfläche $1,85 m^2$ (♂) bzw. $1,65 m^2$ (♀). Als Faustregel gilt, dass je kg Körpergewicht (ausgehend von diesen Mittelwerten) etwa $100 cm^2$ Oberfläche zu veranschlagen sind: Also bei einem 80 kg schweren ♂ von mittlerer Körpergröße etwa $1,95 m^2$.

Neunerregel: Die Körperoberfläche verteilt sich auf die verschiedenen Regionen ungefähr wie folgt:

- Kopf 9 %
- 1 Arm 9 %
- 1 Bein 18 %

- Rumpf, vorn 18 %
- Rumpf, hinten 18 %

» Klinik

Bei der Beurteilung des Schweregrades von Verbrennungen wird die Neunerregel verwendet.

Allgemeine Entwicklungslehre

Die Entwicklungslehre (Embryologie) beschäftigt sich mit der **Entwicklungsgeschichte** oder (vorgeburtlichen) Entwicklung einzelner Organismen (**Ontogenese**). Sie kann in eine **Frühentwicklung** (1.–3. Entwicklungswoche), die **Embryonalperiode** (4.–8. Woche) und eine **Fetalperiode** (3.–9. Monat) untergliedert werden. Die Entwicklungstage (-wochen) gehen vom Zeitpunkt der Empfängnis aus (post conceptionem = p. c.), die Schwangerschaftswochen (SSW) werden vom Beginn der letzten Menstruationsblutung gezählt (SSW = Entwicklungswoche + 14 Tage).

Merke

Die vorgeburtliche Entwicklung dauert von der Befruchtung an 38 Wochen und wird in die drei Stadien Frühentwicklung, Embryonalperiode und Fetalperiode unterteilt.

2.1. Frühentwicklung

2.1.1. 1. Woche p. c.: von der Zygote bis zum Beginn der Implantation

Am Anfang der Entwicklung des menschlichen Keims steht die Befruchtung der **Eizelle** durch das eindringende **Spermatozoon** (). Die **befruchtete Eizelle (Zygote)** enthält in ihrem Erbgut (Genom) alle mütterlichen und väterlichen Informationen für die Entstehung des Embryos. Die Befruchtung erfolgt im **Eileiter** und dauert etwa 24 Stunden.

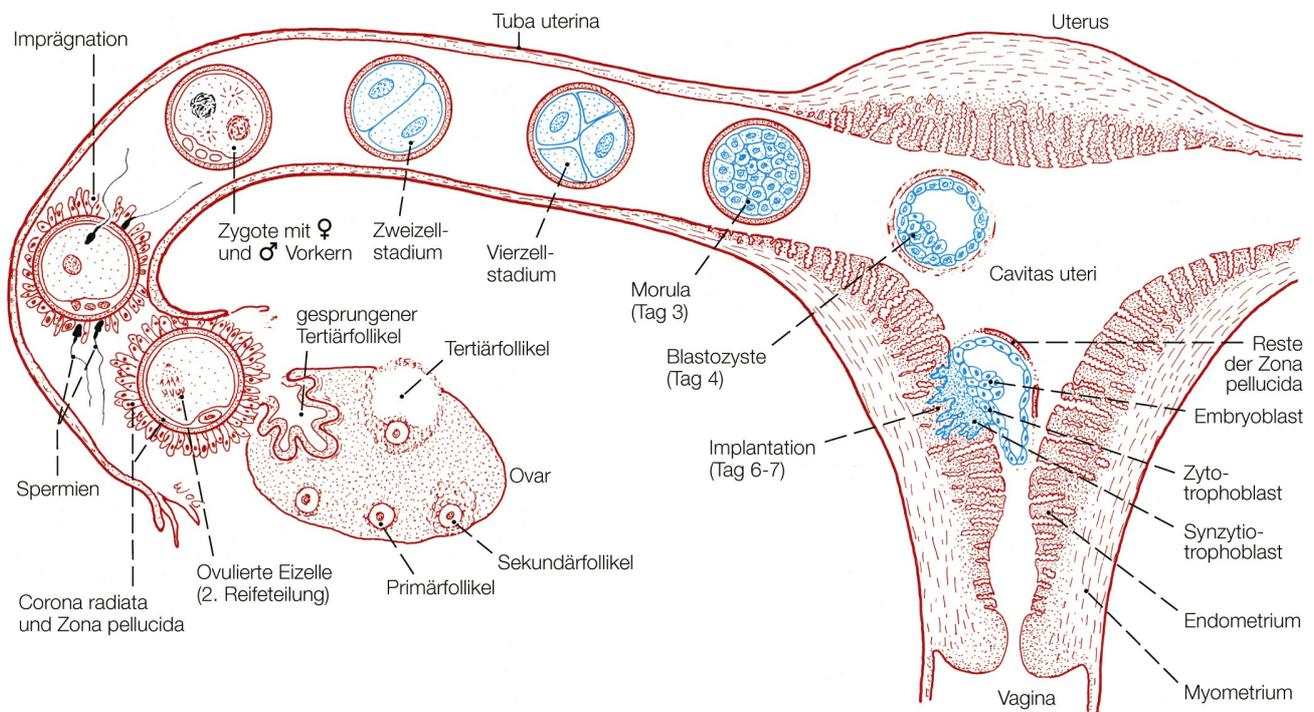


Abb. 2.1 Schematisierte Darstellung von Eisprung, Befruchtung, Furchung und Implantation in Beziehung zur Wanderung durch Eileiter und Uterus. Die Eizelle und ihre Furchungsstadien sind im Vergleich zu den weiblichen Geschlechtsorganen stark vergrößert gezeichnet. Mütterliche Gewebe: rot; Samenzellen: schwarz; aus der Befruchtung resultierende Gewebe: blau.

Es folgt eine Reihe von raschen Teilungen (**Furchungen**), bis nach etwa **3 Tagen** das 12- bis 16-Zellstadium erreicht und der Keim als **Morula** bezeichnet wird (). Es kommt zum Aneinanderrücken der Zellen (Kompaktierung) und zur Ausbildung eines exzentrischen Hohlraums. Dadurch lässt sich eine **innere Zellmasse (Embryoblast)** von einer äußeren Zellschicht (**Trophoblast**) unterscheiden (). Der Keim wird nun **Blastozyste** genannt. Am **5.–6. Tag** beginnt die **Implantation** des Keims in die Schleimhaut des Corpus uteri und Entwicklung des Mutterkuchens (Plazenta), dabei differenziert sich der Trophoblast in **Synzytiotrophoblast** und **Zytotrophoblast**. Die Implantation wird am 12. Tag mit dem vollständigen Eindringen des Keims abgeschlossen.

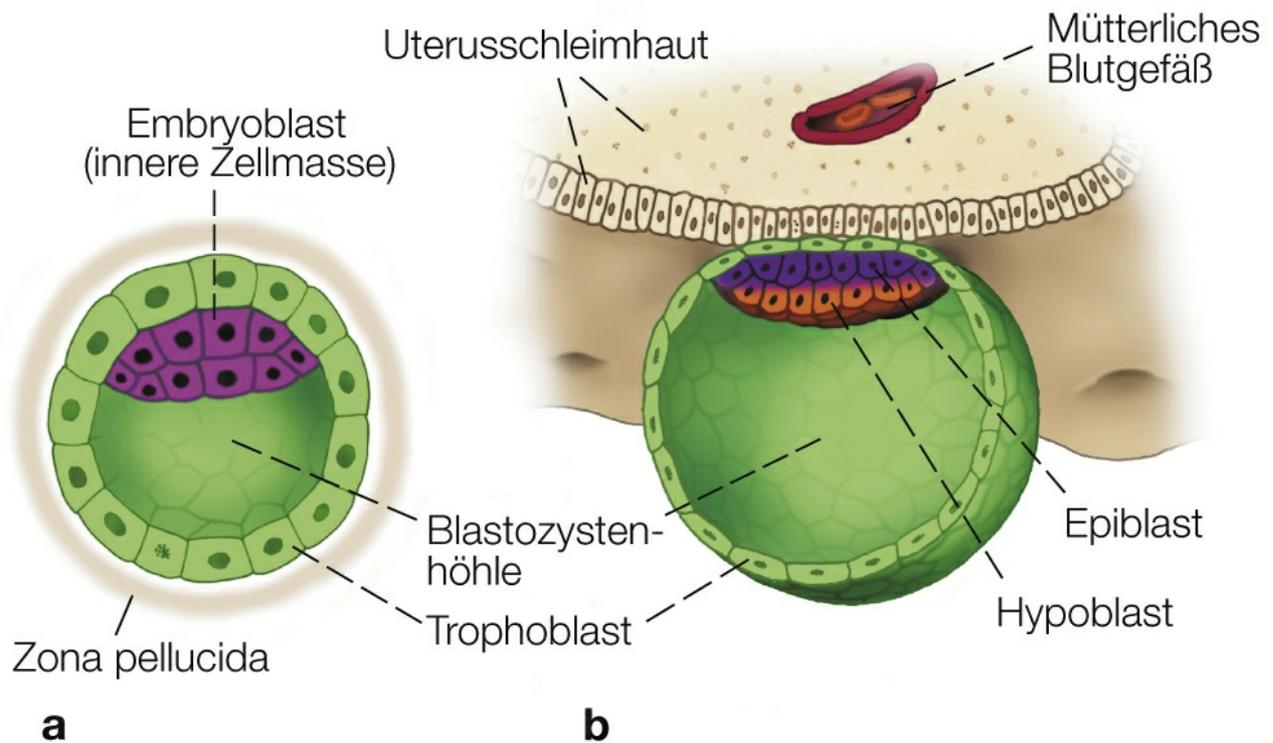


Abb. 2.2 Frühes (a) und spätes (b) Blastozystenstadium. Die Blastozyste hat sich in den Embryoblast (innere Zellmasse: violett-blau) und den Trophoblast (grün) differenziert. Die Zona pellucida löst sich als Vorbereitung auf die Implantation allmählich auf. Im späten Blastozystenstadium ist die Zona pellucida verschwunden und der Trophoblast heftet sich an die Uterusschleimhaut an. Gleichzeitig beginnt an der Unterseite des Embryoblasten die Differenzierung des Hypoblasten (orange).

» Klinik

Bei Implantation nahe dem Zervixkanal kann die Plazenta den Geburtsweg versperren (Placenta praevia). Dies erfordert einen Kaiserschnitt. Eine Implantation außerhalb des Uterus (extrauterine Gravidität) im Eileiter (90 %) oder in der Bauchhöhle führt meist zum Absterben des Keims und zu lebensgefährlichen mütterlichen Blutungen im 2. Schwangerschaftsmonat, deren Symptomatik aufgrund der Lage der Eileiter zur Fehldiagnose einer Appendizitis führen kann.

2.1.2. 2. Woche p. c.: Bildung der Keimscheibe

In der zweiten Woche entsteht 1. die Keimscheibe, 2. die Amnionhöhle, 3. der Dottersack, 4. das Chorion und 5. der Haftstiel.

Zunächst gliedert sich die innere Zellmasse (Embryoblast) in den dorsal liegenden **Epiblast** und den ventral anliegenden **Hypoblast** (). Damit hat sich am 8. Tag eine zweiblättrige Keimscheibe entwickelt.

Hypoblastzellen wandern und kleiden die Blastozystenhöhle aus, die dann als **primärer Dottersack** bezeichnet wird. Später verkleinert er sich durch Abschnürung zum sekundären Dottersack (,). Zwischen den Epiblastzellen und dem Trophoblast entsteht ein weiterer Hohlraum, die **primäre Amnionhöhle**. Wenig später wird diese durch Amnionepithel, das aus dem Epiblast hervorgeht, vom Trophoblast abgegrenzt (**sekundäre Amnionhöhle**) (,).

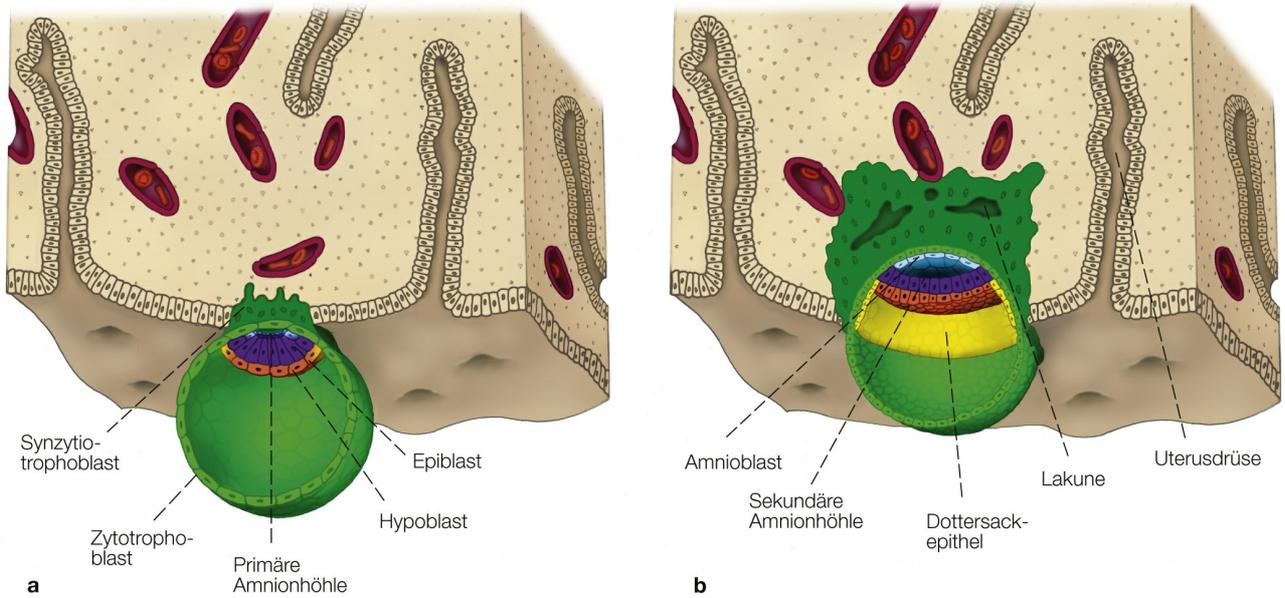


Abb. 2.3 Beginnende Implantation. a) Der Trophoblast des 7 Tage alten Keims hat sich am embryonalen Pol in zwei Schichten differenziert: den Synzytiotrophoblast, der in die Uterusschleimhaut (Endometrium) hineinwächst, und den darunter liegenden Zytotrophoblast, der die Aufgabe der Proliferation übernimmt. Zwischen Epiblast und polarem Trophoblast entsteht die primäre Amnionhöhle. b) Der Synzytiotrophoblast hat sich vergrößert und ist weiter in das Endometrium eingedrungen. Innerhalb des Synzytiotrophoblasten sind Lakunen entstanden. Das Dach der Amnionhöhle bildet der Amnioblast, wodurch die primäre Amnionhöhle zur sekundären oder definitiven Amnionhöhle wird. Vom Rand des Hypoblasten ausgehend entsteht das Epithel des Dottersacks ().

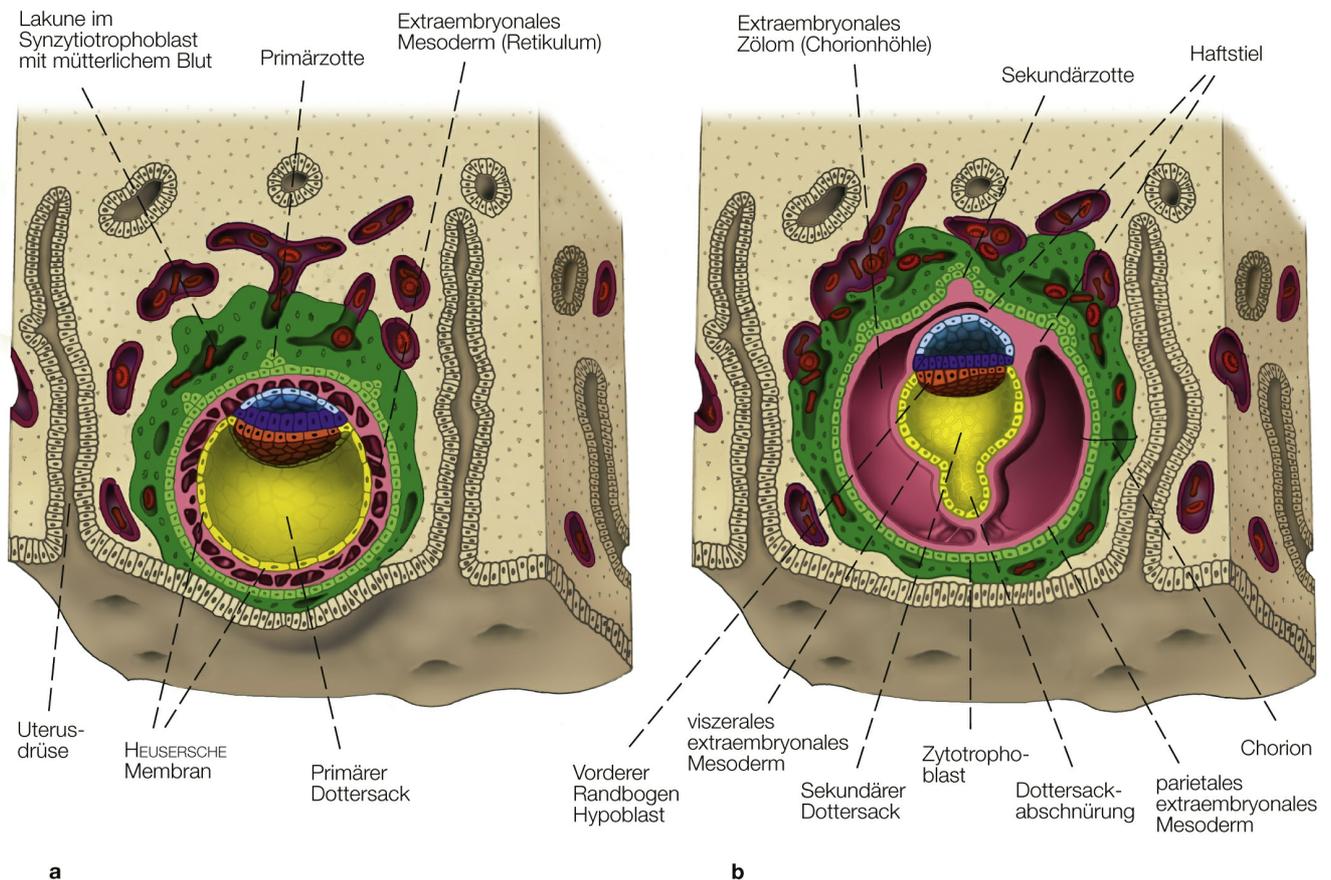


Abb. 2.4 Implantation und Choriondifferenzierung. **a)** 9 Tage alter Keim, der vollständig ins Endometrium implantiert ist. Die Lakunen im Synzytiotrophoblast haben Anschluss an die mütterlichen Blutgefäße gewonnen und werden von Blut durchströmt. Der Zytotrophoblast bildet kleine solide Zapfen, die sich in den Synzytiotrophoblast schieben (Primärzotten). Die Keimscheibe ist in der medianen Sagittalebene geschnitten und zeigt am kranialen Pol eine Hypoblastverdickung (vorderer Randbogen). Das extraembryonale Mesoderm hat sich zwischen Zytotrophoblast (außen) und Dottersack und Amnion (innen) ausgebreitet. **b)** 13 Tage alter Keim. Die Hohlräume im extraembryonalen Mesoderm haben sich zu einem großen Hohlraum vereinigt (extraembryonales Zölon, Chorionhöhle). Im kaudalen Bereich des Keims besteht eine mesodermale Brücke (Haftstiel) zwischen dem extraembryonalen Mesoderm und dem Keim. Das extraembryonale Mesoderm ist zapfenförmig in die Primärzotten eingedrungen (Sekundärzotten). Beachte den vorderen Randbogen am kranialen Pol der Keimscheibe.

Merke

Über der Keimscheibe bildet sich die Amnionhöhle, darunter entsteht aus der Blastozystenhöhle der Dottersack.

Da sich der Trophoblast deutlich stärker vergrößert als Dottersack und Amnionhöhle, entstehen zwischen diesen Spalträume. Diese werden von Hypoblastzellen besiedelt, die als **extraembryonales Mesoderm** bezeichnet werden (°). Die Spalträume zwischen den Zellen des extraembryonalen Mesoderms konfluieren zum **extraembryonalen Zölon (Chorionhöhle)**. Das äußere Mesoderm bildet zusammen mit dem Trophoblast das **Chorion** (°), aus dem der fetale Teil der Plazenta hervorgeht. Zwischen Chorion und Amnion bleibt der **Haftstiel** als Verbindung bestehen.

Merke

Das Chorion besteht aus dem parietalen Mesoderm und dem Trophoblast. Die Chorionhöhle liegt zwischen Chorion (Somatopleura) und Splanchnopleura.

2.1.3. 3. Woche p. c.: Bildung der drei Keimblätter (Gastrulation)

In der dritten Woche kommt es zur Bildung 1. der drei Keimblätter (Gastrulation), 2. der Keimzellen, 3. der Allantois sowie zur 4. Festlegung der Körperachsen. Außerdem beginnt die Differenzierung 5. des Nervensystems und 6. des Herz-Kreislauf-Systems.

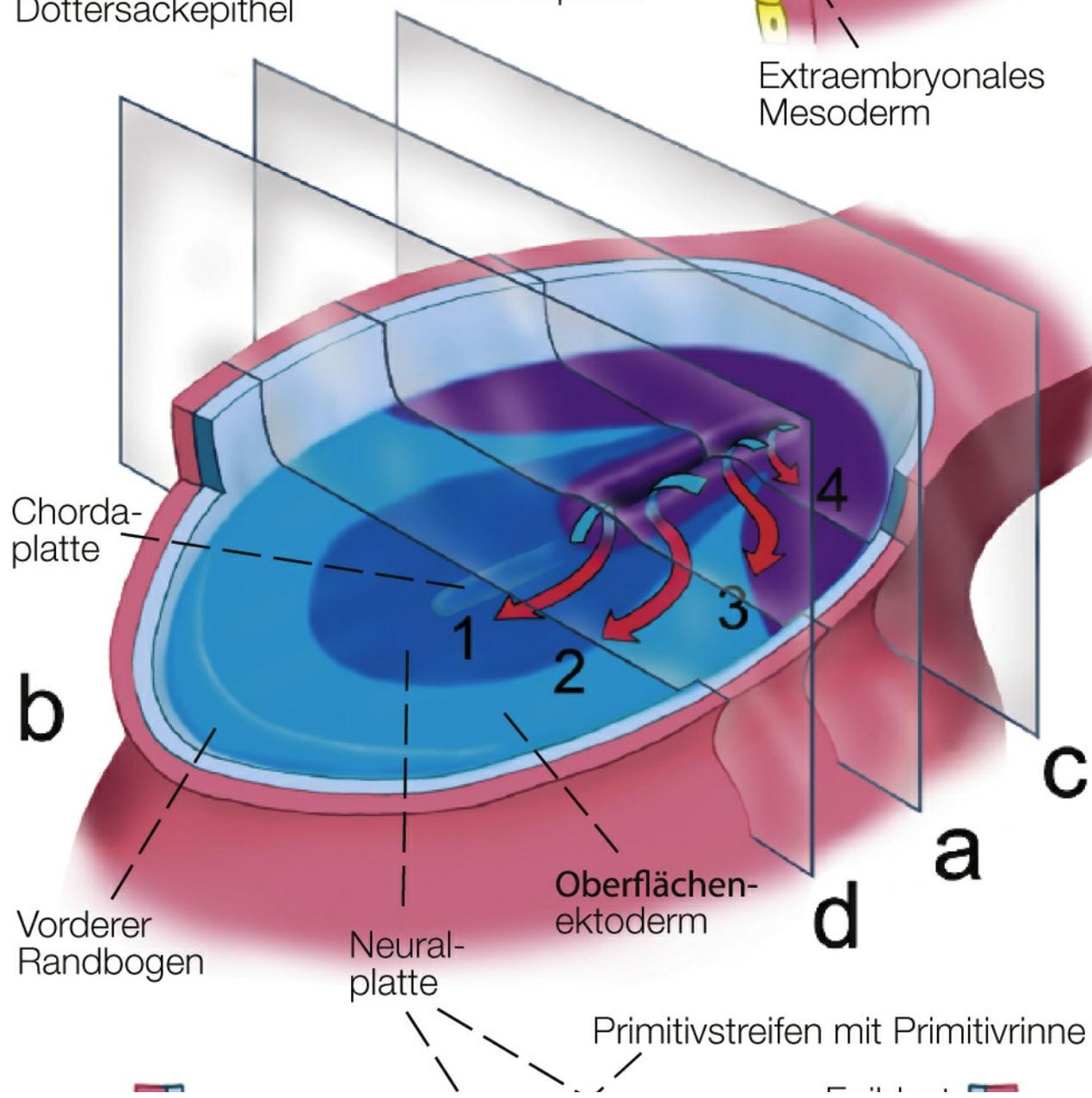
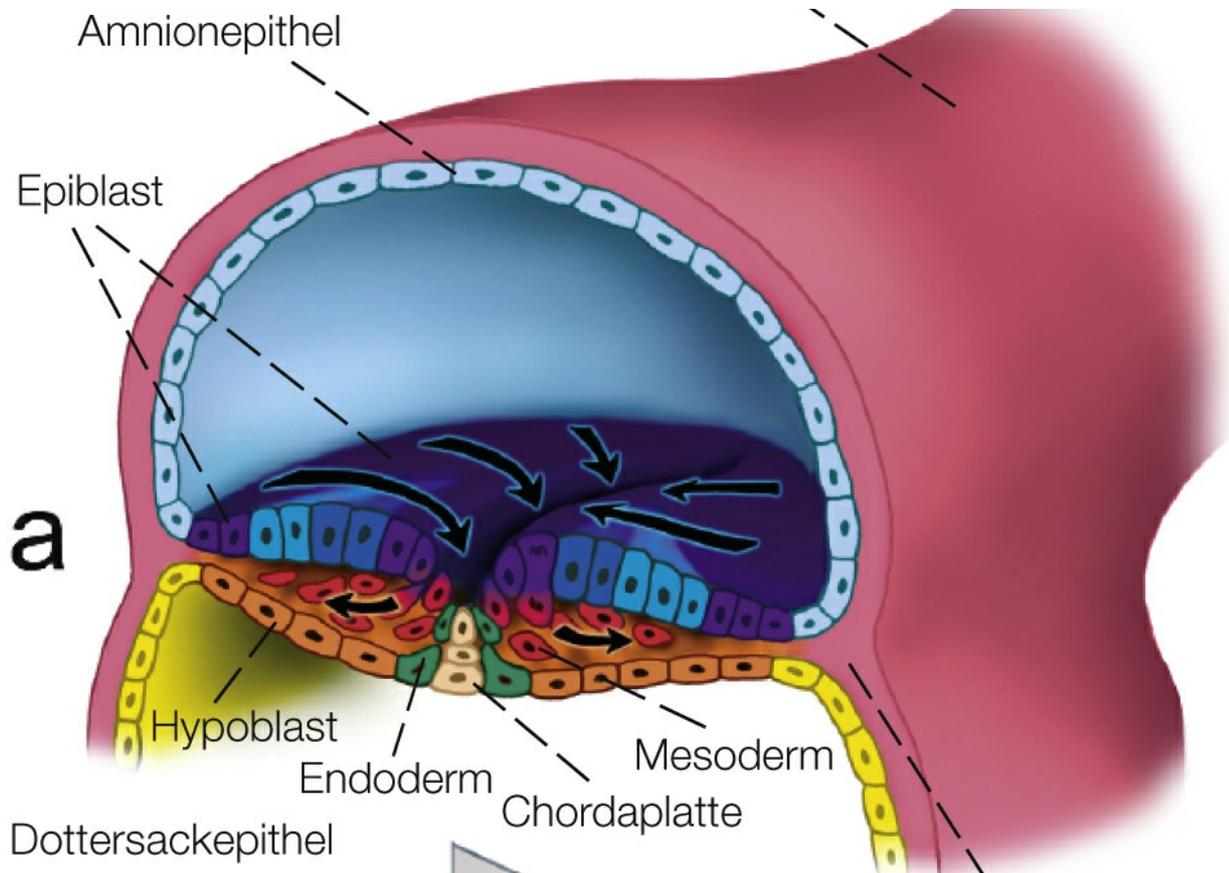
Alle drei Keimblätter (Ektoderm, Mesoderm und Endoderm) entstehen aus dem Epiblast! Im Gegensatz dazu trägt der Hypoblast ausschließlich zur Bildung von Dottersack und extraembryonalen Geweben bei. Der Begriff Embryoblast, der auch den Hypoblast umfasst, ist irreführend, da sich der Hypoblast nicht an der Bildung des Embryos beteiligt. In Anlehnung an die Vorgänge bei Amphibien wird die Bildung der drei Keimblätter als **Gastrulation** bezeichnet.

Merke

Nur der Epiblast bildet den menschlichen Körper.

Die Bildung der drei Keimblätter (Ektoderm, Mesoderm und Endoderm) wird als Gastrulation bezeichnet.

Die **Körperachsen** werden durch eine Verdichtung im Hypoblast (**vorderer Randbogen**) und die Ausbildung des Primitivstreifens definiert (°). Letzterer entsteht am 14. Entwicklungstag in der Längsachse der kaudalen Hälfte des Keims im Epiblast (°). An seinem kranialen Ende besitzt er eine knotenförmige Verdichtung, den **Primitivknoten**, sowie dorsal eine längs verlaufende Rinne (**Primitivrinne**). Epiblastzellen wandern auf die Primitivrinne zu, verlassen den epithelialen Zellverband nach ventral und bilden zwischen Epiblast und Hypoblast eine neue Zelllage, das **Mesoderm**.



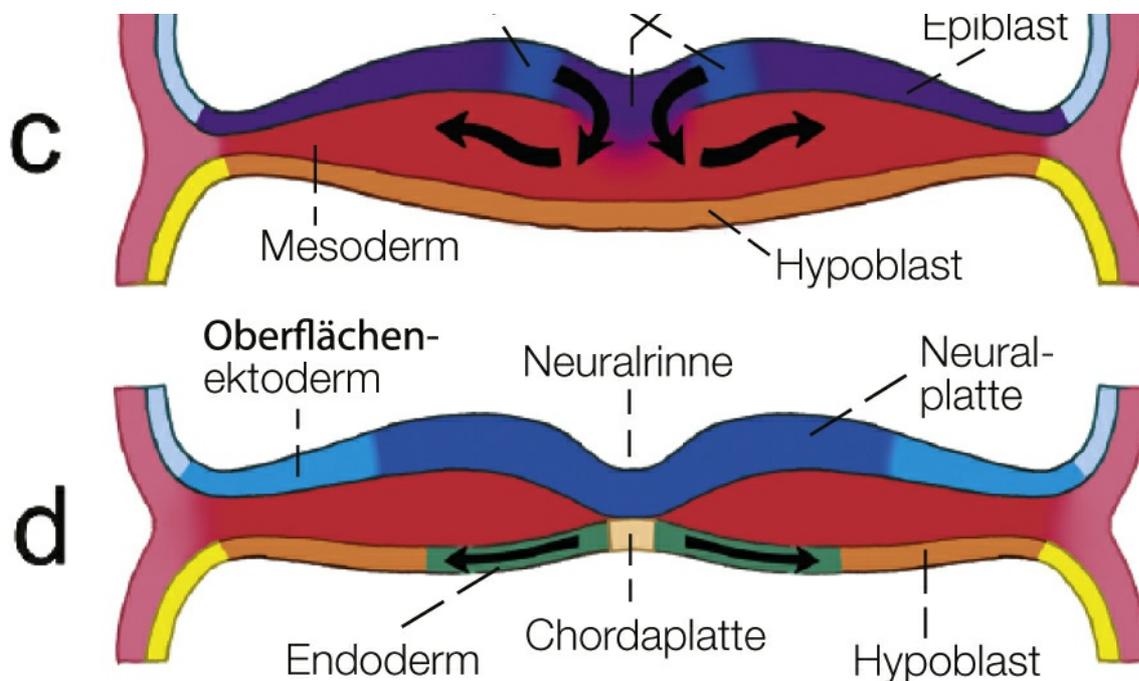


Abb. 2.5 Zellbewegungen bei der Gastrulation (3. Woche der Entwicklung). **a)** Aufsicht auf den kaudalen Teil von Keimscheibe und Amnionhöhle, die auf Höhe des Primitivknotens transversal durchtrennt sind. Die schwarzen Pfeile kennzeichnen die Wanderungsrichtung der Epiblastzellen auf den Primitivstreifen (mit Primitivrinne) zu und die Ausbreitung der entstandenen Mesodermzellen (rot) zwischen Epiblast und Hypoblast. Im Bereich des Primitivknotens auswandernde Epiblastzellen bilden medial die Chordaplatte (beige) und nach lateral anschließend definitives Endoderm (grün), das den Hypoblast zunehmend ersetzt. Unterschiedliche Blautöne verdeutlichen verschiedene Differenzierungszustände in der Epiblastschicht: Epiblast (violett), Neuroektoderm (dunkelblau) und epidermales Ektoderm (mittelblau). **b)** Aufsicht auf die Keimscheibe desselben Stadiums wie in (a), jedoch bei vollständig eröffneter Amnionhöhle. Die roten Pfeile kennzeichnen die Wanderungsrichtungen der Zellen aus dem Primitivstreifen (experimentelle Daten von Huhn und Maus): die kranial, unmittelbar hinter dem Primitivknoten auswandernden Zellen (1) bilden paraxiales Mesoderm; Zellen der kranialen Hälfte des mittleren Drittels (2) werden zu intermediärem Mesoderm; aus Zellen der kaudalen Hälfte des mittleren Drittels (3) entsteht Seitenplattenmesoderm; das kaudale Drittel des Primitivstreifens (4) liefert Anteile des extraembryonalen Mesoderms. **c)** Transversaler Schnitt in Höhe des Primitivstreifens (s. b) Schwarze Pfeile markieren die Ingression der Epiblastzellen bei der Entstehung des Mesoderms. **d)** Transversaler Schnitt in Höhe der Chordaplatte (s. b) Das definitive Endoderm ersetzt den Hypoblast von medial beginnend. Aus dem verbleibenden Epiblast sind Oberflächenektoderm und Neuralplatte entstanden.

Die aus dem **Primitivknoten** auswandernden Zellen bilden folgende Strukturen:

- Endoderm
- Chorda dorsalis
- Prächordalplatte
- mediale Hälfte der Somiten

Die meisten Zellen des Primitivknotens wandern nach kranial und bilden in der Mittellinie des Keims einen flachen epithelialen Zellstrang, der sich in die Ebene der Hypoblastzellen einlagert und diese beidseits nach lateral verdrängt. Die lateral in diesem Zellstrang liegenden Zellen bilden das **Endoderm** (,). Der median liegende Zellverband bildet zunächst den **Chordafortsatz** (Chordaplatte), der sich später zu einem Rohr, der **Chorda dorsalis**, abfaltet (). Ausnahmsweise kann bei menschlichen Embryonen im Primitivknoten eine röhrenförmige Einstülpung in der Chorda dorsalis bestehen und sogar eine vorübergehende offene Verbindung zwischen der Amnionhöhle und dem Dottersack herstellen. Bei Persistenz könnte so eine Verbindung zwischen späterem Neuralrohr und Darmlumen entstehen (Canalis neurentericus). Einige Zellen bilden kranial in der Ebene des Endoderms die **Prächordalplatte (prächordales Mesoderm)** (). Diese beteiligt sich an der Bildung von Mesenchym und Muskulatur des Kopfes.

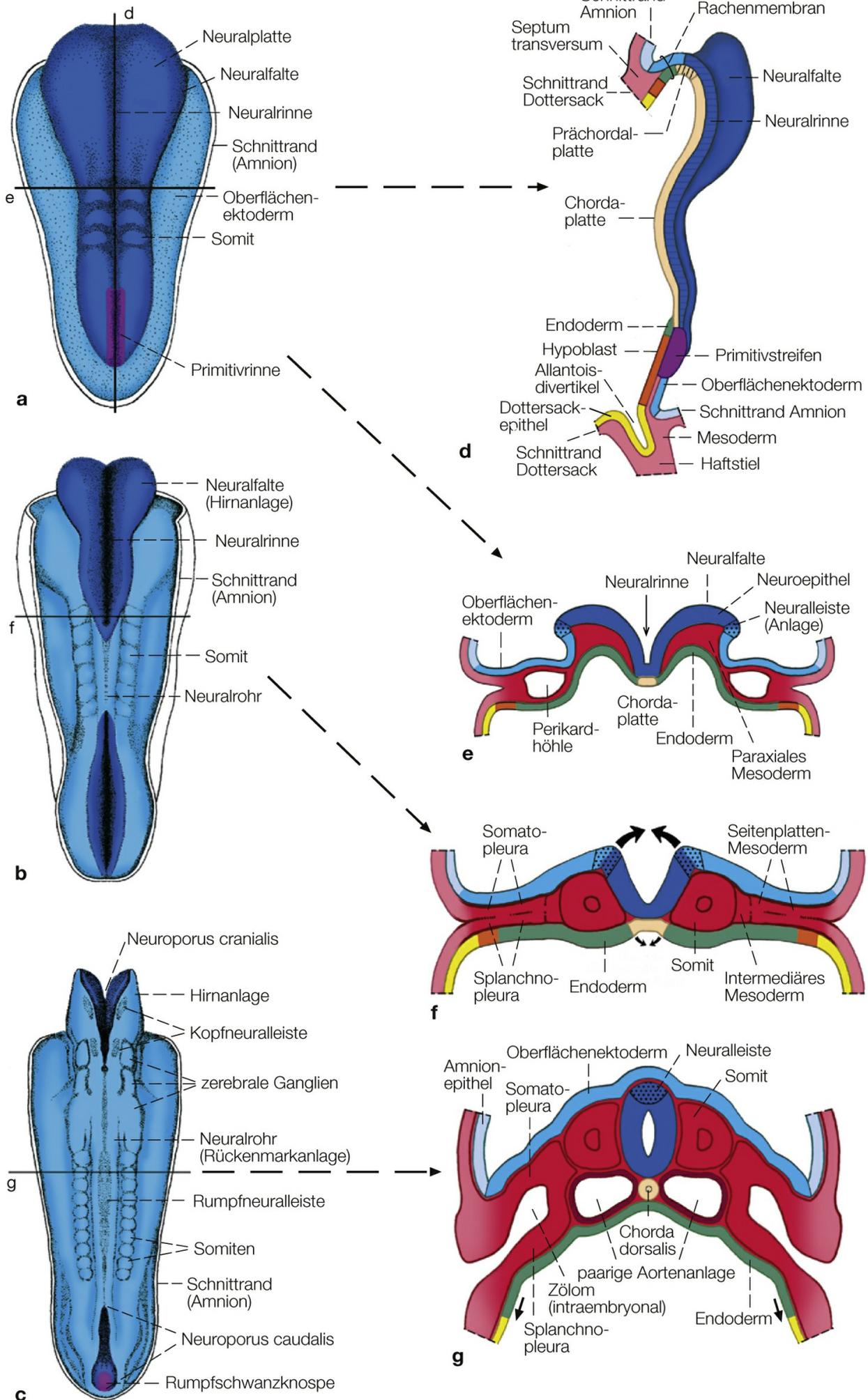


Abb. 2.6 Neurulationsstadien der 4. Entwicklungswoche in der Aufsicht (a–c) mit zugehörigem Sagittalschnitt (d) und transversalen Schnitten (e–g). Pfeile in g kennzeichnen die Ausbreitung des Endoderms in Richtung Dottersack.

Der Epiblast wird durch Wachstumsfaktoren aus Trophoblast und Chorda dorsalis zum äußeren Keimblatt, dem **Ektoderm**. Frei von Mesoderm bleibt kranial der Prächordalplatte die **Rachenmembran** (Buccopharyngealmembran) sowie kaudal vom Primitivstreifen die **Kloakenmembran** (). Auch hier haften Endoderm und Ektoderm direkt aneinander.

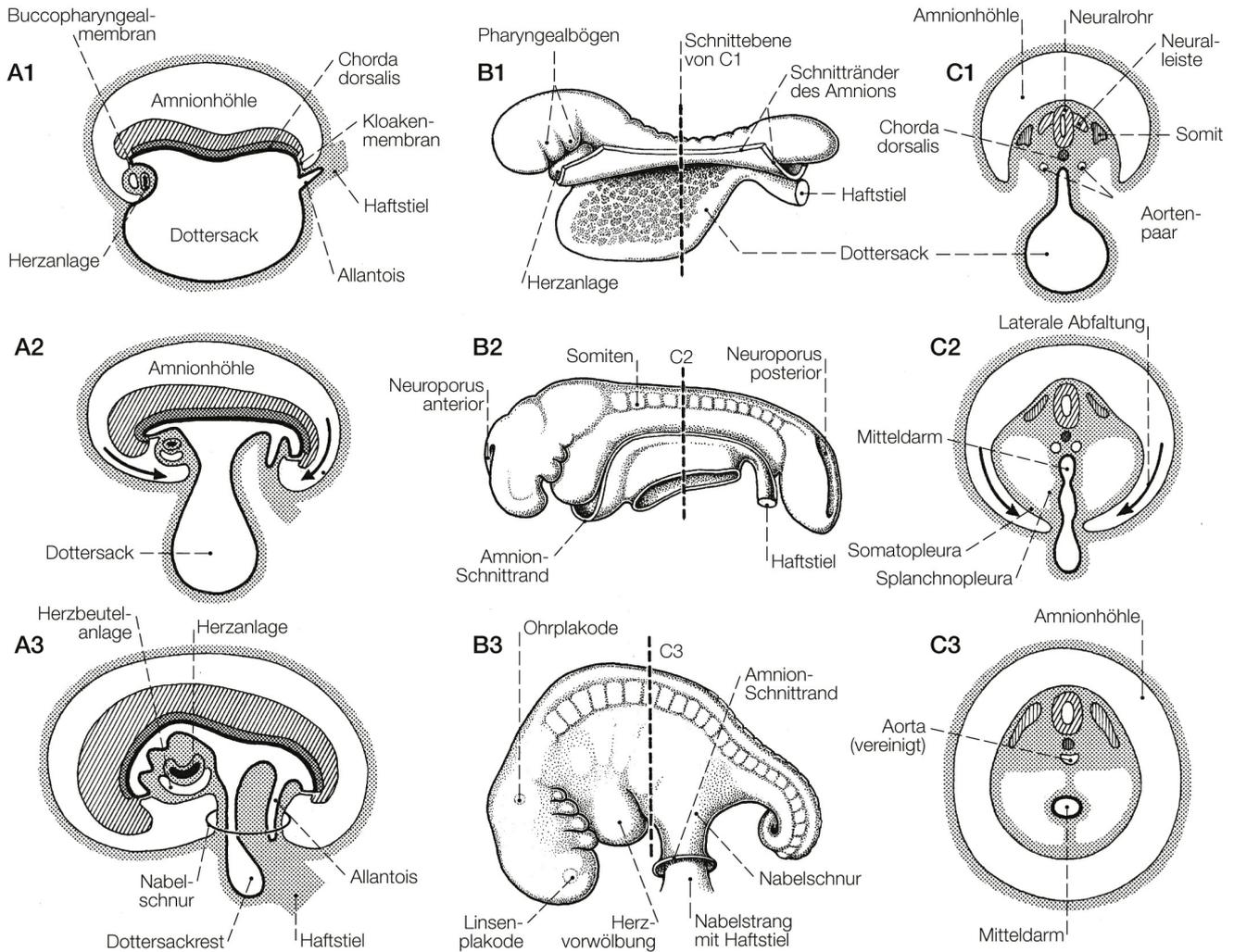


Abb. 2.7 Schema der Keimentwicklung mit Abfaltung des Amnions, Ausformung des Embryonalkörpers und Anlage der Nabelschnur. A1–3 Längsschnitte, B1–3 Seitenansichten, C1–3 Transversalschnitte. Obere Reihe (A1–C1) 24., mittlere Reihe (A2–C2) 26. und untere Reihe (A3–C3) 28. Entwicklungstag.

In der kaudalen Hälfte des Primitivstreifens erfolgt die Bildung der **Keimzellen**. Sie verlassen zusammen mit Mesodermzellen die Keimscheibe nach kaudal in Richtung Haftstiel und wandern in Dottersackwand und Allantois. Mit der Verlagerung des Dottersacks als Darmanlage in die Leibeshöhle gelangen die Urkeimzellen in das Epithel des Hinterdarms und besiedeln von hier aus die Gonadenanlagen.

Am **16. Tag** stülpt sich kaudal eine blind endende Aussackung des Hypoblasten als **Allantois** divertikel in den Haftstiel vor (gr.: allantoides = wurstförmlich) (). Später steht es zunächst mit der Harnblase in Verbindung und obliteriert schließlich zum Urachus. Dieser wird zum **Lig. umbilicale medianum**.

» Klinik

Eine unvollständige Obliteration der Allantois kann zur Bildung von **Urachuszysten** oder **-divertikeln** mit Harnabgang über den Bauchnabel führen.

2.2. Embryonalperiode (4.–8. Entwicklungswoche)

In der Embryonalperiode findet 1. die Ausbildung der Organsysteme (**Organogenese**) aus den Keimblättern und 2. der Körperformen (**Morphogenese**) statt. Von den Keimblättern differenziert sich das **Ektoderm** zuerst.

2.2.1. Derivate des Ektoderms

Das Ektoderm entwickelt sich, gesteuert durch die Signalmoleküle Chordin und Noggin, aus der Chorda dorsalis in die zentral und kranial gelegene 1. **Neuralplatte** (Neuroektoderm), aus der sich das **zentrale Nervensystem** entwickelt, und nach außen in das 2. **Oberflächenektoderm**, aus dem sich die Epidermis mit ihren Anhangsgebilden differenziert. Im kranialen Abschnitt des Oberflächenektoderms bilden sich Epithelverdickungen, 3. die **Plakoden**. Sie beteiligen sich an der Bildung der Kopfsinnesorgane und der zugehörigen Nerven (**Riechplakode**, **Ohrplakode**, **Linsenplakode**, **Trigeminusplakode**).

Die **Neuralplatte** bildet sich am **16. Tag** und faltet sich über Ausbildung einer **Neuralrinne** zum **Neuralrohr** (). Der Vorgang der Neuralrohrbildung (**Neurulation**) endet mit dem Verschluss der beiden Öffnungen des Neuralrohrs: Der **Neuroporus cranialis** (anterior) schließt sich am 24. Tag, der **Neuroporus caudalis** (posterior) am 26. Tag. Während der Neurulation wandern Ektodermzellen aus und bilden dorsal einen soliden Strang, die 4. **Neuralleiste**, die später geteilt beidseits des Neuralrohrs liegt (). Die Neuralleiste liefert Material für das periphere Nervensystem mit Spinalganglien, vegetativem und enterischem Nervensystem, Nebennierenmark, Anteilen der Hirnnerven und auch Zellen der Epidermis wie Melanozyten und MERKEL-Zellen. Die wichtigsten Derivate des Ektoderms sind in zusammengefasst.

Tab. 2.1 Derivate der drei Keimblätter

Ektoderm	Neuroektoderm (Neuralrohr)	Zentrales Nervensystem (einschl. Retina, Epiphyse, Hypophysenhinterlappen)
	Neuralleiste	Neurone und Glia des peripheren Nervensystems (einschl. sympathischer und parasymphischer Ganglien, Spinalganglien, intramuralen Nervensystems); Nebennierenmark; Melanozyten der Haut; Herzseptum im Ausflusstrakt; Kopfmesenchym (u. a. Hirnhäute, Dermis und Knochen im Kopfbereich; Odontoblasten)
	Ektodermale Plakoden	Riechepithel; Innenohr; Linse; Anteile sensorischer Hirnnervenganglien
	Oberflächenektoderm	Epidermis mit Haaren, Nägeln und Drüsen (einschl. Milchdrüsen); Hypophysenvorderlappen; Epithel von Mund-, Nasen- und Nasennebenhöhlen; Gl. parotis; Enameloblasten
Mesoderm	Prächordales Mesoderm	Schädelbasisknochen (teilweise); ventromediale Gruppe der äußeren Augenmuskeln
	Chorda dorsalis (Notochorda)	Ncl. pulposus der Zwischenwirbelscheiben
	Paraxiales Mesoderm	Schädelbasisknochen (teilweise); Wirbelsäule; Rippen; Skelettmuskulatur; Dermis des Rückens; Rückenmarkshäute
	Intermediäres Mesoderm	Nieren; Keimdrüsen und inneres Genitale (teilweise)
	Seitenplattenmesoderm	Bindegewebe und Knochen von Extremitäten (mit Schulter- und Beckengürtel) und Brustbein; Dermis der ventrolateralen Körperwand; Bindegewebe und glatte Muskulatur der Eingeweide; seröse Häute (Perikard, Epikard, Pleura, Peritoneum); Herz, Blutgefäße, Blutzellen; Milz, Lymphknoten, Lymphgefäße; Nebennierenrinde; Keimdrüsen und inneres Genitale (teilweise)
Endoderm	Vorderdarm	Epitheliale Anteile von Pharynx, Gl. thyroidea, Gll. parathyroideae, Cavum tympani, Tuba auditiva, Tonsillen, Thymus; Gl. sublingualis, Gl. submandibularis; Epithel und Drüsen von Trachea und Bronchialbaum, Alveolarzellen der Lunge; Epithel und Drüsen von Ösophagus, Magen und kranialer Hälfte des Duodenums; Epithelien von Leber, Gallenblase, Pankreas
	Mitteldarm	Epithelien und Drüsen der kaudalen Hälfte des Duodenums, von Jejunum, Ileum, Caecum, Colon ascendens und der rechten zwei Drittel des Colon transversum
	Hinterdarm	Epithel und Drüsen des linken Drittels des Colon transversum, von Colon descendens, sigmoideum und Rectum
	Sinus urogenitalis	Epithel von Urethra, Harnblase, Prostata, Vagina (teilweise)

» Klinik

Störungen der Neurulation können zum Fehlen der Gehirnanlage (**Anecephalie**) und der Wirbelbögen (**Spina bifida**) mit Ausstülpung der Meningen (**Meningozele**) und des Rückenmarks (**Myelozele**) mit schweren neurologischen Ausfällen führen.

2.2.2. Derivate des Mesoderms

Das Mesoderm gliedert sich unter Einwirkung des Signalmoleküls Shh (Sonic hedgehog) aus der Chorda dorsalis von medial nach lateral in 1. **paraxiales Mesoderm**, 2. **intermediäres Mesoderm** und 3. **Seitenplattenmesoderm** (). Die Derivate des Mesoderms sind in zu finden.

2.2.3. Seitenplattenmesoderm

Durch Spaltbildungen entsteht die Leibeshöhle (**Zöloom**), die das Seitenplattenmesoderm in die dem Ektoderm anliegende Somatopleura und die dem Endoderm anliegende Splanchnopleura teilt (). Kranial bleiben diese über das **Septum transversum** verbunden. Die **Splanchnopleura** liefert Material für glatte Muskulatur und Bindegewebe von 1. Verdauungs- und 2. Atmungssystem, Material für 3. Herz-Kreislauf- und 4. lymphatisches System sowie 5. Nebennierenrinde und 6. das viszerale Blatt der serösen Häute. Die **Somatopleura** bildet das Bindegewebe von 1. ventrolateraler Leibeshöhle, 2. Extremitäten einschließlich deren Knochen und 3. parietalem Blatt der serösen Häute.

2.2.4. Paraxiales Mesoderm

Zwischen dem **20.** und **30. Entwicklungstag** entsteht eine Kette von **Somiten** (). Durch die Signalmoleküle **Shh**, **Wnt** und **BMP-4** (bone morphogenetic protein-4) gliedern sich diese in ein ventromediales **Sklerotom**, aus dem Wirbel und Rippen entstehen, und ein dorsolaterales **Dermomyotom**, das Material für die gesamte Skelettmuskulatur des Rumpfes und der Extremitäten sowie das Bindegewebe der dorsalen Leibeshöhle liefert.

2.2.5. Intermediäres Mesoderm

Aus dem intermediären Mesoderm gehen Nieren und Harnleiter hervor.

2.2.6. Derivate des Endoderms

Die Entwicklung des Endoderms geht mit der Morphogenese einher: Durch **kraniokaudale Krümmung** und **laterale Abfaltung** des Keims kommt es zu einem Schluss der Leibeshöhle, einer Verlagerung des Haftstiels (der späteren Nabelschnur) nach ventral, einer Ausdehnung der Amnionhöhle mit gleichzeitiger Obliteration der Chorionhöhle () sowie einer Verlagerung von Dottersackanteilen in die Leibeshöhle, welche zusammen mit dem Endoderm **1.** das **Darmrohr** bilden. Zum restlichen Dottersack verbleibt zunächst ein Verbindungskanal, der **Ductus vitellinus** (). Das Darmrohr wird in den **Vorderdarm**, der auch die **2. Epithelien von Pancreas, Leber mit Gallenwegen**, **3. des Atmungssystems** und **4. der Schlundtaschen** liefert, sowie in **Mitteldarm** und **Hinterdarm** gegliedert. Der Hinterdarm bildet neben den oberen Abschnitten des Rektums auch den **5. Sinus urogenitalis**, aus dem Harnblase, Urethra sowie akzessorische Geschlechtsdrüsen hervorgehen. Der Verschluss des Darmrohrs erfolgt vorübergehend kranial durch die **Rachenmembran** und kaudal durch die **Kloakenmembran** (). Zu Derivaten des Endoderms s. auch ().

» Merke

Von vorübergehend drei extraembryonalen Räumen (Chorionhöhle, Amnionhöhle und Dottersack) bleibt zum Schluss nur die Amnionhöhle übrig, in der der Fetus im Fruchtwasser schwimmt (= Fruchthöhle).

2.3. Fetalperiode (3.–9. Entwicklungsmonat)

Kennzeichnend für die Fetalperiode sind das starke **Wachstum des Körpers** und die organspezifische **histologische Reifung**. Diese organspezifischen Wachstums- und Differenzierungsvorgänge werden in den betreffenden Organ- und Organsystem-Kapiteln des Buches beschrieben!

➤ Klinik

Kongenitale Fehlbildungen entstehen meistens in der **Embryonalperiode**, in der die Organe und Körperformen angelegt werden. Während der Keimentwicklung (1.–3. Woche) sind Schädigungen meist letal und führen zum Absterben der Frucht.

In der **Fetalperiode** führen Noxen überwiegend zu **Reifungsstörungen** von Organen (besonders Hirnschäden). Die Ursachen sind genetische Faktoren (Chromosomenanomalien, Genmutationen) und äußere Faktoren (teratogene Noxen), die oft jedoch zusammenwirken (**multifaktorielle Genese**). Zu **teratogenen Noxen** zählen u. a. Medikamente und Chemikalien (Alkohol, Thalidomid [Contergan®]), Infektionserreger (u. a. Rötelnvirus) und ionisierende Strahlen.

Schwangerschaftsdiagnostik: Neben **Ultraschalldiagnostik** können ab der 8. Woche durch eine **Chorionzottenbiopsie** und ab dem 3. Monat aus der Amnionhöhle (**Amniozentese**) fetale Zellen für biochemische und molekularbiologische Untersuchungen gewonnen werden. Durch diese invasiven Verfahren können Gendefekte frühzeitig erkannt werden.

Schwangerschaftsdauer: 38 Entwicklungswochen, ausgehend vom Zeitpunkt der Konzeption/Ovulation. Berechnet man vom 1. Tag der letzten Menstruationsblutung, beträgt die Schwangerschaft 40 Schwangerschaftswochen (9 Kalendermonate).

Details der allgemeinen Entwicklungslehre und besonders der beteiligten molekularen Mechanismen s. BD .