

2 Odontologische Grundlagen

2.1 Evolution der Zähne

Im Tierreich entwickelten sich »echte Dentinzähne« vor rund 380 Millionen Jahren (Devon) – mit den gnathostomen Wirbeltieren (Kiefermäulern oder Gnathostomata). Hierdurch erschlossen sich den Tieren ganz neue Möglichkeiten der Ernährung. Die Zähne der niederen Wirbeltiere (Fische und Reptilien) waren reihenförmig angeordnet, schmelz- und zementfrei sowie von gleicher Form (Homodontie). Die Tiere hatten viele Zähne, die kontinuierlich wechselten (Polyodontie sowie Polyphyodontie).

Die weitere Gebissentwicklung erfolgte in Abhängigkeit von der Ernährungsweise der Tiere. Die Zähne dienten dazu, das Futter einfach festzuhalten (Raubtiere) oder es entsprechend zu zerkleinern (frühe Fleisch- und Pflanzenfresser). Erst bei den ältesten Säugern des Mesozoikums (Trias, vor 245–208 Millionen Jahre) vollzog sich der Übergang von der Homodontie zur Heterodontie (Zähne diverser basaler Typen), und im Känozoikum (Tertiär, vor 65–2 Millionen Jahren) erfolgte die Differenzierung in Karni-, Herbi- sowie Omnivoren (Gängler u. Arnold 2005). Da bei einigen omnivoren Säugtieren die Mahlfunktion der Zähne verbessert werden musste, entwickelten sich aus den einzelnen Schmelzhöckern im Laufe der Zeit Schmelzfalten (Iophodonte Zähne). Bei den polylophodonten Zähnen, deren Okklusionsfläche durch tiefe Invaginationen des Schmelzes in den Dentinkörper noch komplexer aufgebaut ist, können

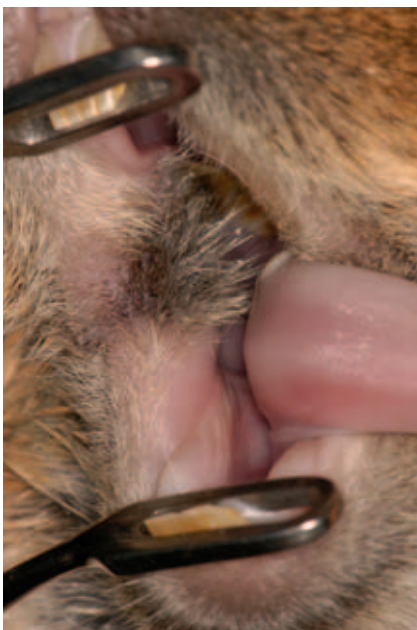


Abb. 2-1 Behaarte Wange eines Kaninchens (rechts).

diese primären Schmelzhöcker nicht mehr direkt nachgewiesen werden. Zu diesem großen Formenreichtum des Säugetiergebisses kam es durch den wesentlich höheren Energiebedarf der gleichwarmen Tiere, der sie dazu zwang, die Nahrung durch eine Steigerung der Kauleistung besser zu erschließen.

Das biologische Grundmuster der Odontogenese ist dabei eine Invagination des Mundhöhlenepithels mit einer anschließenden Differenzierung dieser Zahnleiste zu Adamantoblasten sowie einer Differenzierung des Ektomesenchyms zu Odontoblasten und Pulpazellen. Diese primitive Zahnanlage ist stets kuppelförmig. Im Verlauf der weiteren Entwicklung wird dieses Grundmuster bei den einzelnen Tierarten entsprechend modifiziert. Dabei hängt die sehr unterschiedliche Morphologie des Zahnes nicht nur von der Spezies ab, sondern auch von seiner Funktion im Gebiss (Schneide-, Nage-, Fang-, Stoß- oder Mahlzahn). Ausgewachsene Säugetiere besitzen vier verschiedene Zahnarten: Inzisivi, Canini, Prämolaren und Molaren. Beim Kaninchen und bei den Nagern fehlen die Canini, so dass nur zwei funktionell verschiedene Zahnarten vorliegen: die Schneide- und Backenzähne. Da die Prämolaren und Molaren morphologisch und funktionell gesehen bei diesen Tierarten prinzipiell gleich aufgebaut sind und die Zähne allein anhand ihrer Form kaum differenziert werden können, wird meist nicht mehr zwischen ihnen unterschieden (sog. Molarisierung der Prämolaren). Zwischen den Inzisivi und den Prämolaren liegt ein langer, zahnfreier Raum, das Diastema. Bei Hasenartigen und Nagern befindet sich hier eine Schleimhautfalte, die die intraorale Untersuchung oft behindert (**Abb. 2-1**).

2.2 Zahnanatomie und Nomenklatur

Um die tierartspezifische Anatomie sowie die diversen pathologischen Veränderungen an den Zähnen sowie am gesamten Gebiss der Hasenartigen und Nager besser verstehen und somit eine für die jeweilige Tierart geeignete Therapie wählen zu können, ist ein adäquates Grundlagenwissen erforderlich. Dieses ist oft entscheidend für eine erfolgreiche Behandlung von Malokklusionen, da die Zahn- und Kiefererkrankungen bei den verschiedenen Spezies stärker variieren, als man es vielleicht – ohne entsprechende Kenntnis – vermuten würde.

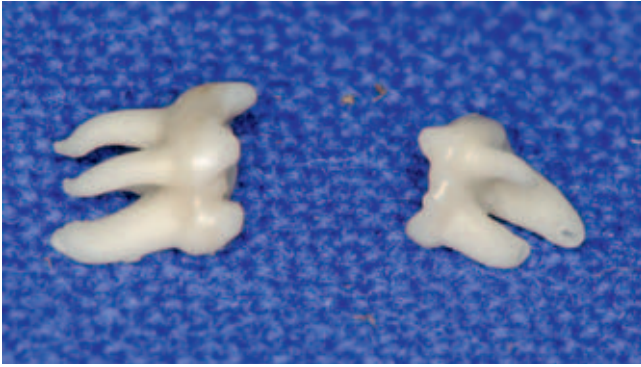


Abb. 2-2 Mehrwurzelige, brachyodonte Backenzähne einer ca. 3 Monate alten Ratte mit beendetem (M1 links) sowie weitgehend beendetem Zahnwachstum (M3 rechts); Differenzierung zwischen Zahnkrone mit den noch deutlich sichtbaren Höckern, Zahnhalss sowie Zahnwurzeln.

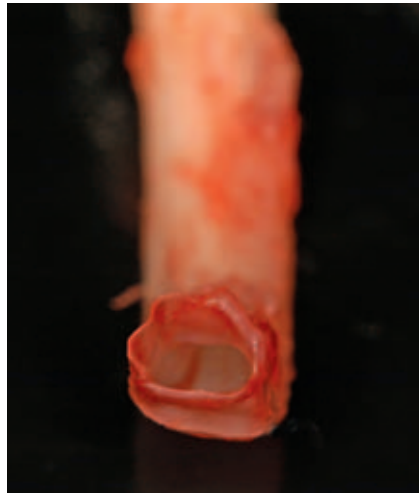


Abb. 2-3 Apex eines hypselodonten Schneidezahns bei einem Kaninchen.

Beim anatomischen Grundmodell eines Zahnes unterscheidet man zwischen der in die Mundhöhle ragenden **Zahnkrone** (Corona dentis) sowie der **Zahnwurzel** (Radix dentis) mit dem geschlossenen Foramen apicale und dem dazwischen liegenden **Zahnhalss** (Collum dentis) (**Abb. 2-2**). Elodonte, also lebenslang wachsende Zähne bestehen hingegen aus einem länglichen **Zahnkörper**, der sowohl extra- als auch intraalveolär einheitlich aufgebaut ist. Der **Zahnapex** bleibt ohne Ausbildung einer »Wurzel« lebenslang weit offen (aradikuläre Zähne) (**Abb. 2-3**). Das hier befindliche germinative Keimgewebe (Pulpa bzw. apikales Zahnsäckchen) produziert mit Hilfe der Adamantoblasten, Odontoblasten und Zementoblasten kontinuierlich neue Zahnschubstanz. Bei diesen Zähnen differenziert man zwischen der klinischen Krone sowie der Reservekrone. Die **Corona clinica** kennzeichnet den kleineren, außerhalb des Zahnfachs liegenden und somit sichtbaren Teil des Zahnes, wohingegen die **Corona reserva** den Hauptteil des Zahnes beschreibt, der subgingival und somit intraossär verborgen

liegt. Alternativ kann man auch vom extra- sowie intraalveolären Anteil des Zahnes sprechen. Beide zusammen bilden die lange anatomische Krone (**Corona anatomica**) oder den Zahnkörper (**Corpus dentis**).

Um eine Veränderung am Zahn oder Kiefer genau beschreiben zu können, bedient man sich in der Zahnmedizin einer speziellen Nomenklatur (**Tab. 2-1**). Mit deren Hilfe kann auch die Lagebeziehung eines Zahnes zu anderen Zähnen oder Strukturen innerhalb der Mundhöhle dokumentiert werden. So wird mit **okklusal** die Okklusionsfläche des Backenzahns bezeichnet (Facies masticatoria). Im Bereich der Inzisivi nennt man die Richtung zur Schneidefläche hin **inzisal**. Am Zahn selbst wird zwischen **koronal** (Ausrichtung zur Okklusionsfläche) und **apikal** (Ausrichtung zum Zahnapex) unterschieden. Alternativ zu apikal kann man bei wurzellosen Zähnen auch die Bezeichnung **basal** verwenden. **Lingual** bezieht sich auf den medialen Zahnbereich (Facies lingualis) bei allen Unterkieferbackenzähnen, wohingegen **palatinal** den inneren Bereich bei allen Oberkieferbackenzähnen bezeichnet (Facies palatina). **Bukkal** bezieht sich auf den entsprechenden äußeren Zahnbereich (Facies buccalis). Die äußere Fläche der Schneidezähne nennt man **labial** (Facies labialis). Eine Alternative zu bukkal sowie labial ist **vestibulär** (nahe dem Vestibulum oris = Bereich zwischen den Zähnen und den Lippen bzw. Wangen, sozusagen die Umschlagfalte). Die Bezeichnungen **approximal** und **interdental** kennzeichnen die Gebiete, wo benachbarte Zähne aneinanderstoßen. **Rostral** beschreibt ganz allgemein die kraniale Richtung am

Tab. 2-1 Ortsbezeichnungen am Zahn bzw. Kiefer.

Terminus	Beschreibung
okklusal	an den Backenzähnen auf der Okklusionsfläche
inzisal	an den Inzisivi zur Schneidefläche hin
koronal	am Zahn Ausrichtung zur Okklusionsfläche
apikal	am Zahn Ausrichtung zum Apex
basal	alternativ zu apikal bei wurzellosen Zähnen
lingual	medialer Zahnbereich bei den Unterkieferbackenzähnen
palatinal	medialer Zahnbereich bei den Oberkieferbackenzähnen
vestibulär	nahe dem Vestibulum oris = Bereich zwischen den Zähnen und den Lippen bzw. Wangen
approximal, interdental	Bereiche, wo benachbarte Zähne aneinanderstoßen
rostral, mesial	kraniale Richtung am Kiefer
distal	kaudale Richtung am Kiefer

Kiefer, wohingegen **distal** die kaudale Richtung markiert. Alternativ können auch die Begriffe **mesial** sowie **distal** verwendet werden. Sie werden hauptsächlich zur Beschreibung der Zahnflächen verwendet, die im Zahnbogen nach vorne – also zur Zahnbogenmitte bzw. zum inneren Schneidezahn hin – weisen oder von ihm weg, d.h. zum Kiefergelenk, zeigen (Baker u. Easley 2003).

2.3 Zahnaufbau

Prinzipiell bestehen die brachyodonten sowie hypselodonten Zähne der Hasenartigen und Nager aus denselben Substanzen wie die Zähne des Menschen bzw. anderer Säuger. Das sind Schmelz, Dentin, Zement und Pulpa (Keil 1966, Thenius 1989, Bishop 1995, Hillson 2005, Gorell u. Verhaert 2006) (**Abb. 2-4**).

2.3.1 Zahnschmelz

Der Zahnschmelz (*Substantia adamantina*, *Enamelum dentis*) besitzt weder eine Nerven- noch eine Blutversorgung. Er ist die härteste und am stärksten mineralisierte Substanz des Säugetierkörpers. Der dentale Schmelz besteht zu 96–99% aus anorganischem Material und ist azellulär; nur ca. 1% ist

organische Masse und Wasser. Die Druckfestigkeit wird für den Schmelz des menschlichen Zahnes mit 3000 N/mm^2 angegeben. Für die spezielle Härte verantwortlich ist Kalziumphosphat in Form von Hydroxylapatit-Kristallen, das von den **Adamantoblasten** (Ameloblasten, Ganoblasten, Enameloblasten) gebildet wird. Meist handelt es sich um Hydroxyl- oder Fluorapatit. Die einzelnen Apatit- oder Schmelzprismen, die länger sind als die der Knochen und des Dentins (ca. 1600 nm), sind durch eine Kittsubstanz fest und dicht miteinander verbunden. Dabei ist der Verlauf der Prismen bei diversen Tierarten recht unterschiedlich. Die Fortsätze der Ameloblasten werden als Tomes-Fasern bezeichnet; sie legen die genaue Verlaufsrichtung der Schmelzprismen fest. Der Zahnschmelz wird im Bereich des Apex durch das innere Schmelzepithel gebildet, eine einlagige Zellschicht aus Adamantoblasten. Diese schmalen, zylindrischen Zellen von hexagonalem Querschnitt liegen eng beieinander, und eine ihrer Schmalseiten steht mit dem neu entstehenden Schmelz in unmittelbarem Kontakt.

Die **Amelogenese** erfolgt über zwei Stadien: die Produktion sowie die Reifung der Matrix. Während der Produktion wird organische Matrix hergestellt, in die dünne Kristalliten inkorporiert werden. Diese Matrix hat die strukturellen Eigenschaften von vollständig mineralisiertem Schmelz, besteht aber zu je einem Drittel aus anorganischem Material, Proteinen und Wasser. Während der Reifung werden Wasser und Proteine entfernt, und der Umfang der Kristalle wird vergrößert. Endprodukt ist der reife Schmelz, bei dem die Schmelzprismen ca. $4\text{--}12 \mu\text{m}$ breit sind. Jeder Adamantoblast ist für ein bestimmtes Gebiet des Schmelzes verantwortlich (siehe Kap. 2-11, Schmelz- und Dentinhypoplasie).

Der Schmelz ist bei Nagern (mit Ausnahme des Meerschweinchens) durch Eisenoxide pigmentiert. Diese werden von den schmelzbildenden Zellen als winzige Körnchen in den Schmelz eingelagert. Darüber hinaus hat der Schmelz bei den Rodentia eine ganz spezielle Struktur, d.h. eine speziesspezifisch unterschiedliche und charakteristische Anordnung der Schmelzprismen. Hierdurch kann bei einer Vielzahl von Nagern anhand der Schmelzuntersuchung eines einzelnen Zahnes die genaue Nagerart bestimmt werden (sog. individueller Fingerabdruck). Hierbei wird der Aufbau der äußeren sowie inneren Schmelzlage beurteilt. Der unterschiedliche Verlauf der einzelnen Schmelzprismen sowie die Art und Menge der dazwischen liegenden Kittsubstanz sind für die Tierartbestimmung von entscheidender Bedeutung (Tomes 1882).

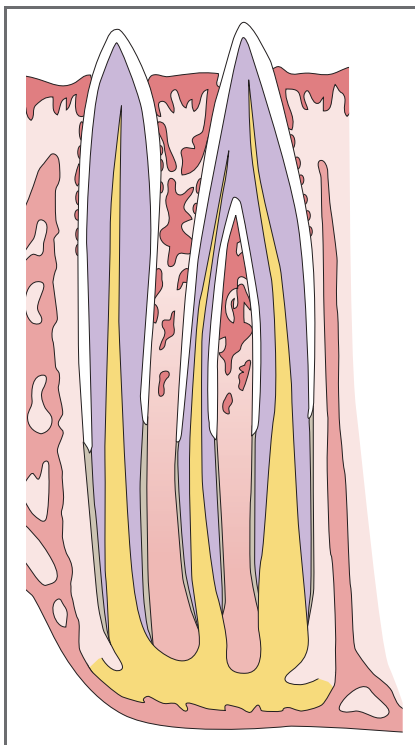


Abb. 2-4

Querschnitt durch einen trilophodonten, hypselodonten Backenzahn eines juvenilen Meerschweinchens (nach Kotanyi in Cohrs et al. 1958); gelb = Pulpa, lila = Dentin, weiß = Schmelz.

2.3.2 Dentin

Das Dentin (*Substantia eburnea*, *Dentinum dentis*) wird von den **Odontoblasten** gebildet und stellt die Hauptmasse und das Grundgerüst jedes Zahnes dar. Es ist nicht so hart wie der Zahnschmelz. Dentin besteht zu ca. 70 % aus anorganischem sowie zu etwa 18 % aus organischem Material (vorwiegend Kollagen); die restlichen 12 % sind Wasser. Die Druckfestigkeit oder Härte des Zahnbeins wird beim menschlichen Zahn mit 600 N/mm² angegeben. Der anorganische Anteil des Dentins besteht hauptsächlich aus Kalziumphosphat in Form von Hydroxylapatit-Kristallen, die in ihrer Struktur denen des Zements sowie des Knochens ähneln, jedoch dichter liegen. Die Hydroxylapatit-Kristalle sind kleiner und zierlicher als die entsprechenden Strukturen im Zahnschmelz; sie sind 20–100 nm lang. Die Kristalle sind in eine kollagene Matrix eingebettet, die ebenfalls dem Knochen ähnelt, jedoch keine Osteozyten, Osteoklasten oder Blutgefäße enthält.

Im Inneren des Zahnkörpers liegt die Pulpa, die außen von einer einlagigen Schicht aus Odontoblasten bedeckt ist. Diese sind – den Adamantoblasten ähnelnde – lange, schmale Zellen, deren pulpaabgewandtes, schmales Ende in stetigem Kontakt mit dem Prädentin steht, das von ihnen produziert wird. Die Odontoblasten bilden feine Ausläufer (Tomes-Fasern), die in dünnen Kanälchen (*Canaliculi dentales*) liegen und das Dentin radiär durchziehen. In unmittelbarer Nähe der Odontoblasten enthält das Dentin feine sensorische Nervenfasern, weshalb es hier auch eine gewisse Schmerzempfindlichkeit aufweist und somit ein vitales Gewebe darstellt. Bei den Schneidezähnen der Ratte bleiben die Nervenendigungen auf den Bereich der Pulpa beschränkt und ziehen nicht – wie bei den Backenzähnen des Kaninchens und anderer Tierarten – in die Dentinkanälchen hinein (Bishop 1995).

Die **Dentinogenese** findet in zwei Phasen statt. Während des ersten Entwicklungsschrittes wird organisches Material bzw. die Matrix gebildet (Prädentinproduktion), die aus Kollagen, Glykoproteinen sowie Glykosaminglykanen besteht. Anschließend werden Kristallite eingelagert (Mineralisation). Die Prädentinschicht liegt den Odontoblasten unmittelbar an, und erst ca. 10–40 µm tiefer befindet sich die eigentliche Mineralisationsschicht. Bei Zähnen mit einem beschränkten Wachstum (sog. wurzelige Zähne) unterscheidet man zwischen dem Primärdentin, das bis zum Abschluss des Wurzelwachstums gebildet wird, sowie dem Sekundärdentin, welches danach produziert wird – im Rahmen des physiologischen Alterungsprozesses eines Zahnes. Eine Tertiärdentinbildung wird durch einen Reiz ausgelöst, z. B. eine direkte Pulpenüberkappung. Eine dementsprechende Dentinbildung ist bei vitaler Pulpa lebenslang möglich.

Im Kieferknochen bildet das Dentin brachyodonter Zähne eine oder mehrere Wurzeln, die nach Abschluss des den-

talen Längenwachstums ein geschlossenes Foramen apicale aufweisen (z. B. Molar einer Ratte) (Abb. 2-2). Die Dicke des Sekundärdentins nimmt bei diesen Zähnen bis zur endgültigen Ausreifung des Zahnes kontinuierlich zu. Hierdurch werden die einzelnen, zunächst noch weiten Pulpahöhlen zunehmend enger. Demgegenüber weisen elodonte Zähne apikal stets nur eine sehr dünne Dentinschicht und somit scharfe apikale Kanten auf (Abb. 2-3). Jedoch wird das Zahnbein als Folge des kontinuierlichen Zahnwachstums koronal immer dicker. Odontoblasten bilden im Bereich des offenen Foramen apicale bzw. der Wand der entsprechenden Pulpenhöhle kontinuierlich neues, reguläres Sekundärdentin, das von innen schichtweise angelagert wird (kontinuierliche Apposition). Supragingival liegende, atubuläre Dentinschichten sind hierbei nicht mehr sensibel bzw. schmerzempfindlich, da die sensiblen Nervenfasern degenerieren und somit avitales Gewebe darstellen.

2.3.3 Zahnzement

Der Zahnzement (*Cementum dentis*, *Substantia ossea*) ist die weichste Substanz des Zahnes. Er wird von den Zementoblasten gebildet, ähnelt Knochengewebe und ist avaskulär. Zement besteht zu etwa 61–70 % aus mineralischen Substanzen (Kalzium und Phosphaten), zu 21–27 % aus Kollagen und zu 12 % aus Wasser. Auch hier wird zunächst Präzement (Zementoid) gebildet, bevor dieser später mineralisiert wird (Mineralisation). Zahnzement ist zwar knochenähnlich, besitzt aber keine Havers-Kanäle und ist daher kompakter als ossäres Gewebe. Da der Zement sowohl resorptive als auch reparative Prozesse am Zahn unterstützt, ist er ein äußerst wichtiger Bestandteil. Allerdings laufen Resorption und Aufbau deutlich langsamer ab als beim Knochen.

Bei Pflanzenfressern mit lebenslang wachsenden Zähnen liegt der Zement unmittelbar auf den äußeren Zahnflächen auf – als eine dünne, von apikal nach koronal reichende Schicht. Darüber hinaus füllt er als koronaler Zement die entlang der Zahnlängsachse in das Dentalgewebe ziehenden Schmelzfalten des äußeren Schmelzmantels aus. Der Zement kann dabei 20 µm oder mehrere Millimeter dick sein. Der Kronenzement unterscheidet sich strukturell vom normalen Zement.

2.3.4 Desmodont

Jeder Zahn liegt in einem Zahnfach (Alveole), in welchem er über den Zahnhalteapparat relativ fest im Kieferknochen verankert ist (thekodontes Gebiss). Das Desmodont (Zahn-