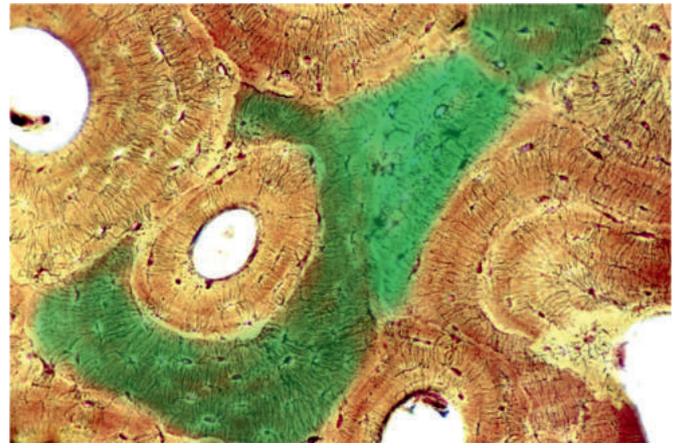
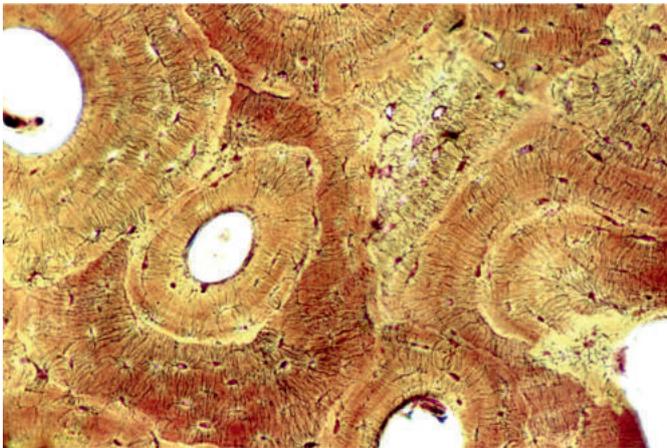
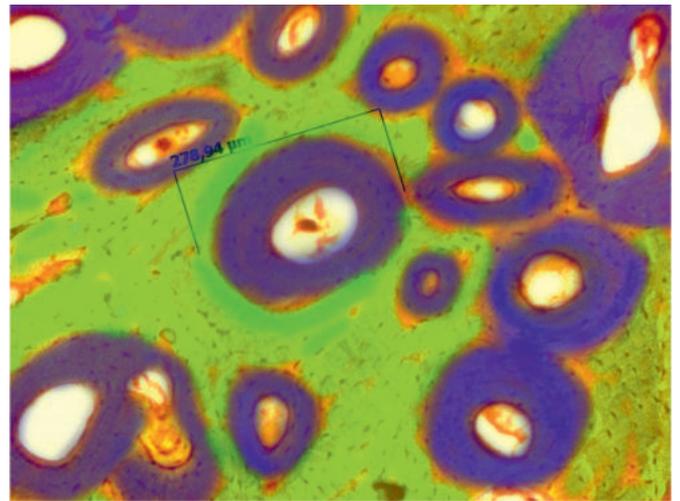
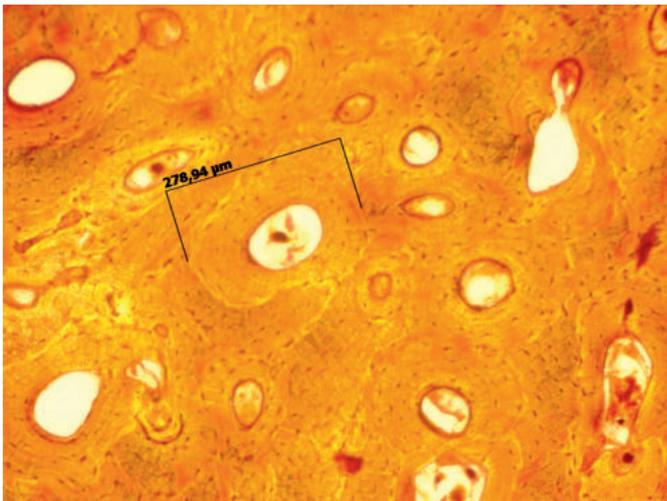


Lebenszyklus des Knochengewebes

Bei der Geburt sind nur wenige Knochenteile fertig angelegt (z. B. im Innenohr), fast alle anderen werden in der Wachstumsphase aus Knorpel oder Bindegewebe zum festen, lamellären Knochen umgebaut – indirekte Ossifikation. Das Knochenwachstum (modeling) wird in der Pubertät mit Verknöcherung der Wachstumsfugen abgeschlossen. Der alternde Knochen verliert durch Mineralverlust und Matrixalterung an Festigkeit und Elastizität: Er bricht leichter. Um dies einzudämmen, wird daher in regelmäßigen Abständen Knochensubstanz ausgetauscht. Täglich werden mehr als 400 mg Kalzium aus dem Knochen herausgelöst und pro Jahr 10 Prozent des Knochens abgebaut. Das bedeutet, dass das Skelett im Leben 3–4 Mal vollständig neu aufgebaut wird. Der Materialaustausch und Knochenumbau (remodeling) dient jedoch nicht allein der Anpassung und Gesamterneuerung, sondern auch der Reparatur eines gebrochenen bzw. angebrochenen Knochens. Dabei handelt es sich nicht nur um Ausheilung von Brüchen ganzer Knochen, sondern auch von Tausenden mikroskopisch kleiner Brüche der Knochenbälkchen „Mikrofrakturen“. Beweis für den stetig stattfindenden Knochenumbau sind die im mikroskopischen Bild zu sehenden Reste ehemals vollständiger Lamellen (Schaltlamellen) und kleine, am Beginn ihrer Entwicklung stehende Lamellen.

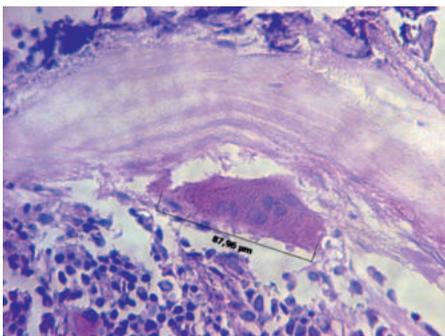


Zwei Schnittpräparate aus dem Lamellenknochen des Menschen. In den kolorierten Darstellungen ist der Knochenumbau grün markiert. Der zwischen den Osteonen liegende grün markierte Bereiche wird auch mit Schaltlamelle benannt.

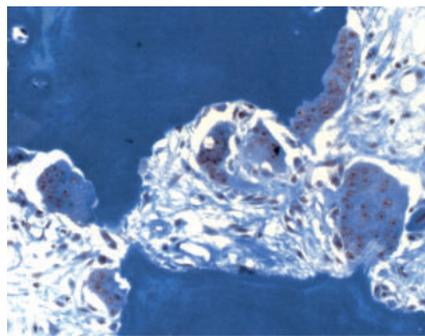
Osteoklasten

Osteoklasten bauen alten Knochen in nur wenigen Tagen ab. Die mehrkernigen Riesenzellen leiten sich von Zellen der Hämatopoese (Makrophagen) ab. Im Blut zirkulierende Monozyten können sich zu voll funktionsfähigen Osteoklasten differenzieren. Je nach Aktivität haben sie 6–30 Kerne und liegen in einer Resorptionslakune. Etwa ein Prozent der Knochenoberfläche ist mit Osteoklasten besetzt. Markant ist die stark gefaltete Zellmembran „ruffled border“ auf der zum Knochen gewandten Seite. Hier werden große Mengen proteolytischer Enzyme (Matrix-Metalloproteinasen, Kathepsine) und H^+ Ionen sezerniert, die die Mineralkristalle auflösen und die verbleibende Matrix verdauen. Das klassische Enzym der Osteoklasten ist die saure Phosphatase. Durch ihre katalytische Aktivität werden die Kristalle vom Kollagen getrennt und im sauren Milieu zu Kalzium und Phosphat aufgelöst.

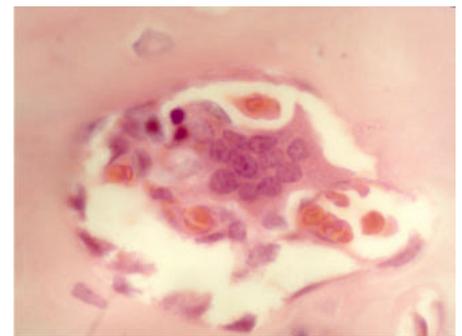
Die verbleibenden Kollagenfasern werden von Kollagenasen und Kathepsinen bei niedrigem pH-Wert zu Aminosäuren (Hydroxyprolin) verdaut. Osteoklasten besitzen im Zellkern Estrogenrezeptoren. Estrogene unterdrücken die Mobilisierung der Osteoklasten und lösen die Apoptose aus. Auf ihrer Zellmembran tragen Osteoklasten den Rezeptor (RANK, Receptor for Activation of Nuclear Kappa) über den sie durch den Ligand (RANKL) aktiviert werden können. Dieser Mechanismus hat eine Bedeutung beim Krankheitsbild der Osteoporose.



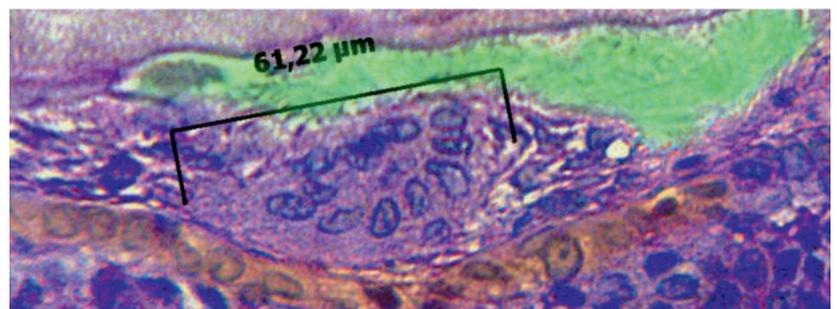
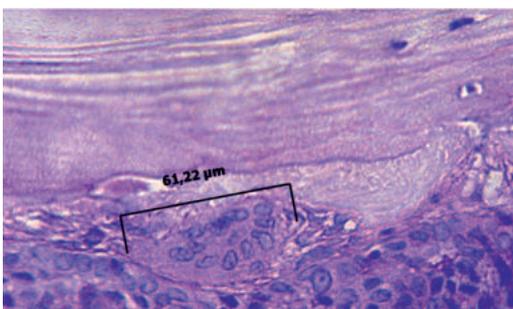
Präparat des Menschen nach PAS-Reaktion und Hämalaun.



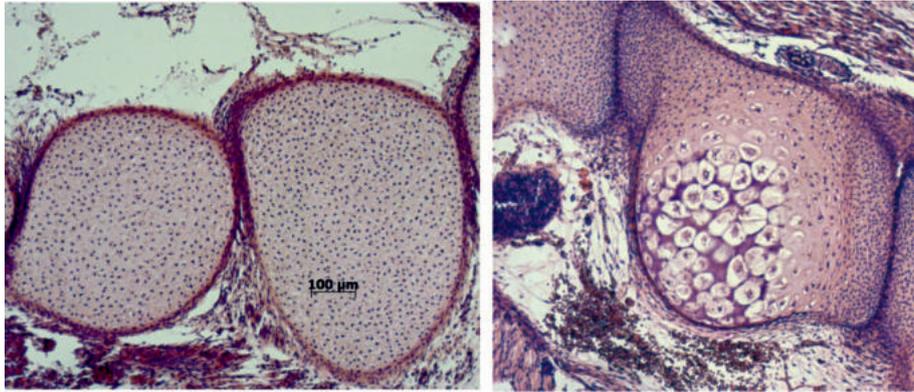
Gesteigerte Osteoklastenaktivität bei Morbus Paget des Menschen. Das Präparat ist mit Anilinblau und Eisenlack gefärbt.



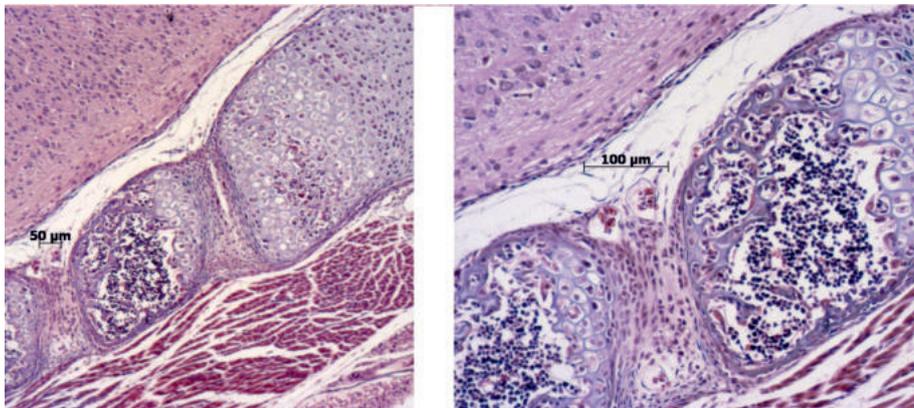
HE gefärbtes Präparat der Ratte.



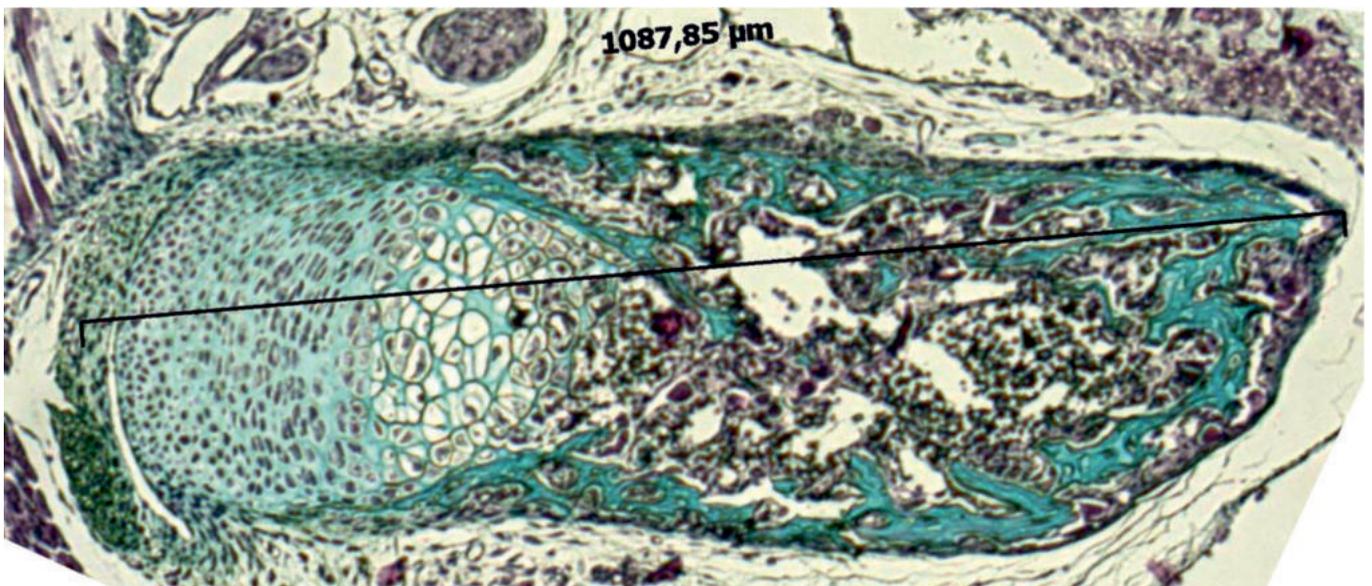
Präparat vom Menschen nach PAS-Reaktion und Hämalaun Gill. Farblich grün markiert ist das demineralisierte Knochengewebe in der Lakune. Gelb-braun sind Osteoblasten gekennzeichnet.



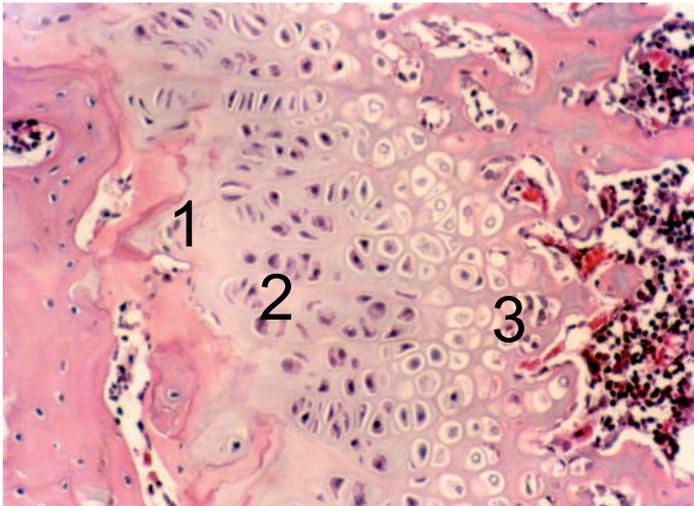
Desmale Knochenbildung beim Rattenembryo. In der linken Abbildung ist ein sehr frühes Stadium aus undifferenzierten Mesenchymzellen zu sehen. Rechts befinden sich die Zellen in der Proliferation zu großen Knochenvorläuferzellen mit einem hellen Zytoplasma. Das Präparat ist mit HE gefärbt.



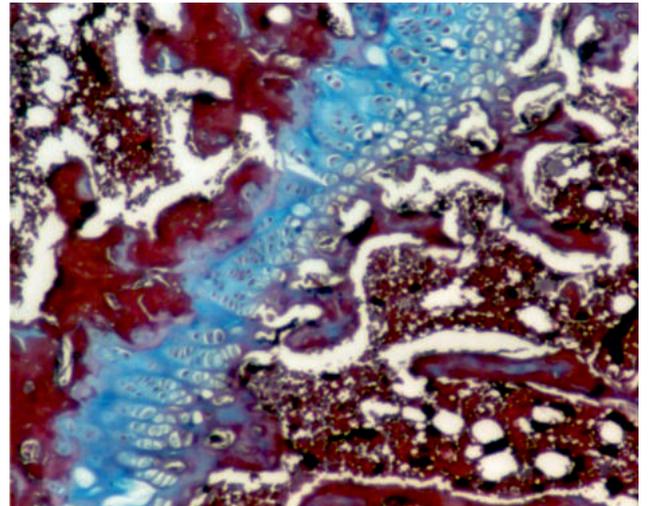
HE gefärbtes Präparat des Rattenembryos. Die Mesenchymzellen proliferieren zu großen Knochenvorläuferzellen und differenzieren sich im weiteren Verlauf zu Osteoblasten. Diese strukturieren sich zu den ersten Knochenbälkchen und schaffen die Räume für das blutbildende Knochenmark.



Goldner gefärbter Knochen eines Rattenembryos, an dem die Knochenbildung gut zu beobachten ist. Von links nach rechts entstehen aus Mesenchymzellen durch Zellteilung dem Knorpel ähnlichsehende Knochenvorläuferzellen. Diese lösen sich im Zentrum auf. Die randständigen Vorläuferzellen werden zu matrixerzeugenden Osteoblasten. Die Matrix ist an dem intensiv grünen Farbton zu erkennen. Das blutbildende Knochenmark ist bereits reichlich vorhanden.



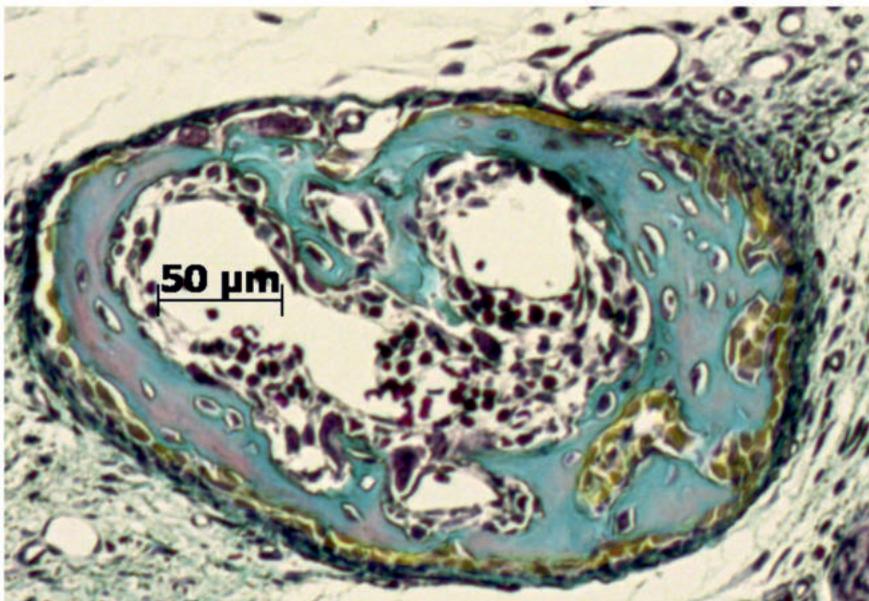
Epiphyse der Ratte mit HE gefärbt. Der embryonale Knorpel (1), Säulenknorpel (2) und Blasenknorpel (3).



Die Epiphysenfuge ist durch das Anilinblau der AZAN Färbung leicht zu erkennen.

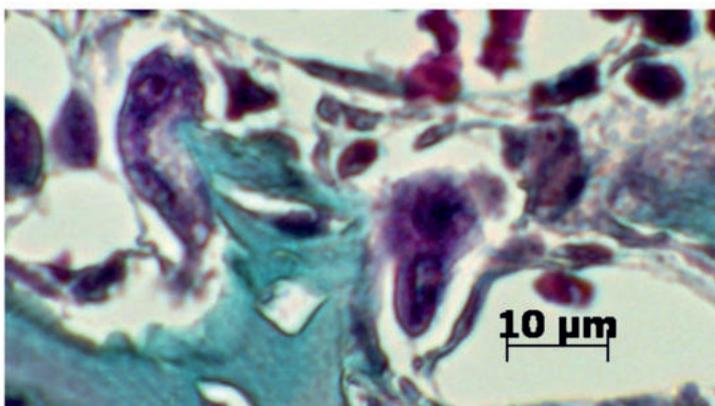
Dickenwachstum

Die Osteoblasten in der Cambiumschicht teilen sich. An der Innenseite wird das Knochengewebe durch Osteoklasten wieder abgebaut, so wächst die Markhöhle mit.



Knochenwachstum am Beispiel des Rippenknochens einer embryonalen Ratte kurz vor der Geburt. Das Präparat ist nach Goldner gefärbt und digital bearbeitet.

Dem Periost folgen zahlreiche Osteoblasten, die in der rechten Bildhälfte größere Gruppierungen bilden (gelb markierte Zellen). Die eingemauerten Osteozyten sind durch ihre hellen Höfe (Höhlen) gut differenzierbar.



Die Detailvergrößerung zeigt zwei Osteoklasten beim Abbau des Knochengewebes.