



# BLUT UND LYMPHE

ERSTER TEIL

## BLUT

BEARBEITET VON

E. ADLER · A. ALDER · G. BARKAN · R. BRINKMAN  
K. BÜRKER · H. FISCHER · A. FONIO · R. HÖBER  
G. LILJESTRAND · W. LIPSCHITZ · E. MEYER †  
L. MICHAELIS · P. MORAWITZ · S. M. NEUSCHLOSZ

MIT 74 ABBILDUNGEN



BERLIN  
VERLAG VON JULIUS SPRINGER  
1928

HANDBUCH  
DER NORMALEN UND  
PATHOLOGISCHEN  
PHYSIOLOGIE

MIT BERÜCKSICHTIGUNG DER  
EXPERIMENTELLEN PHARMAKOLOGIE

HERAUSGEGEBEN VON

A. BETHE · G. v. BERGMANN  
FRANKFURT A. M. BERLIN

G. EMBDEN · A. ELLINGER†  
FRANKFURT A. M.

SECHSTER BAND / ERSTE HÄLFTE

BLUT UND LYMPHE

ERSTER TEIL  
(C/L 1. a—e. BLUT)



BERLIN  
VERLAG VON JULIUS SPRINGER

1928

# Inhaltsverzeichnis.

## Blut.

	Seite
<b>Die körperlichen Bestandteile des Blutes.</b> Von Professor Dr. KARL BÜRKER-Gießen.	
Mit 15 Abbildungen . . . . .	3
I. Einleitung . . . . .	4
II. Die Erythrocyten . . . . .	8
1. Die Form der Erythrocyten . . . . .	9
2. Die Größe der Erythrocyten, ihr Volumen, ihre Oberfläche . . . . .	10
3. Die Zahl, das Volumen und die Oberfläche der in der Volumeneinheit und im Gesamtblut enthaltenen Erythrocyten . . . . .	17
4. Der Inhalt der Erythrocyten . . . . .	26
a) Der Gehalt eines Erythrocyten an Hämoglobin . . . . .	35
b) Die Verteilung des Hämoglobins auf das Volumen und die Oberfläche der Erythrocyten . . . . .	38
5. Die Funktion der Erythrocyten . . . . .	41
6. Verbrauch und Ersatz der Erythrocyten . . . . .	44
III. Die Leukocyten . . . . .	46
1. Die Arten der Leukocyten, ihre Form und Größe, ihr Inhalt . . . . .	47
a) Die neutrophilen Leukocyten . . . . .	48
b) Die acido- oder eosinophilen Leukocyten. . . . .	49
c) Die basophilen Leukocyten . . . . .	50
d) Die Monocyten . . . . .	50
e) Die Lymphocyten . . . . .	51
2. Die Zahl der Leukocyten und das prozentische Verhältnis der Leukocytenarten . . . . .	52
3. Die Funktion der Leukocyten . . . . .	58
4. Verbrauch und Ersatz der Leukocyten . . . . .	65
IV. Die Thrombocyten . . . . .	67
1. Form, Farbe, Größe und Inhalt der Thrombocyten . . . . .	68
2. Die Zahl der Thrombocyten . . . . .	70
3. Die Funktion der Thrombocyten . . . . .	72
4. Verbrauch und Ersatz der Thrombocyten . . . . .	73
V. Rückblick und Ausblick . . . . .	74
<b>Der normale rote Blutfarbstoff.</b> Von Privatdozent Dr. GEORG BARKAN-Frankfurt a. M.	
Mit einer Abbildung. . . . .	76
Einleitung . . . . .	76
Chemische Natur des Hämoglobins als Proteid. . . . .	78
Das eiweißhaltige Spaltprodukt (Globin). . . . .	79
Die Bindung der Farbstoffgruppe an das Globin. . . . .	81
Hämoglobinkristalle . . . . .	82
Elementare Zusammensetzung des Hämoglobins . . . . .	86
Chemisches Verhalten gegenüber Eiweißreagenzien usw. . . . .	87
Biologische Eiweißreaktionen. Antigennatur . . . . .	89
Reduktion und Oxydation . . . . .	90
Farbe . . . . .	91
Spektroskopisches Verhalten . . . . .	91
Spektrophotometrie . . . . .	94
Sonstige physikalische Eigenschaften . . . . .	98
Physikalisch-chemische Eigenschaften . . . . .	99
Kataphoretisches Verhalten. Strittige Ampholytnatur . . . . .	99
Elektrische Leitfähigkeit . . . . .	104
Gasbindung. Gegenseitige Beziehung von Hb und O <sub>2</sub> Hb . . . . .	104
Oberflächenspannung . . . . .	106
Osmotischer Druck. Molekulargewicht . . . . .	106

	Seite
Dispersionszustand des Hämoglobins in Lösung . . . . .	110
Katalytische Eigenschaften des Hämoglobins . . . . .	110
<b>Das Kohlenoxydhämoglobin und das Problem der Kohlenoxydvergiftung.</b> Von Privatdozent Dr. GEORG BARKAN-Frankfurt a. M. Mit 9 Abbildungen . . . . .	114
Einleitung . . . . .	114
I. Kohlenoxydhämoglobin . . . . .	115
1. Krystalle des Kohlenoxydhämoglobins. Optisches Verhalten und sonstige Eigenschaften seiner Lösungen . . . . .	115
2. CO-Bestimmungsmethoden im Blute . . . . .	120
3. Die Gesetzmäßigkeiten der Kohlenoxydbindung im Blut und in Blutfarbstoff- lösungen . . . . .	121
a) Die Kohlenoxydkapazität . . . . .	121
b) Die Dissoziationskurve des Kohlenoxydhämoglobins . . . . .	122
c) Die Verteilung des Hämoglobins zwischen Kohlenoxyd und Sauerstoff. 126	126
d) Beziehungen zwischen Spektrum und Gasbindung bei Hämoglobin ver- schiedener Herkunft . . . . .	131
4. Weitere Angaben über das COHb . . . . .	133
II. Das Kohlenoxyd als Blut- und Zellgift . . . . .	135
1. Allgemeines . . . . .	135
2. Spezielle Fragen über das Wesen der CO-Vergiftung . . . . .	138
3. Kohlenoxydvergiftung und Milz . . . . .	147
<b>Umwandlungsprodukte des ungespaltenen Blutfarbstoffes.</b> Von Professor Dr. WERNER LIPSCHITZ-Frankfurt a. M. Mit einer Abbildung . . . . .	149
1. Allgemeines . . . . .	149
2. Methämoglobin . . . . .	151
3. Fluormethämoglobin . . . . .	160
4. Cyanhämoglobin . . . . .	160
5. Stickoxydhämoglobin . . . . .	161
6. Sulfhämoglobin . . . . .	162
<b>Konstitution der eiweißfreien Farbstoffkomponenten und ihrer Derivate (Chloro- phyll).</b> Von Geheimrat Professor Dr. HANS FISCHER-München . . . . .	164
Allgemeines. . . . .	164
Die monomolekularen Abbauprodukte der Pyrrolfarbstoffe . . . . .	169
Reduktive Spaltungsprodukte des Hämins . . . . .	170
Oxydative Spaltprodukte . . . . .	171
Synthese der Hämatinsäure und des Methyläthylmaleinimids . . . . .	171
Spezieller Teil . . . . .	175
Hämin und Derivate . . . . .	175
Porphyrine des Blutfarbstoffs . . . . .	176
Natürliche Porphyrine . . . . .	180
Primäre Porphyrine . . . . .	180
Synthetische Ergebnisse . . . . .	186
Bilirubin, seine Umwandlungs- und Abbauprodukte . . . . .	197
Über die Konstitution des Gallenfarbstoffs . . . . .	201
<b>Messung des Blutumsatzes.</b> Von Professor Dr. PAUL MORAWITZ-Leipzig. Mit 6 Abbildungen . . . . .	203
Methoden zur Beurteilung des Erythrocyten- und Hämoglobinumsatzes . . . . .	204
A. Histologische Untersuchungen . . . . .	204
B. Physikalische und physikalisch-chemische Untersuchungsmethoden . . . . .	210
C. Chemische Methoden . . . . .	217
<b>Plasma und Serum.</b> Von Dr. ERICH ADLER-Frankfurt a. M. (Unter Mitarbeit von KURT SCHWERIN-Frankfurt a. M.). . . . .	235
1. Wassergehalt des Blutplasmas und Blutserums . . . . .	236
2. Mineralische Bestandteile des Blutplasmas und Blutserums . . . . .	239
Kationen . . . . .	242
Anionen . . . . .	248
3. Eiweißkörper des Blutplasmas und Blutserums . . . . .	250
Verhalten des G:A-Quotienten unter experimentellen und pathologischen Bedingungen . . . . .	260
4. Reststickstoff . . . . .	263

5. Cholesterin, Phosphatide (Gesamtphosphor) . . . . .	Seite 274
Cholesterin . . . . .	274
Phosphatide (Gesamtphosphor) . . . . .	279
6. Gesamtfettsäuren. Neutralfett . . . . .	282
7. Serum- und Plasmafärbstoffe . . . . .	285
Bilirubin. . . . .	285
8. Der Blutzucker . . . . .	289
9. Verteilung des Blutzuckers im Blut . . . . .	295
10. Milchsäure im Blut . . . . .	302
11. Restkohlenstoff . . . . .	304
12. Hämoglykolyse . . . . .	306
<b>Die Gerinnung des Blutes.</b> Von Privatdozent Dr. ANTON FONTO-Langnau b. Bern.	
Mit 13 Abbildungen . . . . .	307
Historische Zusammenstellung der wichtigsten Gerinnungstheorien . . . . .	321
Das Fibrinogen, seine Darstellung, seine qualitative und quantitative Bestimmung	336
Die quantitative Bestimmung des Fibrinogens . . . . .	339
Die Darstellung des Thrombins. . . . .	342
Gerinnungshemmende Mittel und Methoden . . . . .	344
Gerinnungsbeschleunigende Mittel und Methoden . . . . .	348
I. Gruppe: Direkte Wirkung auf die Blutgerinnung in vitro . . . . .	348
II. Gruppe: Indirekte Wirkung auf die Gerinnung in vivo. . . . .	350
Fibrinolyse . . . . .	356
Zur Methodik der Untersuchung der Blutgerinnung . . . . .	358
Die Bestimmung der Gerinnungszeit . . . . .	358
Die Gerinnungsvalenz des Blutes . . . . .	364
Methode der Bestimmung der Gerinnungsvalenz . . . . .	365
Die Thrombometrie . . . . .	368
Bestimmung der Retraktivität . . . . .	371
Die kombinierte Untersuchung der Gerinnung . . . . .	372
Technik der gesamten kombinierten Gerinnungsuntersuchung . . . . .	373
Die Bestimmung der Blutungszeit . . . . .	377
Eine Methode zur Wertbestimmung des menschlichen Plasmas (Fibrinogen) und des Serums (Thrombin) . . . . .	378
Wertbestimmungstechnik. . . . .	379
Technik . . . . .	379
Blutplättchenzählmethode . . . . .	383
Meine Methode . . . . .	387
Normalzahl der Blutplättchen . . . . .	389
Pathologische Gerinnungszustände . . . . .	389
Einige neuere Untersuchungsergebnisse der Gerinnung des hämophilen Blutes	389
Der Gerinnungsbefund bei der idiopathischen Purpura . . . . .	395
Die Gerinnung bei cholämischen Zuständen . . . . .	398
Die Gerinnung bei Phosphorvergiftung . . . . .	399
Die Gerinnung bei Benzolvergiftung . . . . .	399
Die Gerinnung bei Zuständen pathologischer Schilddrüsentätigkeit . . . . .	400
<b>Pathologische Physiologie der hämorrhagischen Diathesen.</b> Von Professor Dr. PAUL MORAWITZ-Leipzig. Mit 4 Abbildungen . . . . .	412
I. Einleitung. Begriffe. . . . .	412
II. Hämorrhagische Diathesen bei Störungen der Blutgerinnung . . . . .	418
III. Hämorrhagische Diathesen, beherrscht durch mangelhafte Thrombusbildung	427
IV. Purpura durch Gefäßveränderungen . . . . .	437
<b>Physiologie der Blutgase.</b> Von Professor Dr. GÖRAN LILJESTRAND-Stockholm. Mit 16 Abbildungen . . . . .	444
Einleitung . . . . .	444
Allgemeines über Gewinnung und Bestimmung der Blutgase . . . . .	446
Der Gasgehalt des Blutes unter normalen Verhältnissen . . . . .	451
Arteriellcs Blut . . . . .	451
Venöses Blut . . . . .	457
Die Gasabsorption des Blutes . . . . .	461
Die einzelnen Gase des Blutes . . . . .	465
1. Der Sauerstoff . . . . .	465
a) Die maximale Sauerstoffbildung des Blutes . . . . .	466

	Seite
b) Allgemeines über die Sauerstoffsättigungskurve . . . . .	469
c) Die Sauerstoffsättigungskurve des Blutes unter physiologischen Verhältnissen . . . . .	476
d) Die Geschwindigkeit bei Aufnahme und Abgabe des gebundenen Sauerstoffs . . . . .	480
e) Die Bedeutung des Sauerstoffs für die Farbe des Blutes . . . . .	482
f) Theorien über die Sauerstoffbindung des Blutes . . . . .	483
2. Kohlensäure . . . . .	489
a) Allgemeines über die Kohlensäureabsorptionskurve des Blutes . . . . .	491
b) Mechanismus der Kohlensäurebildung des Blutes . . . . .	497
c) Die Pufferung des Blutes . . . . .	500
d) Die Bedeutung des Ionenaustausches zwischen Blutkörperchen und Blutflüssigkeit für die Kohlensäurebindung . . . . .	505
e) Das Blut als physiko-chemisches System . . . . .	510
f) Die Kohlensäureabsorptionskurve des Blutes unter physiologischen Verhältnissen . . . . .	513
3. Der Stickstoff . . . . .	523
Der Gasaustausch in den Geweben . . . . .	524
<b>Spezifisches Gewicht.</b> Von Privatdozent Dr. ALBERT ALDER-Zürich . . . . .	534
1. Methodik . . . . .	534
2. Spezifisches Gewicht des Serums . . . . .	535
3. Spezifisches Gewicht des Blutes . . . . .	535
<b>Die refraktometrische Blutuntersuchung.</b> Von Privatdozent Dr. ALBERT-ALDER-Zürich. Mit 4 Abbildungen . . . . .	537
1. Die Refraktion des Blutserums . . . . .	539
a) Die krystalloiden Bestandteile oder Nichteiweißkörper . . . . .	540
b) Die kolloiden Bestandteile oder Eiweißkörper . . . . .	541
2. Die refraktometrische Eiweißbestimmung . . . . .	541
a) Die REISSsche Eiweißbestimmung . . . . .	541
b) Die ROBERTSONsche Methode . . . . .	543
c) Die refraktometrisch-viscosimetrische Bestimmung des Mischungsverhältnisses der Albumine und Globuline nach ROHRER . . . . .	544
3. Kritik der refraktometrischen Eiweißbestimmungen . . . . .	546
4. Normale Refraktionswerte . . . . .	548
5. Refraktionsschwankungen bei pathologischen Zuständen . . . . .	553
a) Die primären Eiweißschwankungen . . . . .	554
Akute Infektionskrankheiten . . . . .	555
Chronische Infektionen . . . . .	556
b) Die Flüssigkeitsverschiebungen . . . . .	557
<b>Osmotischer Druck des Blutes.</b> Von Privatdozent Dr. ALBERT ALDER-Zürich . . . . .	560
1. Die osmotischen Erscheinungen des Blutserums . . . . .	561
2. Die osmotischen Vorgänge bei den roten Blutkörperchen . . . . .	562
<b>Hämolyse.</b> Von Professor Dr. ROLAND BRINKMAN-Groningen . . . . .	567
Einleitung . . . . .	567
1. Hämolytisch wirkende Vorgänge oder Substanzen . . . . .	568
a) Mechanische Hämolyse . . . . .	568
b) Hämolyse durch strahlende Energie . . . . .	569
c) Hämolyse durch Temperaturänderung . . . . .	570
d) Hämolyse im Zusammenhang mit osmotischen Druckdifferenzen . . . . .	570
e) Hämolyse durch Substanzen mit starker Oberflächenaktivität . . . . .	573
f) Hämolyse durch Säure, Schwermetallsalze und durch Narkotica . . . . .	574
g) Oligo-dynamische Hämolyse . . . . .	576
h) Serologische Hämolyse . . . . .	576
i) Hämolyse durch tierische und bakterielle Gifte . . . . .	579
2. Intravitale Hämolyse . . . . .	580
<b>Die Hämoglobinurien.</b> Von Professor Dr. ERICH MEYER†-Göttingen. . . . .	586
I. Die Kältehämoglobinurie . . . . .	589
II. Die Marschhämoglobinurie . . . . .	596
III. Die paralytische Hämoglobinurie (Paroxysmale Myoglobinurie) . . . . .	598

<b>Die theoretische Grundlage für die Bedeutung der Wasserstoffionenkonzentration des Blutes.</b> Von Professor Dr. LEONOR MICHAELIS, z. Z. Baltimore. Mit 2 Abbildungen	601
1. Definitionen . . . . .	601
2. Die Methoden zur Messung von $p_H$ . . . . .	605
a) Der Einfluß des $CO_2$ . . . . .	607
b) Die Berücksichtigung des Sauerstoffs . . . . .	608
3. Der chemische Mechanismus der $h$ -Regulation im Blut; Theorie des Ionen-gleichgewichts . . . . .	611
4. Die Ergebnisse der $p_H$ -Messung im normalen und pathologischen Blut . . . .	614
<b>Die Viscosität des Blutes.</b> Von Professor Dr. S. M. NEUSCHLOSZ-Rosario de Santa Fé	619
I. Allgemeines . . . . .	619
II. Die Viscosität des Serums und des Plasmas . . . . .	623
a) Normalwerte für die Viscosität des Serums und des Plasmas bei verschiedenen Spezies . . . . .	623
b) Bedeutung der absoluten Eiweißkonzentration für die Viscosität des Serums	624
c) Versuche zur Bestimmung der anderen Faktoren, welche neben der Eiweiß-konzentration von Einfluß auf die Serumviscosität sind . . . . .	627
d) Der Einfluß physikalischer Faktoren auf die Viscosität des Serums und des Plasmas . . . . .	630
e) Der Einfluß chemischer Agenzien auf die Viscosität des Serums und des Plasmas . . . . .	631
1. In vitro . . . . .	631
2. In vivo . . . . .	633
f) Veränderungen der Viscosität des Serums bei spontanen oder experimentell verursachten Krankheitszuständen der Tiere und des Menschen . . . . .	635
g) Über das Wesen der die Serumviscosität beeinflussenden qualitativen Faktoren . . . . .	639
III. Die Viscosität des Gesamtblutes . . . . .	641
a) Die Abhängigkeit der Blutviscosität von der Blutkörperchenzahl und der Hämoglobinnmenge . . . . .	642
b) Der Einfluß der weißen Blutkörperchen auf die Viscosität des Blutes . . . .	645
c) Der Einfluß des Kohlensäuregehaltes. Der Unterschied zwischen der Viscosität des arteriellen und des venösen Blutes . . . . .	645
d) Tagesschwankungen der Viscosität des Blutes. Einfluß der Ernährung und der Lebensweise . . . . .	646
e) Einfluß von experimentellen Alterationen auf die Viscosität des Blutes . .	647
1. In vitro . . . . .	647
2. In vivo . . . . .	648
f) Die Veränderungen der Blutviscosität bei Krankheiten . . . . .	650
<b>Die Permeabilität der Erythrocyten.</b> Von Professor Dr. RUDOLF HÖBER-Kiel . . . .	652
<b>Kataphorese, Ladung und Agglutination der Erythrocyten; die Senkungsreaktion.</b> Von Professor Dr. RUDOLF HÖBER-Kiel. Mit 3 Abbildungen . . . . .	656
I. Das Potential der Blutkörperchen in Gegenwart verschiedener Elektrolyte . .	656
II. Einfluß der Eiweißkörper auf das Zellpotential . . . . .	658
III. Potential und Agglutination . . . . .	659

# Blut.



# Die körperlichen Bestandteile des Blutes.

Von

**KARL BÜRKER**

Gießen.

Mit 15 Abbildungen.

## Zusammenfassende Darstellungen.

Chronologisch.

PREYER, W.: Die Blutkrystalle. Jena: Mauke (H. Dufft) 1871. — VIERORDT, K.: Die Anwendung des Spektralapparates zur Photometrie der Absorptionsspektren und zur quantitativen chemischen Analyse. Tübingen: H. Lauppische Buchhandl. 1873. — LEICHTENSTERN, O.: Untersuchungen über den Hämoglobingehalt des Blutes in gesunden und kranken Zuständen. Leipzig: F. C. W. Vogel 1878. — ROLLETT, A.: Physiologie des Blutes und der Blutbewegung. Hermanns Handb. d. Physiol. Bd. IV, Teil 1, S. 3. 1880. — HAYEM, G.: Du sang et de ses altérations anatomiques. Paris: G. Masson 1889. — REINERT, E.: Die Zählung der Blutkörperchen und deren Bedeutung für Diagnose und Therapie. Leipzig: F. C. W. Vogel 1891. — HÜFNER, G.: Neue Versuche zur Bestimmung der Sauerstoffkapazität des Blutfarbstoffs. Arch. f. Physiol. 1894, S. 130. — LIMBECK, R. v.: Grundriß einer klinischen Pathologie des Blutes. 2. Aufl. Jena: G. Fischer 1896. — GAMGEE, A.: Haemoglobin, its compounds and the principal products of its decomposition. Schäfers Textbook of physiol. Bd. I. S. 185. Edinburgh u. London: Young J. Pentland 1898. — COHNHEIM, O.: Das Hämoglobin. Roscoe-Schorlemmers Lehrbuch d. organ. Chemie Bd. IX, S. 216 u. 191. Braunschweig: F. Vieweg & Sohn 1901. — KOBERT, H. U.: Das Wirbeltierblut in mikrokrytallographischer Hinsicht. Stuttgart: F. Enke 1901. — HAMBURGER, H. J.: Osmotischer Druck und Ionenlehre in den medizinischen Wissenschaften. 3 Bde. Wiesbaden: J. F. Bergmann 1902 u. 1904. — VAN VOORNVELD, H. J. A.: Das Blut im Hochgebirge. Pflügers Arch. f. d. ges. Physiol. Bd. 92, S. 1. 1902. — PAPPENHEIM, A.: Atlas der menschlichen Blutzellen. Jena: G. Fischer 1905—1912. — HELLY, K.: Die hämatopoetischen Organe in ihren Beziehungen zur Pathologie des Blutes. Nothnagels Spezielle Pathol. u. Therapie, 2. Aufl., Bd. VIII, Teil 1, Abt. 1, S. 1. 1906. — VIERORDT, H.: Anatomische, physiologische und physikalische Daten und Tabellen. 3. Aufl. Jena: G. Fischer 1906. — MEYER, E. u. H. RIEDER: Atlas der klinischen Mikroskopie des Blutes. 2. Aufl. Leipzig: F. C. W. Vogel 1907. — SCHLEIP, K.: Atlas der Blutkrankheiten nebst einer Technik der Blutuntersuchung. Berlin u. Wien: Urban & Schwarzenberg 1907. — ENGEL, C. S.: Leitfaden zur klinischen Untersuchung des Blutes. 3. Aufl. Berlin: A. Hirschwald 1908. — MÜLLER, F.: Tierische Farbstoffe. Oppenheimers Handb. d. Biochem. d. Menschen u. d. Tiere Bd. I, S. 654 u. 662. 1908. — AYNAUD, M.: Le globulin des mammifères. Med. Dissert. Paris 1909. — BOHR, C.: Blutgase und respiratorischer Gaswechsel. Nagels Handb. d. Physiol. d. Menschen Bd. I, S. 70. 1909. — EHRLICH, P. u. A. LAZARUS: Die Anämie. I. Abt. Normale und pathologische Histologie des Blutes. Nothnagels Spezielle Pathol. u. Therapie Bd. VIII, Abt. 1, S. 1. Wien: A. Hölder 1898. 2. Aufl. von A. LAZARUS u. O. NAEGELI, 1909. — GERHARTZ, H.: Chemie der postembryonalen Organe der Blutzellenbildung. Oppenheimers Handb. d. Biochemie d. Menschen u. d. Tiere Bd. II, 2. Hälfte, S. 163. 1909. — HÖBER, R.: Physikalische Chemie des Blutes und der Lymphe. Oppenheimers Handb. d. Biochem. d. Menschen u. d. Tiere Bd. II, 2. Hälfte, S. 1. 1909. — MÜLLERN, K. v.: Grundriß der klinischen Blutuntersuchung. Leipzig u. Wien: F. Deuticke 1909. — BOHR, C.: Die Gasarten des Blutes. Tigerstedts Handb. d. physiol. Methodik Bd. II, Abt. 1, S. 1. 1910. — BORUTTAU, H.: Blut und Lymphe. Nagels Handb. d. Physiol. d. Menschen, Erg.-Bd., S. 22. 1910. — BÜRKER, K.: Gewinnung, qualitative und quantitative Bestimmung des Hämoglobins. Tigerstedts Handb. d. physiol. Methodik Bd. II, Abt. 1, S. 68. 1910. — KÜSTER, W.: Das Hämatin und seine Abbauprodukte. Abderhaldens Handb. d. biochem. Arbeitsmethoden Bd. II, S. 617. 1910. — SCHRIDDE, H. u. O. NAEGELI: Die hämatologische Technik. Jena: G. Fischer 1910. —

GRAWITZ, E.: Klinische Pathologie des Blutes nebst einer Methodik der Blutuntersuchungen und spezieller Pathologie und Therapie der Blutkrankheiten. 4. Aufl. Leipzig: G. Thieme 1911. — PAPPENHEIM, A.: Grundriß der hämatologischen Diagnostik und praktischen Blutuntersuchung. Leipzig: W. Klinkhardt 1911. — PAPPENHEIM, A.: Technik der klinischen Blutuntersuchung für Studierende und Ärzte. Berlin: Julius Springer 1911. — WEIDENREICH, F.: Die Leukocyten und verwandte Zellformen. Wiesbaden: J. F. Bergmann 1911. — BÜRKER, K.: Zählung und Differenzierung der körperlichen Elemente des Blutes. Tigerstedts Handb. d. physiol. Methodik Bd. II, Abt. 5, S. 1. 1912. — BÜRKER, K.: Blut. Handwörterbuch der Naturwissenschaften Bd. II, S. 47. 1912. — HAMBURGER, H. J.: Physikalisch-chemische Untersuchungen über Phagocyten. Wiesbaden: J. F. Bergmann 1912. — KLIENEBERGER, C. u. W. CARL: Die Blut-Morphologie der Laboratoriums-Tiere. Leipzig: J. A. Barth 1912. — SCHILLING-TORGAV, V.: Das Blutbild und seine klinische Verwertung. Jena: G. Fischer 1912. — TÜRK, W.: Vorlesungen über klinische Hämatologie. 1. Teil 1904, 2. Teil 1912. Wien u. Leipzig: W. Braumüller, — BÜRKER, K., E. JOOSS, E. MOLL u. E. NEUMANN: Die physiologischen Wirkungen des Höhenklimas (auf das Blut). Zeitschr. f. Biol. Bd. 61, S. 379. 1913. — PAPPENHEIM, A.: Morphologische Hämatologie, herausgeg. von H. HIRSCHFELD. Leipzig: W. Klinkhardt 1919; ferner Folia haematol., angeschlossen an Bd. 23 u. 24. 1919. — SCHULZ, FR. N.: Darstellung von Blutfarbstoffen. Abderhaldens Handb. d. biol. Arbeitsmethoden, Abt. 1, Teil 8, S. 185. 1919. — ARNETH, J.: Die qualitative Blutlehre. 4 Bde. Leipzig: W. Klinkhardt u. Münster: H. Steuderhoff 1920—1926. — PAPPENHEIM, A.: Die Blutveränderungen im allgemeinen, ihr Wesen, Zustandekommen, symptomatologischer Wert und diagnostische Bedeutung. Kraus u. Brugschs Spez. Pathol. u. Therapie innerer Krankheiten Bd. VIII, S. 1. Berlin u. Wien: Urban & Schwarzenberg 1920. — NÄGELI, O.: Die Leukocytosen. Ebenda S. 57. — PAPPENHEIM, A.: Hämatologische Bestimmungstafeln, herausgeg. von H. HIRSCHFELD. Leipzig: W. Klinkhardt 1920. — DOMARUS, A. v.: Methodik der Blutuntersuchung. Berlin: Julius Springer 1921. — LAMPÉ, A. E.: Technik der Blutentnahme, Plasma und Serumgewinnung. Abderhaldens Handb. d. biol. Arbeitsmethoden, Abt. 4, Teil 3, S. 1. 1921. — MÜLLER, F.: Die Blutkörperchenzählung und Bestimmung des Blutfarbstoffgehaltes. Ebenda S. 19. — SCHUMM, O.: Spektrographische Methoden zur Bestimmung des Hämoglobins und verwandter Farbstoffe. Ebenda S. 63. — HAMBURGER, H. J.: Bestimmung der Resistenz der roten Blutkörperchen. Ebenda S. 263. — DEGWITZ, R.: Methodik der Blutplättchenuntersuchung. Ebenda S. 393. — SCHLECHT, H.: Mikroskopie des Blutes. Ebenda S. 409. — FRANK, E. u. S. SEELIGER: Die Untersuchungsmethoden der hämatopoetischen Organe. Ebenda S. 451. — HÖBER, R.: Physikalische Chemie der Zelle und der Gewebe. 5. Aufl. Leipzig: W. Engelmann 1922 bis 1924. — GÖTZE, R.: Züchterisch-biologische Studien über die Blutausrüstung der landwirtschaftlichen Haustiere. Zeitschr. f. d. ges. Anat., Abt. 2; Zeitschr. f. Konstitutionslehre Bd. 9, S. 217. 1923. — NÄGELI, O.: Blutkrankheiten und Blutdiagnostik. 4. Aufl. Berlin: Julius Springer 1923. — BARCROFT, J.: The significance of hemoglobin. Physiol. reviews Bd. 4, S. 329. 1924. — SCHULZ, FR. N.: Die Formelemente des Blutes. Wintersteins Handb. d. vergleich. Physiol. Bd. I, 1, S. 1189. 1925. — BÜRKER, K.: Genauere Hämoglobinbestimmungen und Erythrocytenzählungen zur Ermittlung des absoluten Hämoglobingehaltes eines Erythrocyten und des Hämoglobins pro Quadratmikron Oberfläche des Erythrocyten. Abderhaldens Handb. d. biol. Arbeitsmethoden Abt. 4, Teil 4, S. 1197. 1926. — MORAWITZ, P.: Blut und Blutkrankheiten, unter Mitwirkung von G. DENECKE, v. Bergmann u. Staehelins Handb. d. inn. Med., 2. Aufl., Bd. IV, S. 1. 1926. — SCHILLING, V.: Das Blut als klinischer Spiegel somatischer Vorgänge. Verhandl. d. dtsh. Ges. f. inn. Med., 38. Kongr., S. 160. 1926.

## I. Einleitung.

Beim höheren Organismus wird der für den Lebensprozeß so nötige Stoffwechsel durch zwei im Körper kreisende Flüssigkeiten, das Blut und die Lymphe, vermittelt. Beide Flüssigkeiten enthalten körperliche Bestandteile, welche wichtige physiologische Funktionen zu erfüllen haben. Von diesen Bestandteilen sollen uns hier nur die des Blutes beschäftigen, nämlich *die roten Blutkörperchen oder Erythrocyten, die weißen Blutkörperchen oder Leukocyten und die Blutplättchen oder Thrombocyten*<sup>1</sup>. Diesen wesentlichen körperlichen Bestandteilen gegenüber

<sup>1</sup> Eingehende Literaturangaben und Leitsätze für die hier behandelten Themata sind in den Beiträgen des Verfassers zum Tigerstedtschen Handbuch der physiologischen Methodik enthalten (siehe von Seite 3 ab „Zusammenfassende Darstellungen“). Die mit <sup>0</sup> bezeichnete Literatur konnte Verfasser nicht selbst einsehen. Fräulein M. H. MÜLBERGER bin ich für Mithilfe bei Beschaffung der Literatur zu Dank verpflichtet.

spielen die *Blutstäubchen* oder *Hämatokonien*, welche teils von den genannten Blutkörperchen stammen, größtenteils aber resorbiertes oder sonstwie mobilisiertes Fett in feinsten Suspension darstellen<sup>1</sup>, eine untergeordnete Rolle.

Genauer wurde über die *feinere Morphologie* der Blutkörperchen und Blutplättchen erst bekannt, als P. EHRLICH die Methoden zu ihrer Untersuchung schuf und im Deckglasausstrichpräparat mit Hilfe der Chromoanalyse diese Gebilde histochemisch zu untersuchen lehrte. Seitdem hat sich besonders die Pathologie und die sich aus ihr herausdifferenzierende *Hämatologie* mit Feuereifer auf die Untersuchung der körperlichen Bestandteile des Blutes geworfen und, wie sich aus den eingehenden Darstellungen von P. EHRLICH, A. PAPPENHEIM und O. NAEGELI ergibt, die wichtigsten Ergebnisse erzielt, handelt es sich doch auch nach einem Ausspruch von V. SCHILLING bei der Blutuntersuchung um eine pathologische Anatomie am Lebenden und beim Blut selbst um einen Spiegel, in dem sich das Ringen des Organismus um sein gestörtes Gleichgewicht in großen Zügen widerspiegelt. Noch steht die Physiologie, der sich hier ein weites Feld der Forschung eröffnet, etwas abseits, aber sie wird, durch die Macht der jetzt schon ermittelten Tatsachen gezwungen, sich eingehender mit diesen Bestandteilen befassen müssen.

**Methodik.** Um die *Blutkörperchen* und *Blutplättchen* auf ihre Form und Funktion untersuchen zu können, empfiehlt sich ihre Beobachtung unter möglichst physiologischen Bedingungen innerhalb der Blutgefäße im strömenden Blut, ferner nach Abklemmung der Blutgefäße ebendort im stagnierenden Blut und endlich im ausgetretenen Blut, sei es, daß man ein Nativ- oder Trockenpräparat herstellt. Die Untersuchung soll nicht nur im Hell-, sondern auch im Dunkelfeld des Mikroskops, unter Umständen auch im Polarisationsmikroskop erfolgen.

Die Beobachtung im strömenden oder stagnierenden Blut geschieht beim Menschen in den Capillaren der Haut und Schleimhäute, bei Tieren ebenda und auch noch in den Capillaren der durchsichtigen Flug-, Schwimm- und serösen Häute, unter Umständen auch der Netzhaut.

Eine feinere morphologische und auch physiologische Differenzierung kann dann noch mit Hilfe der Chromoanalyse (Vital- und Postmortalfärbung) vorgenommen werden.

Die gerade für die Blutkörperchen und Blutplättchen so wichtige *Chromoanalyse* beruht auf der *Chromophilie* bestimmter, chemisch differenter Bestandteile der Körperchen, die als Receptoren die haptophoren Seitenketten der Farbstoffe chemisch verankern, sei es substantiv, d. h. direkt, oder adjektiv, d. h. indirekt mit Hilfe von Beizen. Die Receptoren der Blutkörperchen und Blutplättchen werden, wenn sie basischer Natur sind (Amidogruppen), die sauren Seitenketten binden, also *oxyphil* sein, wenn sie saurer Natur sind (Carboxylgruppen), aber die basischen binden und damit *basophil* sein, und wenn sie zugleich basischer und saurer Natur sind, wie das bei der Doppelnatur der Eiweißkörper der Fall ist, die sauren und basischen Seitenketten an sich heften, also *amphophil* bzw. *neutrophil* sein.

Die zu bindenden *Farbstoffe* finden meist als Farbsalze Verwendung, da die freien Farbsäuren und Farbbasen in Wasser vielfach unlöslich sind. Die Farbsalze dissoziieren in wässriger Lösung und stellen so die Farbbase (*basochromer Farbstoff*) oder die Farbsäure (*acidochromer Farbstoff*) zur Färbung zur Verfügung. Da neutrale Farbstoffe solche Farbsalze sind, bei welchen sowohl die basische als auch die saure Komponente ein Farbstoff ist (*amphochromer Farbstoff*), so können in diesem Fall beide Komponenten zur Färbung dienen. Seine färberischen Eigenschaften erlangt der Farbstoff durch *chromophore Gruppen im Chromogenmolekül*; zur Farbbase wird dabei der Farbstoff durch freie oder substituierte (alkylierte, phenylierte) Amidogruppen, zur Farbsäure durch Hydroxyl-, Sulfo- oder Carboxylgruppen.

Die *Färbung* selbst ist ein chemischer oder physikalisch-chemischer Vorgang; ihr Effekt hängt noch sehr wesentlich davon ab, ob das zu färbende Substrat sich in vitalem oder supravitalem, d. h. postmortalem Zustand befindet. Eine wichtige Rolle für die Aufnahme von Farbstoffen spielt ferner die Beschaffenheit der äußeren und inneren Oberfläche der Blutkörperchen, ob sie engporig oder weitporig als Ultrafilter (W. RUHLAND) wirken kann, ob sie lipoidhaltig ist, ob Adsorption oder andere Oberflächenkräfte in Betracht kommen.

<sup>1</sup> WELTMANN, O.: Experimentelle Untersuchungen über die Hämatokonien. Biochem. Zeitschr. Bd. 65, S. 440. 1914.

Auch der Zustand, in welchem sich der Farbstoff befindet, ob in echter oder kolloidaler Lösung oder in Schwebefällung, ob er basischer, saurer oder neutraler Natur ist, ob noch Salze zugegen sind, deren Kationen die sauren, deren Anionen die basischen Farbstoffe beeinflussen, ist von Bedeutung, schließlich auch äußere Umstände, wie die Temperatur und das Licht. Die Färbung kann ferner eine *singuläre*, mit nur einem Farbstoff, oder eine Mehrfachfärbung, eine *panoptische*, sein; im letzteren Falle kann sie *simultan* oder *sukzessiv* erfolgen.

*Vital* werden die Blutkörperchen im allgemeinen nur durch die basischen Farbstoffe *gefärbt*, die Affinitäten zu bestimmten sauren Bestandteilen der Körperchen besitzen und damit eine größere Haftfestigkeit erlangen. Die sauren Farbstoffe werden nur abgelagert, es kommt unter Umständen in Vakuolen zur Farbstoffspeicherung; fügt man in letzterem Fall einen basischen Farbstoff zu, so kann man *in vivo* die Neutralfarbe entstehen sehen. Das Umgekehrte, den aufgenommenen basischen Farbstoff durch einen sauren färberisch zu neutralisieren, gelingt nicht, weil der basische von Zellbestandteilen mit Beschlag belegt ist. Ein Farbstoff kann ferner aufgenommen, aber nicht sichtbar sein, weil er reduziert oder oxydiert, unter Umständen lichtempfindlich ist.

Im allgemeinen findet eine Vitalfärbung des Kernes nicht statt, wohl aber eine solche von Protoplasmabestandteilen. Phagozytierte Körper, die außerhalb des Protoplasmas nicht gefärbt sind, können nach der Phagozytose im Anschluß an chemische Umwandlungen färbbar werden. Lipide der Blutkörperchen werden besonders durch lipoidlösliche Farbstoffe hervorgehoben.

Eine feinere morphologische und physiologische Differenzierung wird erst durch die *postmortale Färbung* der Blutkörperchen im Ausstrichpräparat (am besten EHRLICHS Deckglasmethode) besonders mit Hilfe der kombinierten May-Grünwald-Giemsas-Färbung nach A. PAPPENHEIM möglich, die eine *sukzessive, panoptische Universalfärbung* mit den Farbstoffen eosinsaures Methylenblau und Methylenazur darstellt. Durch diese Methode werden die basophilen sauren Bestandteile blau, die acidophilen basischen rot und die neutrophilen violett gefärbt. Gewisse basophile Bestandteile zeigen nicht *Ortho*-, sondern *Metachromasie*, Farbenumschlag; sie färben sich nicht blau, sondern in anderem Farbton, mehr rötlich. Auch die *Azurophilie* bestimmter Bestandteile der Blutkörperchen soll auf Metachromasie beruhen.

Zu Kernstudien eignet sich sehr gut die von R. FEULGEN<sup>1</sup> angegebene Nuclealfärbung, welche auf der Gegenwart eines bestimmt definierten Stoffes, der Thymonucleinsäure, im Kern beruht, also eine wahrhaft chemische Kernfärbung darstellt.

Differentialdiagnostisch sehr wichtig ist ferner die *Oxydasenreaktion der Granula* im Protoplasma bestimmter Blutkörperchen mit Hilfe der Methode der Indophenolblausynthese nach WINKLER-SCHULTZE, welche zur Blaufärbung der Granula führt<sup>2</sup>.

Und endlich ist physiologisch bedeutsam die *Unterscheidung lebender Blutkörperchen von toten*, was mit Hilfe der RÜŽICKASCHEN Methode<sup>3</sup> (Einwirkung eines Neutralrot-Methylenblau-Gemisches) möglich ist: lebende Blutkörperchen nehmen dabei den roten, tote den blauen Farbstoff auf.

Sollen die *körperlichen Bestandteile von den flüssigen abgetrennt* werden, so bedient man sich der spontanen Sedimentierung oder in besonderen Apparaten, den Hämatokriten, der Zentrifugalkraft, die zugleich bis zu einem gewissen Grad die Bestandteile in eine bei weitem überwiegende unterste Schicht, die Erythrocyten, in eine mittlere, die Leukoocyten, und eine obere, die Thrombocyten, entsprechend ihrer verschiedenen Dichte, scheidet; die Leuko- und Thrombocytenschicht steht dann wie eine graue Kuppe auf der roten Erythrocytensäule. Handelt es sich endlich noch darum, den Anteil der körperlichen Bestandteile am

<sup>1</sup> FEULGEN, R. u. H. ROSSENBECK: Mikroskopisch-chemischer Nachweis einer Nucleinsäure vom Typus der Thymonucleinsäure und die darauf beruhende elektive Färbung von Zellkernen in mikroskopischen Präparaten. Hoppe-Seylers Zeitschr. f. physiol. Chem. Bd. 135, S. 203. 1924. Ferner F. FEULGEN-BRAUNS: Untersuchungen über die Nuclealfärbung. Pflügers Arch. f. d. ges. Physiol. Bd. 203, S. 415. 1924.

<sup>2</sup> Über die Färbung der Blutkörperchen und Blutplättchen und die Theorie dieses Vorganges siehe insbesondere A. PAPPENHEIM: Morphologische Hämatologie, herausgegeben von H. HIRSCHFELD. Leipzig: W. Klinkhardt 1919, beigegeben Bd. 23 u. 24 der Folia haematol. Ferner W. v. MÖLLENDORFF: Vitale Färbungen an tierischen Zellen. Ergebn. d. Physiol. Bd. 18, S. 141. 1920 und H. HIRSCHFELD u. A. HITTMAIR: Ergebnisse und Fehlerquellen bei der supravitalen Färbung des frischen Blutes. Folia haematol. Bd. 31, S. 137. 1925.

<sup>3</sup> RÜŽICKA, V.: Über tinktorielle Differenzen zwischen lebendem und abgestorbenem Protoplasma. Pflügers Arch. f. d. ges. Physiol. Bd. 107, S. 497. 1905.

Blut quantitativ in Volumprozenten festzustellen, so kann man dazu gleichfalls die Hämatokriten oder auch indirekte Methoden benutzen.

Die Trennung der körperlichen Bestandteile des Blutes von den flüssigen durch spontane Sedimentierung setzt die Anwendung von Kälte oder gerinnungshemmenden Substanzen voraus. Die Trennung mit Hilfe der Hämatokriten kann nach H. KOEPPE<sup>1</sup> bei mittlerer Temperatur und hoher Rotationsgeschwindigkeit der Zentrifuge ohne Zusatz gerinnungshemmender Substanzen, bei höherer Temperatur nach Zusatz derselben, besonders von Hirudin, vorgenommen werden. Zur indirekten Bestimmung des Blutkörperchenvolumens bedient man sich neuerdings nach dem Vorgang von A. ALDER<sup>2</sup> in der NÄGELISCHEN Klinik der Refraktometrie des Plasmas und des mit 0,9% Kochsalzlösung verdünnten Bluts; weniger geeignet ist die Viscosimetrie des Plasmas und Bluts<sup>3</sup>.

Mit der Untersuchung der körperlichen Bestandteile im Blut allein ist es aber, wenn anders man Einblick in das funktionelle Geschehen gewinnen will, nicht getan, man wird auch die *Bildungsstätten der Blutkörperchen und Blutplättchen*, das Knochenmark, die Milz, die lymphatischen Apparate und unter Umständen auch den reticulo-endothelialen Apparat in den Bereich der Untersuchung ziehen müssen; es sei in dieser Beziehung auf die entsprechenden Beiträge in diesem Handbuch hingewiesen.

Mit diesem allgemein gehaltenen Hinweis auf die Methoden soll es vorerst sein Bewenden haben, auf spezielle Methoden wird an Ort und Stelle des Textes hingewiesen werden.

Dem *Volumen* nach enthält das menschliche Blut 41 bis 46, im Mittel 44%, Blutkörperchen; C. FRÖHLICH<sup>4</sup> gibt 45,13% beim Mann und 41,38% bei der Frau an. Im venösen Blut ist der Wert etwas größer, da dort unter dem Einfluß der Kohlensäure die für das Volumen besonders in Betracht kommenden Erythrocyten quellen: E. HENSSEN<sup>5</sup> fand in der Tat im Capillarblut 43,2 bis 48,7, im Stauungsblut 46,2 bis 51,4 Vol.-%<sup>6</sup>. Alle Umstände, welche besonders die Zahl der Erythrocyten beeinflussen (S. 18 u. f.), werden auch für das Volumen bestimmend sein. Mit einem Thrombocytokrit fand CH. M. VAN ALLEN<sup>7</sup> Thrombocytenvolumina von 0,35 bis 0,67, im Mittel 0,49%. In pathologischen Fällen kann *Oligocythämie* oder *Polycythämie* bestehen und so das Volumen von etwa 9–80% schwanken. Bei Säugetieren erhielt R. GÖTZE<sup>8</sup> folgende Werte: Schwein 39,4, Pferd 32,9, Rind 31,9, Schaf 30,9, Ziege 27,8 Vol.-%. VAN ALLEN bestimmte das Thrombocytenvolumen beim Hund zu 0,70 bis 1,50, Mittel 1,04%, beim Kaninchen zu 0,40 bis 0,72, Mittel 0,53%.

Im folgenden seien nunmehr die einzelnen Arten der körperlichen Bestandteile des Blutes, ihre Eigenschaften und ihre Funktionen gesondert besprochen.

<sup>1</sup> KOEPPE, H.: Über die Volumenbestimmung der roten Blutkörperchen durch Zentrifugieren im Hämatokriten. Pflügers Arch. f. d. ges. Physiol. Bd. 107, S. 187. 1905. Siehe ferner P. FRIEDHOFEN: Über die Volumenbestimmung der roten Blutkörperchen. Med. Dissert., Gießen 1915, der zum Teil Hirudin verwendete.

<sup>2</sup> ALDER, A.: Eine klinische Methode der Blutkörperchenvolumbestimmung. Zeitschr. f. klin. Med. Bd. 88, S. 74. 1919.

<sup>3</sup> Siehe auch R. STEINBACH: Beitrag zur Bestimmung des Volumens der körperlichen Elemente im Blut. Zeitschr. f. Biol. Bd. 74, S. 131. 1922.

<sup>4</sup> FRÖHLICH, C.: Über genaue Bestimmung des Färbeindex der roten Blutkörperchen; Färbeindex (Zahl) und Färbeindex (Volumen). Folia haematol. Bd. 27, S. 109. 1922.

<sup>5</sup> HENSSEN, E.: Die Bestimmung des Volumens der roten Blutkörperchen im Capillar- und Stauungsblut mittelst des Hämatokriten. Med. Dissert., Gießen 1914.

<sup>6</sup> Über un stetige Volumenzunahme bei einer bestimmten H-Ionenkonzentration siehe KL. MEYER: Blutreaktion und Blutkörperchenvolumen. Biochem. Zeitschr. Bd. 133, S. 67. 1922.

<sup>7</sup> ALLEN, CH. M. VAN: Über Volumenmessung von Blutplättchen. Münch. med. Wochenschr. Jg. 74, S. 141. 1927.

<sup>8</sup> GÖTZE, R.: Züchterisch-biologische Studien über die Blutausrüstung der landwirtschaftlichen Haustiere. Sonderabdruck aus der Zeitschr. f. d. ges. Anat., Abt. 2, Zeitschr. f. Konstitutionslehre. Bd. 9, S. 217. 1923; Bd. 9, S. 245. 1923.

## II. Die Erythrocyten.

Die *Erythrocyten* (erythrocytes, red blood discs or corpuscles, érythrocytes ou globules rouges, hématies, eritrociti, globuli [corpuscoli] rossi) des Menschen und der Säugetiere sind keine eigentlichen Zellen mehr, da ihnen ein wichtiges Kriterium der Zelle, der Kern, fehlt, es sind weiter differenzierte Zellen, Überzellen, die aber aus kernhaltigen Zellen, den *Erythroblasten*, hervorgegangen sind. Kernhaltig dagegen sind die Erythrocyten der übrigen Wirbeltiere. Die Entkernung beim Menschen und den Säugetieren, die nach eingehenden Beobachtungen von O. NAEGELI durch allmähliche Auflösung des Kerns, Karyolysis, erfolgt, wird mit der höheren biologischen Funktion dieser Erythrocyten in Zusammenhang stehen; es ist so, als ob für einen wichtigeren Bestandteil Platz geschaffen werden solle.

Das Protoplasma der ursprünglichen Zellen ist paraplasmatisch von dem roten Blutfarbstoff, dem *Hämoglobin*, erfüllt, das in dünnster Schicht gelbgrünlich, in dickerer rot aussieht und so den Gebilden den Namen „rote Blutkörperchen“ verschafft hat. Begrenzt wird das Protoplasma durch eine Zellmembran, eine Hülle, von der nach innen zu ein Gerüstwerk ausgeht; das Ganze wird *Stroma* genannt.

Eine sehr viel kompliziertere Struktur mit einem sogenannten „Glaskörper“ und „Kapselkörper“ (EHRLICHs hämoglobinämischer Innenkörper) nimmt V. SCHILLING<sup>1</sup> an. H. BECHHOLD<sup>2</sup> hat sich folgende Vorstellung von dem Bau der roten Blutkörperchen gebildet. Sie besitzen ein schwammähnliches Gerüst aus einer fibrinartigen Masse, dem *Stroma*. Der Schwamm ist erfüllt mit einer Emulsion aus Tröpfchen einer salzhaltigen Eiweißlösung, hauptsächlich Hämoglobin, die von ganz dünnen Lipoidhäuten umhüllt sind.

Bei *Vitalfärbung* stellen sich die Erythrocyten des Menschen und der Säugetiere gleichmäßig gefärbt dar unter stärkerer Betonung der äußersten Randschicht. Färben sich Granula vital, so spricht das für junge Zellen. Auch Kernreste und eine feine Randgranulierung, bzw. die *Substantia reticulo-filamentosa*, sind durch Vitalfärbung sichtbar zu machen, besonders bei jugendlichen Elementen.

Bei *Postmortalfärbung* im Ausstrichpräparat nach der PAPPENHEIMschen Methode erweisen sich die Erythrocyten als acido- bzw. eosinophil, und zwar um so stärker, je mehr Hämoglobin in ihnen enthalten ist, so daß man aus der Stärke der Färbung den Grad der Hämoglobinfüllung einigermaßen zu schätzen vermag. Dieser *Orthochromasie* steht bei jugendlichen Erythrocyten bzw. bei höheren Graden von Blutregeneration die *Polychromasie*, auch *Polychromatophilie*<sup>3</sup> gegenüber, d. h. es findet nicht nur die Färbung im Ton des sauren, sondern auch in dem des basischen Farbstoffs, des Methylenblaus, und in Zwischenstufen statt. Auch *basophile Punktierung* kann dann in besonderen Fällen nachweisbar werden, besonders bei Bleivergiftung, aber auch bei Anämien. Die kernhaltigen Erythrocyten zeigen im Jugendzustand gleichfalls Polychromasie, die älteren Orthochromasie; bei den letzteren ist ferner der Kern kleiner und das Chromatin verdichtet, pyknotisch, bei ersteren dagegen locker und in Radspaltenform angeordnet, dabei der ganze Kern größer. Es gibt Blutarten,

<sup>1</sup> SCHILLING-TORGAW, V.: Arbeiten über die Erythrocyten (II—VII). Folia haematol. Bd. 14, S. 95 u. 214. 1912.

<sup>2</sup> BECHHOLD, H.: Die Kolloide in Biologie und Medizin. 2. Aufl., S. 331. Dresden u. Leipzig: Th. Steinkopff 1919.

<sup>3</sup> SCHILLING-TORGAW, V.: Arbeiten über die Erythrocyten (I). Folia haematol. Bd. 11, S. 327. 1911.

in welchen unter physiologischen Verhältnissen fast nur orthochromatische Erythrocyten vorkommen (z. B. Mensch, Hund, Schaf, Ziege), in anderen dagegen sind fast immer auch polychromatische vorhanden (z. B. Schwein, Kaninchen, Huhn, Taube).

In pathologischen Fällen kommen in Erythrocyten auch noch Kernreste als sog. *Howell-Jollysche Körper*, ferner *Cabot-Schleipische Ringkörper*, *Heinzkörper*, als vorspringende „Blaukörper“, durch Vitalfärbung darstellbar, und außer der genannten basophilen auch *azurophile Punktierung* vor.

Diese so darstellbaren Erythrocyten unterliegen physiologischerweise einem beständigen *Verbrauch*, der seinerseits regulatorisch wieder einen entsprechenden *Ersatz* hervorruft, so daß normalerweise der Quotient  $\frac{\text{Ersatz}}{\text{Verbrauch}}$  der 1 zustrebt

und die Bildungsstätte der Erythrocyten, das Knochenmark, sich in einem mittleren Funktionszustand befindet. Je nach Bedarf kann das Tempo der Erythrocytenregeneration verlangsamt oder beschleunigt werden. Einer Regeneration aus sich heraus sind die im Blut kreisenden Erythrocyten nicht fähig, wie es auch eine mit anabolischen Prozessen verbundene Erkrankung dieser Erythrocyten, auch eine solche des Blutes als Ganzes, eine Hämatitis, nicht gibt, es sind vielmehr immer nur die Bildungsstätten, welche hierfür in Betracht kommen.

### 1. Die Form der Erythrocyten.

Ihrer Form nach sind die Erythrocyten des Menschen winzige *bikonkave Scheibchen*, die in Masse rot, einzeln schwach gelbgrünlich aussehen. Diese Form ist aber keine starre, die Erythrocyten sind vielmehr durch äußere Umstände leicht veränderliche, biegsame, elastische Gebilde, die beim Nachlassen der Einwirkung von außen her ebenso leicht wieder in ihre ursprüngliche Gestalt zurückkehren. Die angeblich normale, besonders von F. WEIDENREICH<sup>1</sup> behauptete *Glocken- oder Napfform* muß als ein Kunstprodukt bezeichnet werden, das wohl dadurch zustande kommt, daß die Substanz am Rand etwas andere Eigenschaften aufweist als in der Mitte; dort ist neuerdings von M. ROMIEU<sup>2</sup> auch ein Randreifen nachgewiesen worden. H. KOEPPE<sup>3</sup> nimmt an, daß bei dieser Formveränderung eine Volumenveränderung nicht eintritt, nach W. KNOLL<sup>4</sup> haben dagegen die Glocken ein etwas größeres Volumen als die Scheiben, 81,4 gegen 73,9  $\mu^3$ .

Die bikonkave Scheibenform wird dem Erythrocyten durch die *Hülle* und das die *Hülle* stützende *Gerüstwerk* aufgezwungen und ist offenbar für die Funktion wesentlich; für die Erhaltung dieser Form ist nach H. J. HAMBURGER<sup>5</sup> ein Bestandteil der Hülle, das Cholesterin, von Bedeutung.

In hypotonischen Lösungen kommt es bei der Permeabilität der Hülle durch Wassereintritt zur *Kugelform*, wodurch der Durchmesser zunächst ab-, das Volumen aber zunimmt. Ähnlich wirkt die Kohlensäure des venösen Blutes auf die Erythrocyten ein; unter ihrem Einfluß treten Chlorionen, andere Anionen

<sup>1</sup> WEIDENREICH, F.: Über die Form der Säugererythrocyten. Pflügers Arch. f. d. ges. Physiol. Bd. 132, S. 143. 1910.

<sup>2</sup> ROMIEU, M.: Sur l'existence de la strie bordante dans les hématies de l'homme. Cpt. rend. des séances de la soc. de biol. Bd. 86, S. 1090. 1922<sup>o</sup>.

<sup>3</sup> KOEPPE, H.: Form und Volumen der roten Blutkörperchen. Folia haematol. Jg. 2, S. 334. 1905.

<sup>4</sup> KNOLL, W.: Über die Form menschlicher roter Blutkörperchen. Verhandl. d. Schweiz. naturforsch. Ges., Luzern 1924, II. Teil, S. 217<sup>o</sup>.

<sup>5</sup> HAMBURGER, H. J.: Ergebn. d. Physiol., Bd. 23, Abt. I, S. 132. 1924.