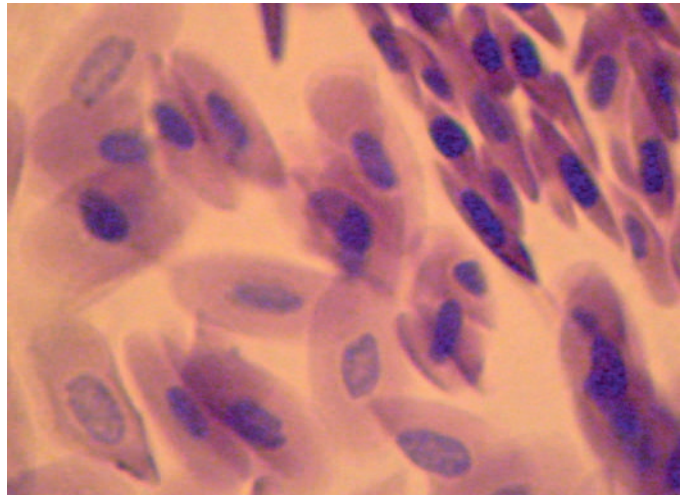
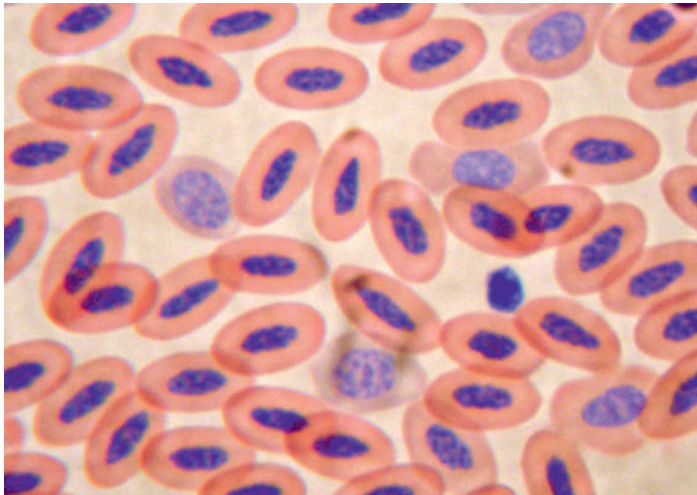


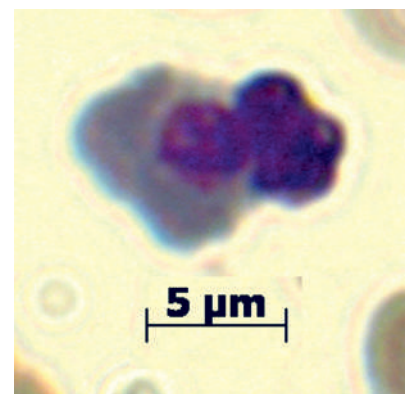
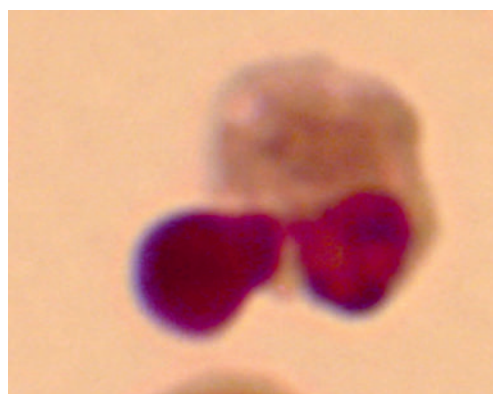
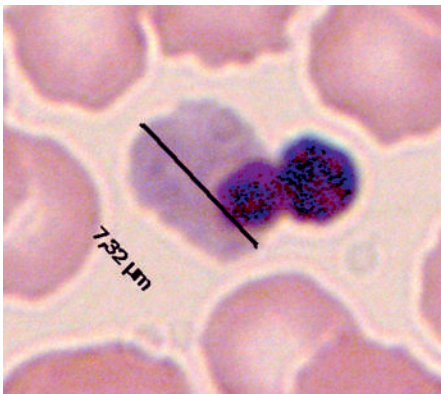
## Erythrozyten

Die Hauptfunktion der kernlosen Zellen besteht im Sauerstofftransport. Mit der Carboanhydrase ist der Erythrozyt intensiv in die Bildung des Hydrogenkarbonats und somit in die Regulation des Säure-Basen-Haushalts integriert. Außerdem transportiert er einen Anteil des Kohlenstoffdioxids als Carboxyl. In der Evolution ist es nur den Säugetieren gelungen, die Zelle ohne Kern und mit einer hohen Lebenserwartung zu nutzen. 120 Tage bleibt eine rote Blutzelle beim Menschen vital. Das ist ein deutlich längerer Zeitraum als beispielsweise die sieben Lebenstage einer Mukosazelle des Dünndarms.

Ohne Kern zu sein, das beinhaltet Vorteile. Bei gleicher Größe kann mehr Hämoglobin in der Zelle gespeichert werden. Ohne Kern sind kleinere Öffnungen passierbar. Der Bau der Säugerkapillaren ist feiner und ermöglicht den Bau großer Muskelgewebe. Ein Vergleich der Körpermasse von landlebenden Säugetieren gegenüber den Vögeln oder nur an Land lebenden Reptilien macht diese Vorteile deutlich. Rote Blutzellen mit Kern haben mehr Möglichkeiten, eigene Proteine und Enzyme zu bilden, die für den Stoffwechsel oder Reparaturen nützlich sind.



Rote Blutzellen einer Ente und eines Frosches nach Färbung mit Hämatoxylin und Eosin.



Fotos von humanen polychromatischen Erythroblasten, die das Ausstoßen des Zellkerns zeigen.

## Lebenszyklus des humanen Erythrozyten

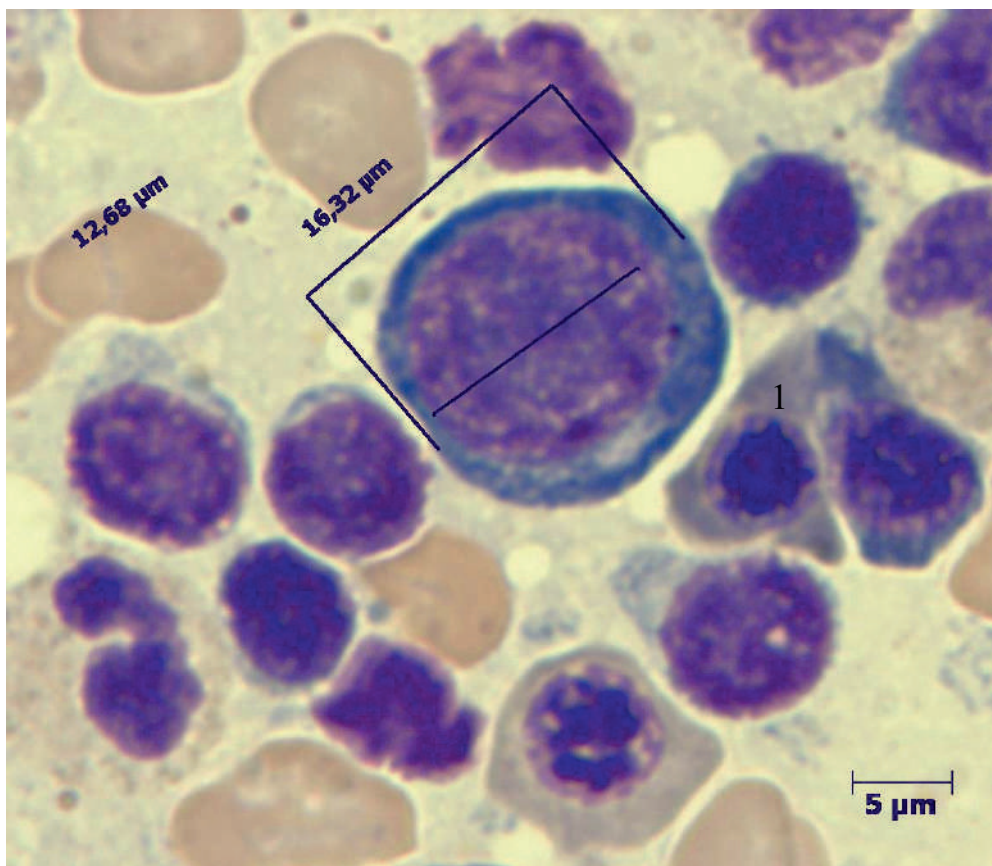
Ein Mensch mit 6 Liter Blutvolumen und einer Erythrozytenzahl von 5 000 000 000 000 pro Liter verfügt über 30 000 000 000 000 rote Blutzellen. Müssten alle Erythrozyten nach 120 Tagen ersetzt werden, dann müsste diese große Zahl an Zellen zur selben Zeit zugrunde gehen und ersetzt werden. Weil dies nicht geht, erfolgt der Ersatz kontinuierlich. Es soll der Tausch von toten und neu gebildeten Zellen pro Sekunde betrachtet werden. Dafür wird der Quotient aus Gesamtzellzahl und Lebensdauer gebildet. 120 Tage ergeben 10 368 000 Sekunden.

$$\frac{30 \cdot 10^{12}}{10,368 \cdot 10^6} = \frac{30 \cdot 10^6}{10,368} = 2\,893\,518 \text{ Zellen pro Sekunde}$$

In jeder Sekunde werden rund 3 Millionen Erythrozyten aus dem Knochenmark in das Blut gegeben und dieselbe Zahl wird im Körper abgebaut. Die Syntheseleistung erscheint noch beachtenswerter, wenn die Anzahl der Hämoglobinmoleküle pro Erythrozyt betrachtet wird. Sie beträgt durchschnittlich 280 000 000 Moleküle.

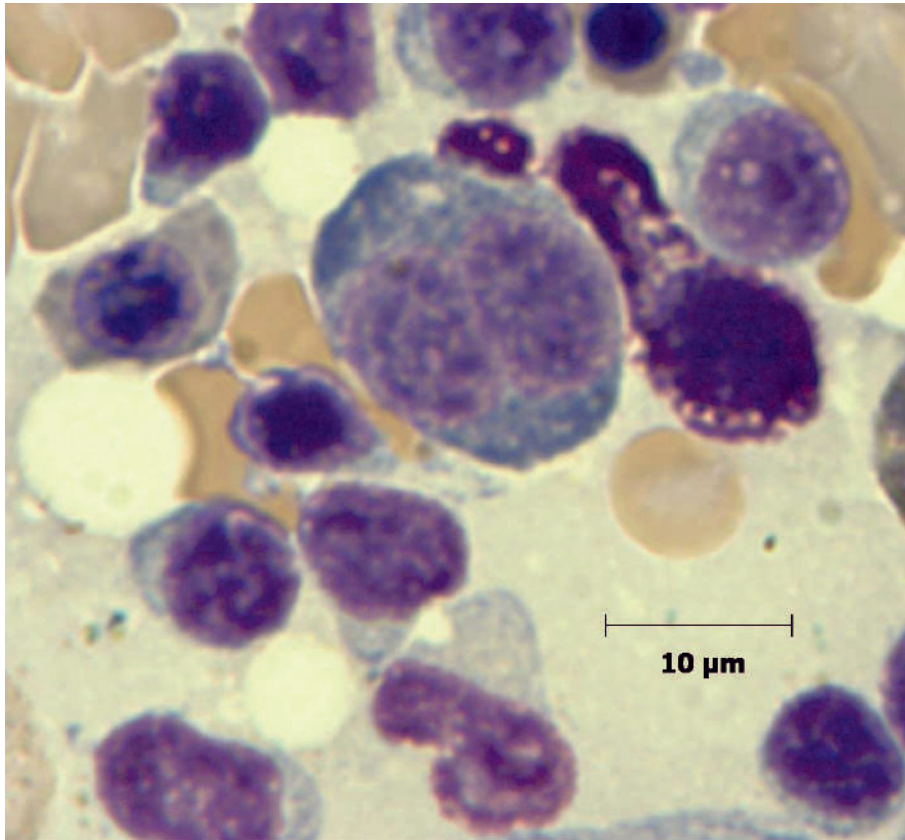
## Erythropoese

Aus einem Proerythroblasten entstehen 16 Erythrozyten. Dabei durchschreiten die Zellen die Stadien des basophilen, polychromatischen und orthochromatischen Erythroblasten sowie das des Retikulozyten. Der wesentliche Wachstumsfaktor für die Erythrozytenbildung ist das von der Niere freigesetzte Erythropoetin. Die Niere ist das Entgiftungsorgan für alle wasserlöslichen Gifte. Ihre Funktion ist in zweifacher Weise auf eine ausreichende Zahl roter Blutzellen angewiesen. Einerseits benötigt die Niere für ihre Arbeit ausreichend Sauerstoff und für die Entgiftungsfunktion ausreichend viel Blut. Das Blut ist die treibende Kraft für die Filtration. Fließt es zu langsam, dann nimmt die Entgiftung ab. Die Folge ist eine Schädigung durch exogene und endogene Substanzen. Dies betrifft den Organismus insgesamt und darin eingeschlossen das Nierenparenchym. Sensoren für den Blutdruck in den afferenten Arteriolen des Nierenkörperchens veranlassen die Freisetzung des Erythropoetins.

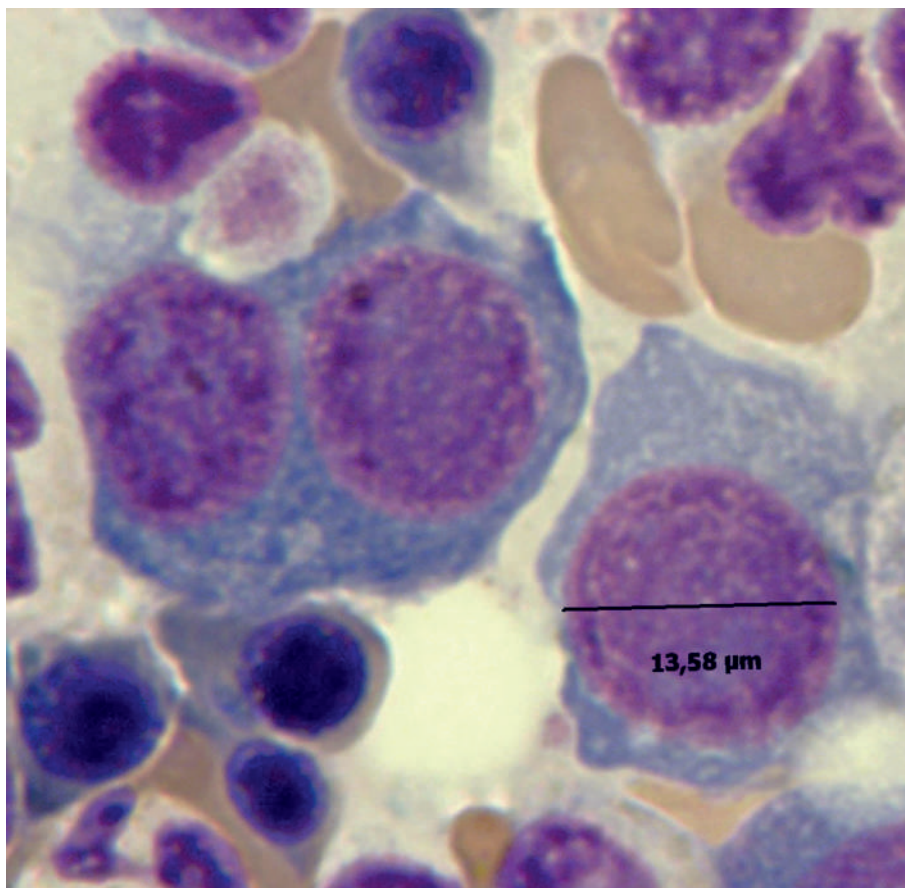


Ein Proerythroblast mit dem typischen perinukleären Hof, umgeben von weiteren Erythroblasten. Das dunkelblaue Plasma zeichnet die basophile Entwicklungsstufe aus. Mit (1) ist ein polyochromatischer Erythroblast markiert. Das Präparat zeigt das humane Knochenmark nach MGG-Färbung.

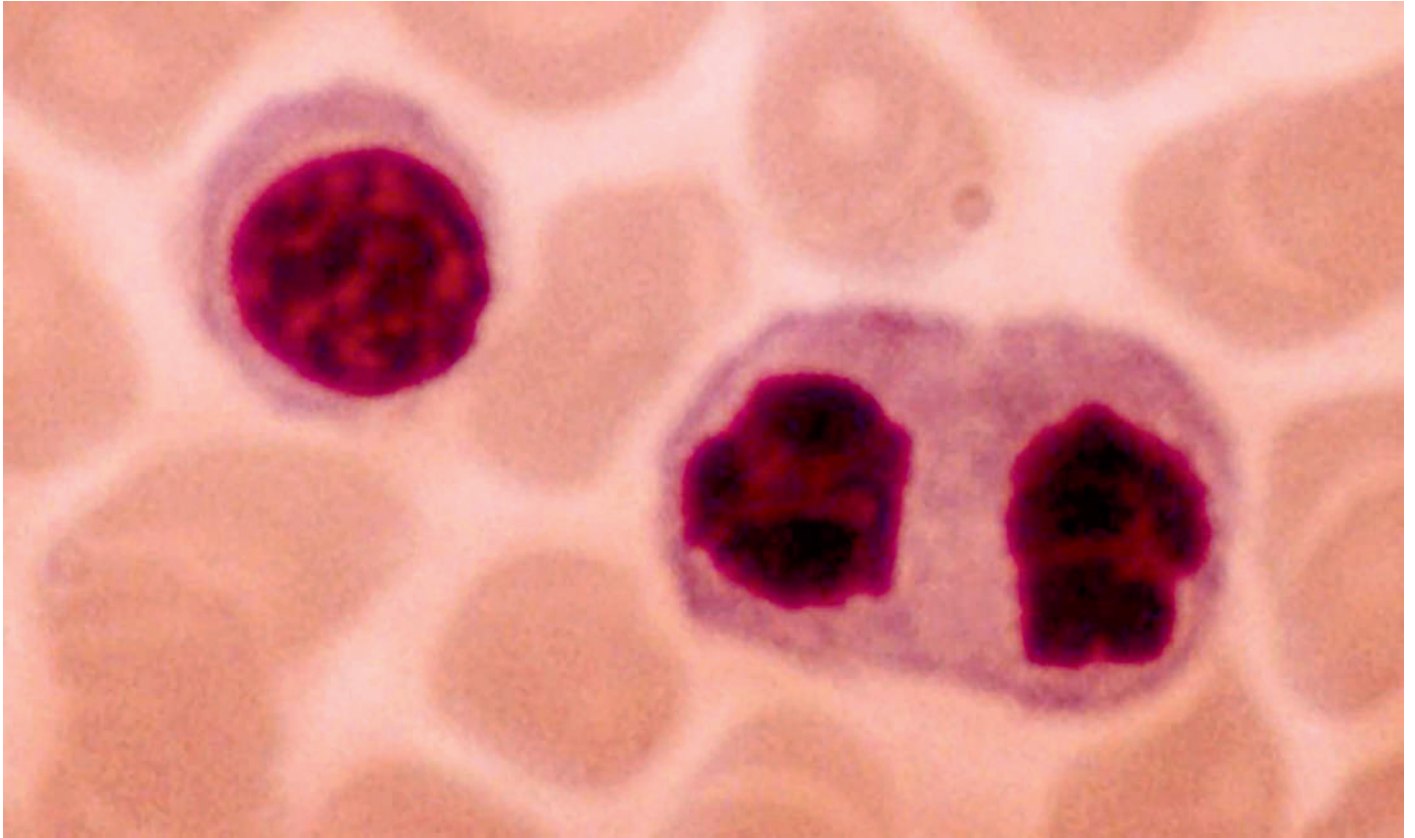
## Erythropoese im Knochenmark



Abgebildet ist ein Proerythroblast bei der Teilung im Knochenmark.



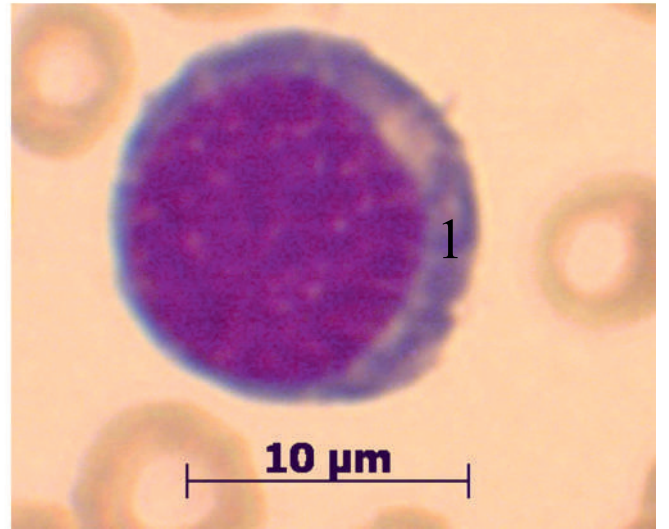
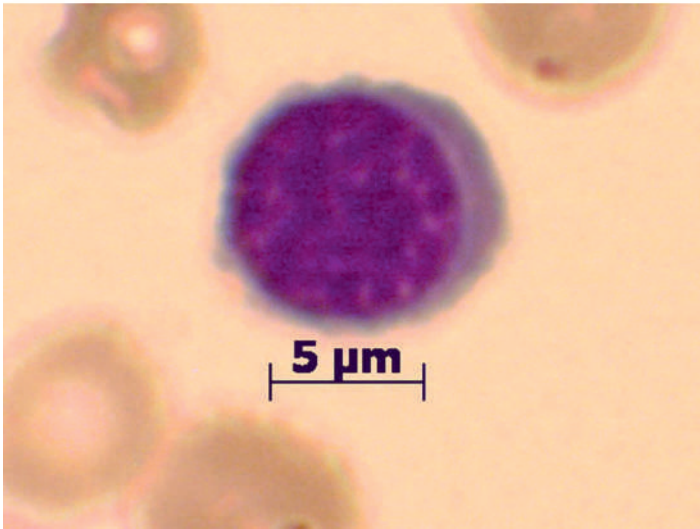
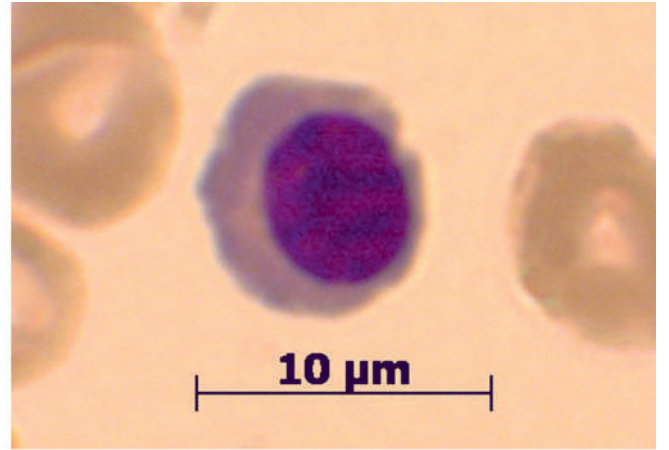
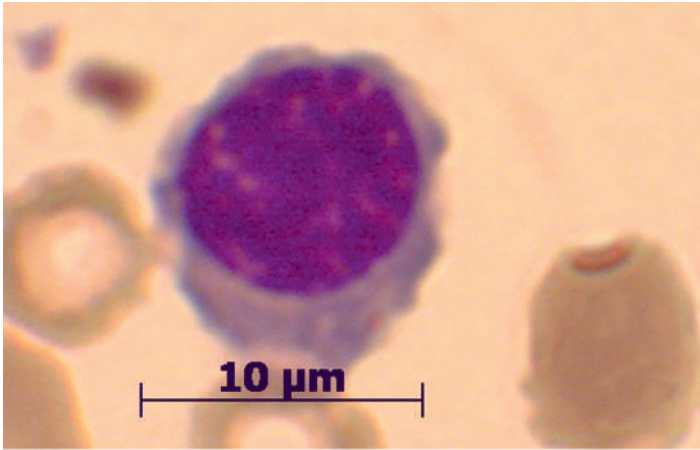
Im Foto zu sehen ist die Zytokinese eines Proerythroblasten.



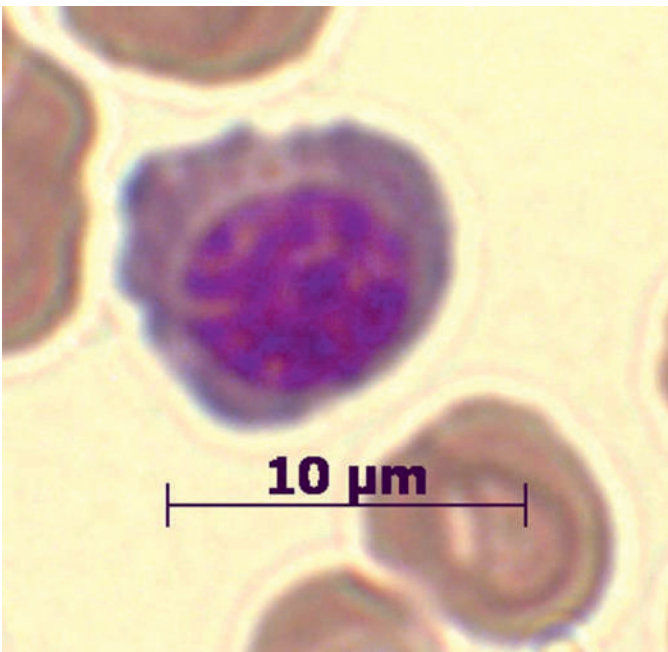
Das Foto wurde von einem Blutausstrich bei chronischer myeloischer Leukämie aufgenommen und zeigt orthochromatische Erythroblasten. Eine Zelle befindet sich in der Zytokinese.



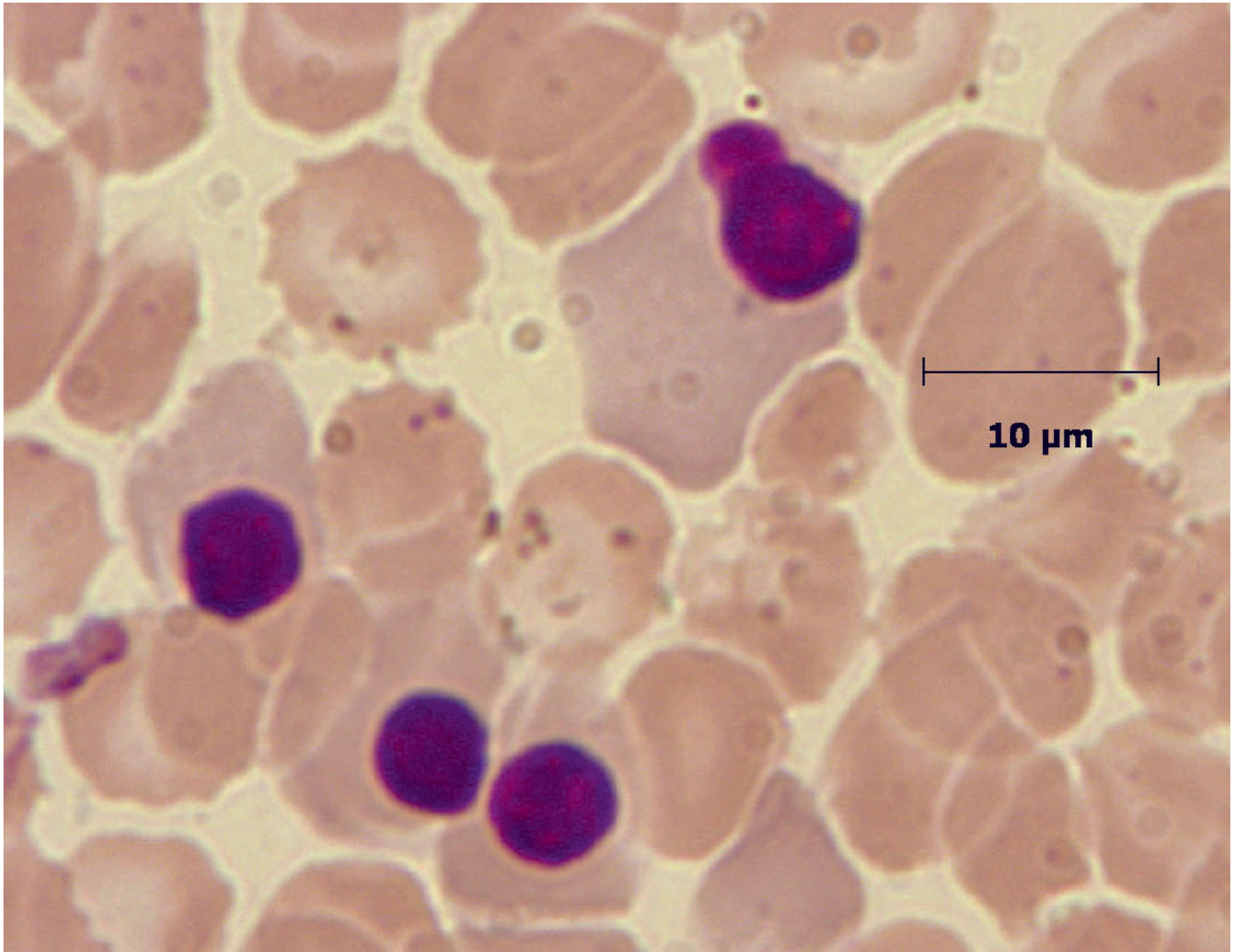
Ein polychromatischer (1) und zwei orthochromatische Erythroblasten im peripheren Blut bei chronisch myeloischer Leukämie. Bei der Unterscheidung der Entwicklungsstufen ist die Farbe des Plasmas das wesentliche Kriterium.



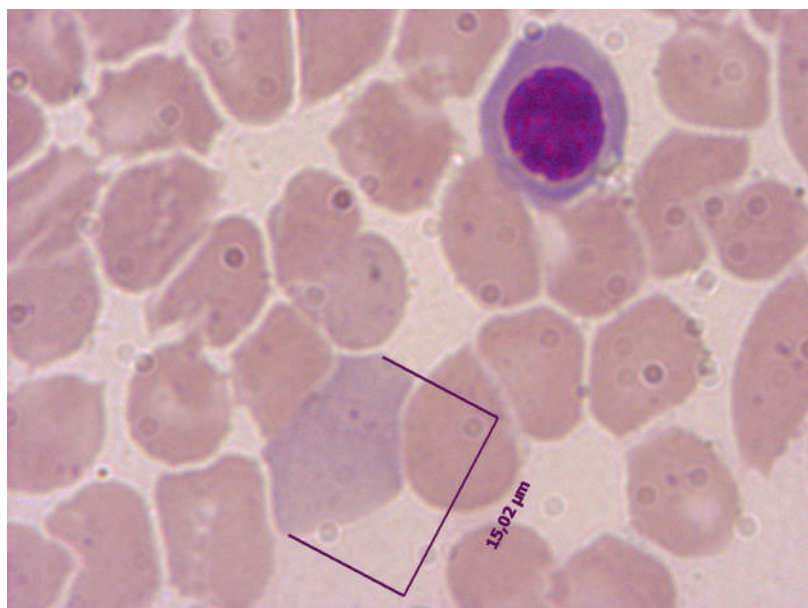
Die Abbildungen zeigen drei polychromatische Erythroblasten im peripheren Blut bei chronisch myeloischer Leukämie sowie einen basophilen Erythroblasten im Übergang zum polychromatischen Typ (1).



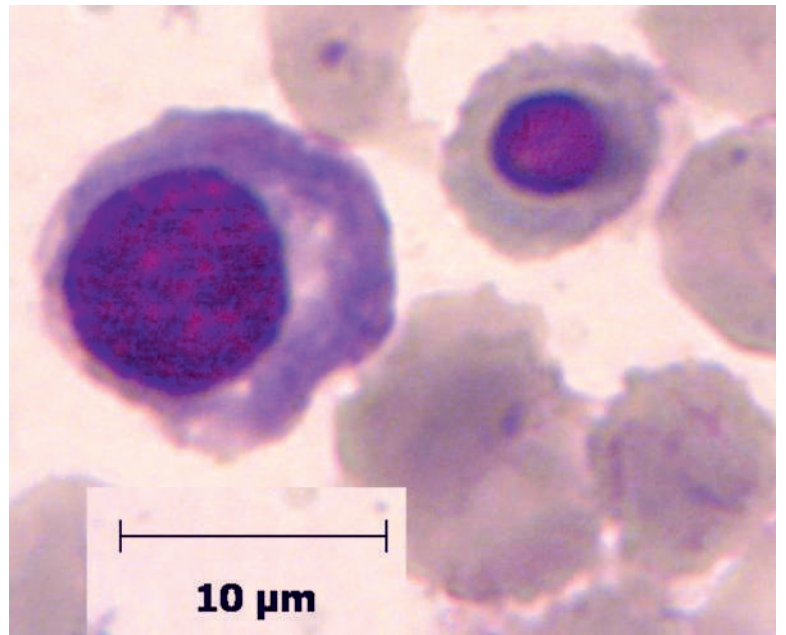
Fotos von zwei polychromatische Erythroblasten. Bei der Zelle links ist der rötliche Anteil intensiver und rechts ist er schwächer. Der rötliche Farbton beruht auf dem Hämoglobin und der blaue Farbton auf der Ribonukleinsäure.



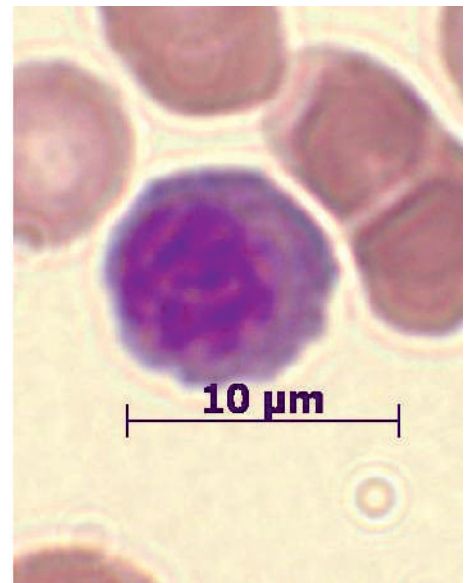
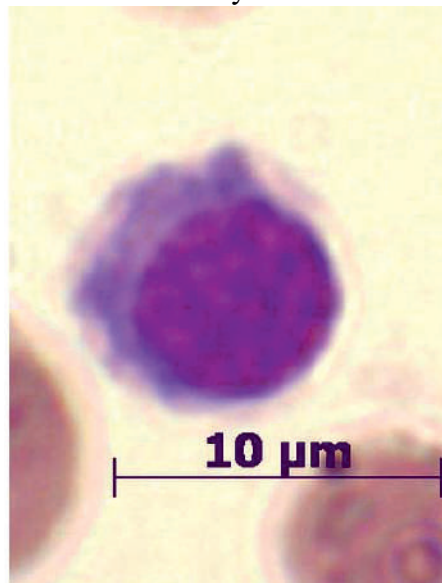
Von den vier orthochromatischen Erythroblasten im Bild ist die obere Zelle dabei, den Kern auszustoßen.



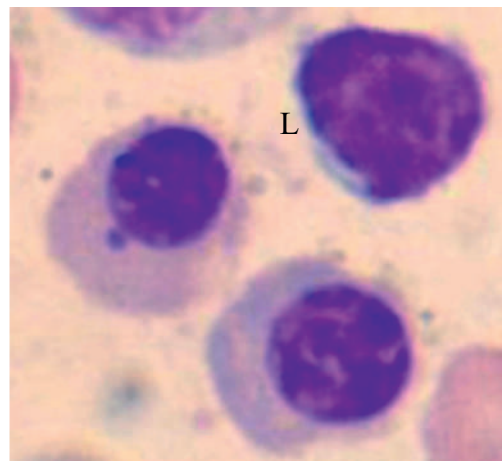
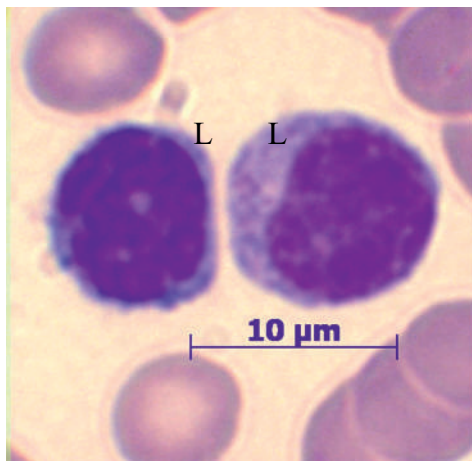
Ein polychromatischer Erythroblast und ein Erythrozyt (Retikulozyt) mit seinem deutlich abweichenden Farbton. Die Kernreste des Retikulozyten sind nicht sichtbar, weil sie nicht angefärbt sind.



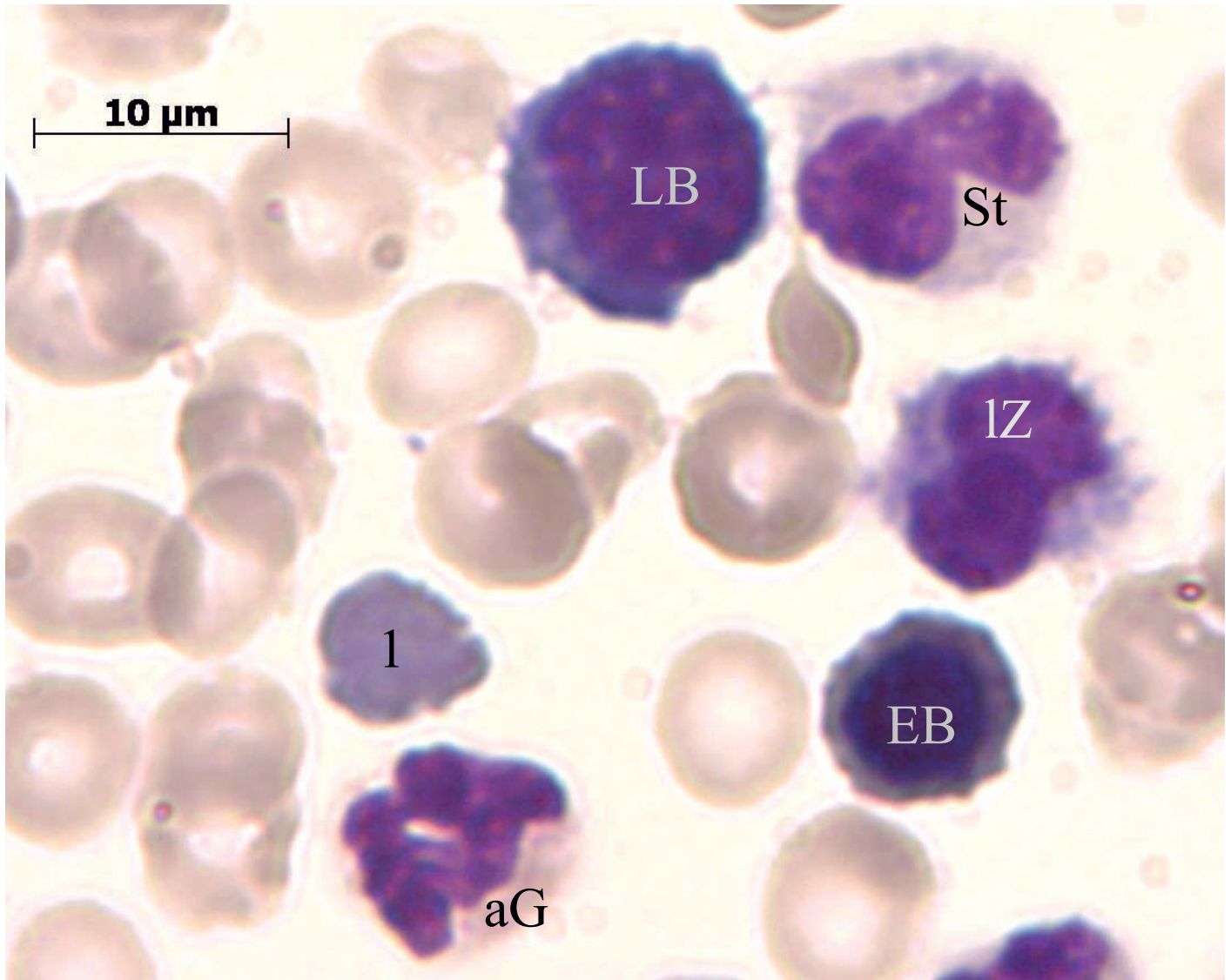
Fotos von Erythroblasten im peripheren Blut mit unterschiedlichem Reifegrad. Von links nach rechts: basophiler, polychromatischer und orthochromatischer Erythroblast.



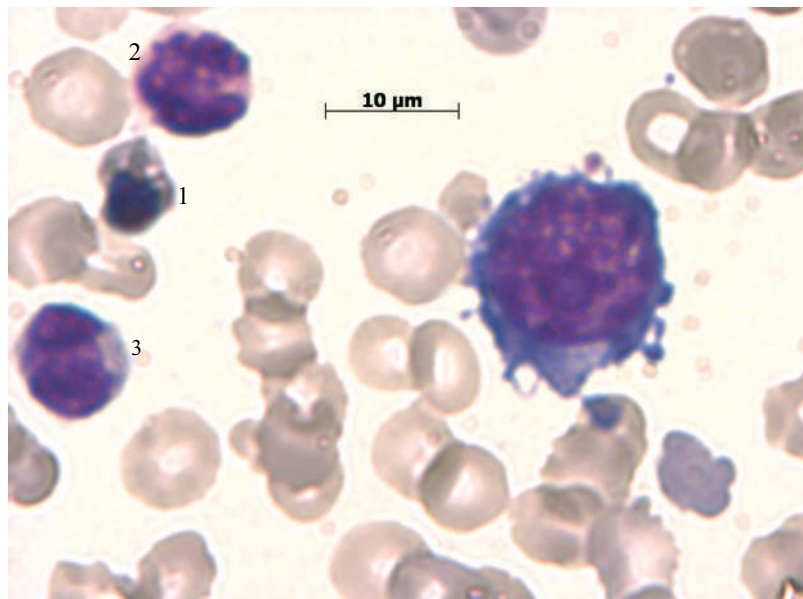
In den Abbildungen ist ein Lymphozyt (L) im Vergleich zu zwei polychromatischen Erythroblasten zu sehen.



Fotos mit dem Vergleich von Lymphozyten (L) und polychromatischen Erythroblasten.



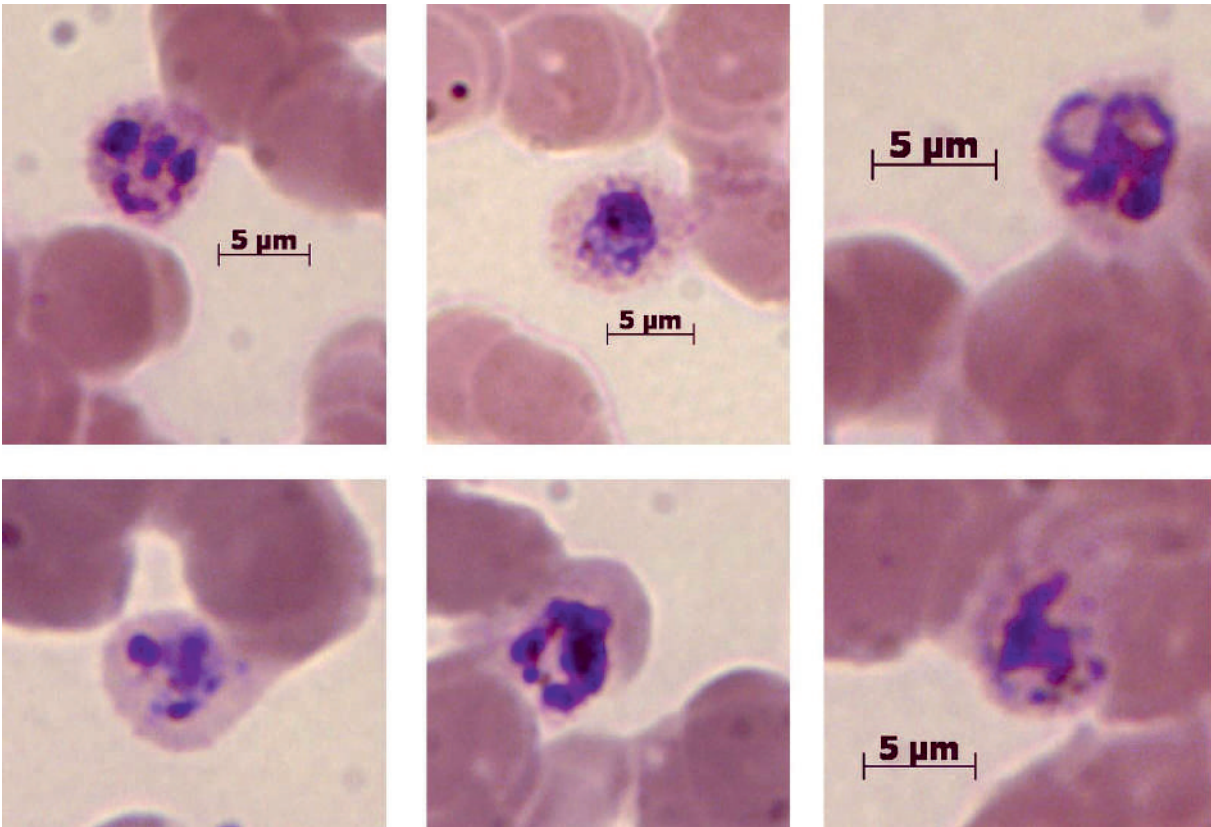
Das Foto zeigt Zellen bei akuter lymphatischer Leukämie: Lymphoblast (LB), Erythroblast EB, Stabkerniger (St), lymphatische Zelle (lZ), atypischer Granulozyt (aG) und einen Erythrozyten nach Kernausstößung (1).



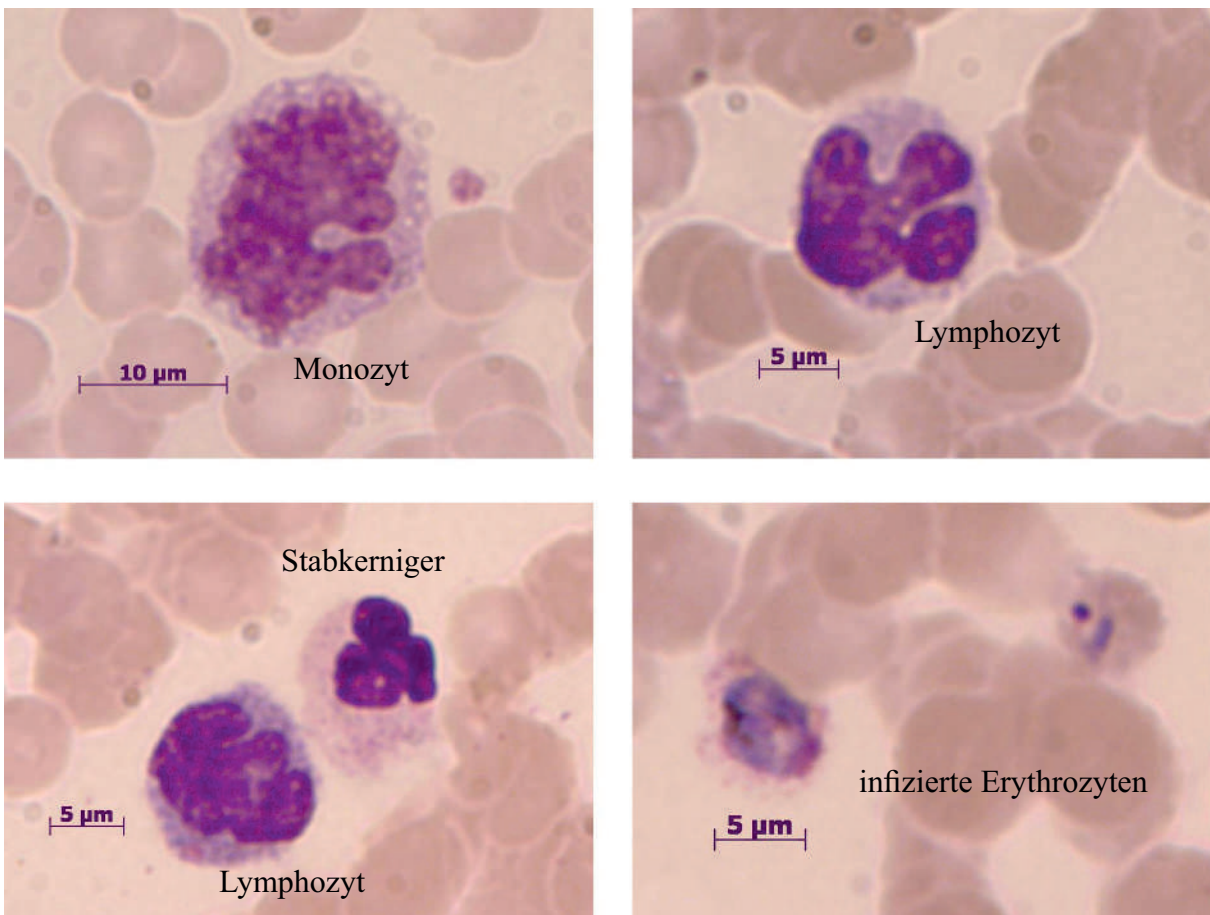
Ein weiteres Foto vom selben Ausstrich mit einem Lymphoblasten, Erythroblast (1), atypischer Granulozyt (2) und atypische lymphatische Zelle (3).



# Malaria



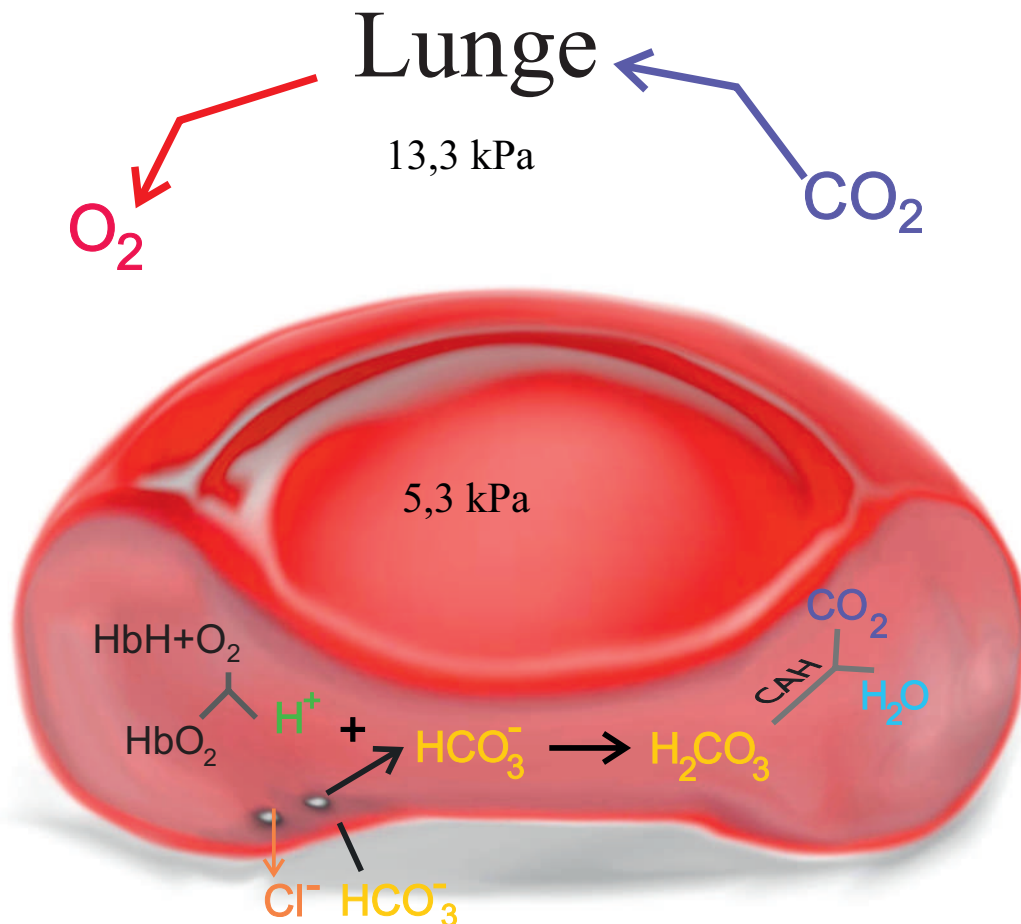
Fotos mit verschiedenen Entwicklungsstufen des Einzellers Plasmodium falciparum im peripheren Blut.



Abbildungen von reaktiv veränderte Immunzellen und zwei befallenen Erythrozyten bei Malaria.

## Physiologie des Sauerstofftransportes 1

Der Sauerstoffpartialdruck ist von verschiedenen Faktoren abhängig. Dazu zählen der Luftdruck, der Sauerstoffanteil in der Atemluft, das Alter und die Konstitution sowie das Volumen des toten Raums: Damit wird das Volumen der Trachea und Bronchien umschrieben, in dem die Luft stehen bleibt. Für den alveolären Sauerstoffpartialdruck besteht eine natürliche Schwankungsbreite. Hier sind 13,3 kPa zugrunde gelegt. Für das venöse Blut wird mit einem Wert von 5,3 kPa für den Sauerstoff gearbeitet.



Der Sauerstoff wandert entlang des Diffusionsgradienten (Druckgefälle zwischen Alveole und venösen Blut). In der Alveole liegt der Partialdruck des Sauerstoffs bei etwa 12,3 kPa und im venösen Blut bei circa 5,3 kPa. Das Diffusionsgefälle von 8 kPa ist die Triebkraft für die Wanderungsbewegung des Sauerstoffs. Ein Häm des Hämoglobinmoleküls bindet den Sauerstoff ohne Elektronenübergang durch Oxygenierung und gibt dabei ein Proton frei, welches sofort vom Hydrogenkarbonat eingefangen wird. Wasserstoffion und Hydrogenkarbonat reagieren zur Kohlensäure. Damit ausreichend Hydrogenkarbonat für die Reaktion vorhanden ist, pumpt der Erythrozyt Chloridionen aus dem Zellinneren ins Blutplasma und ersetzt die verlorene negative Ladung durch Hydrogenkarbonat aus dem Blutplasma.

Die Carboanhydrase spaltet die Kohlensäure zu Kohlenstoffdioxid und Wasser. Das Kohlenstoffdioxid und ein Teil des Wassers werden mit der Atemluft an die Außenwelt gegeben.