
IV. Ergebnisse

IV.1. Lichtmikroskopische Untersuchung: Granulationen beim Vogel

Eine Beurteilung der Untersuchungsergebnisse beim Vogel und ein Vergleich mit den Erkenntnissen bei Mensch und Säuger ist nur möglich, wenn man folgende Besonderheiten der Vogelanatomie berücksichtigt:

Ähnlich wie bei Säugetieren ist der Zusammenhang zwischen Hirn- und Körpermasse beim Vogel sehr locker. So hat z.B. ein Ara ein ebenso großes und schweres Gehirn wie der vielfach größere und schwerere Nandu und ein mehr als doppelt so schweres und großes Gehirn wie das etwa gleichschwere Huhn. Dessen Hirn entspricht in Größe und Gewicht, nicht aber in der Form dem einer Elster, die deutlich kleiner und leichter ist.

Die Form des Gehirns wird beim Vogel durch den meist dünnwandigen Hirnschädel vorgegeben. Bei der Präparation ließ sich feststellen, dass dieser wiederum in der Form sehr stark vom Gesichtsschädel abhängig ist, also von Sitz, Form und Größe des Schnabels und der Augen. Auch die Aufhängung des Schädels an der Halswirbelsäule und damit die Lokalisation des Eintritts des Rückenmarks in die Schädelhöhle beeinflusst die Form des Gehirns.

Schnabel und Augen sowie die Art, wie der Kopf auf dem Hals getragen wird, sind beim Vogel im wesentlichen durch die Lebensumstände und Art der Nahrungsaufnahme beeinflusst, wie man leicht beim Vergleich der Schädelform von z.B. Laufvogel – Sittich – Greifvogel – Specht feststellen kann.

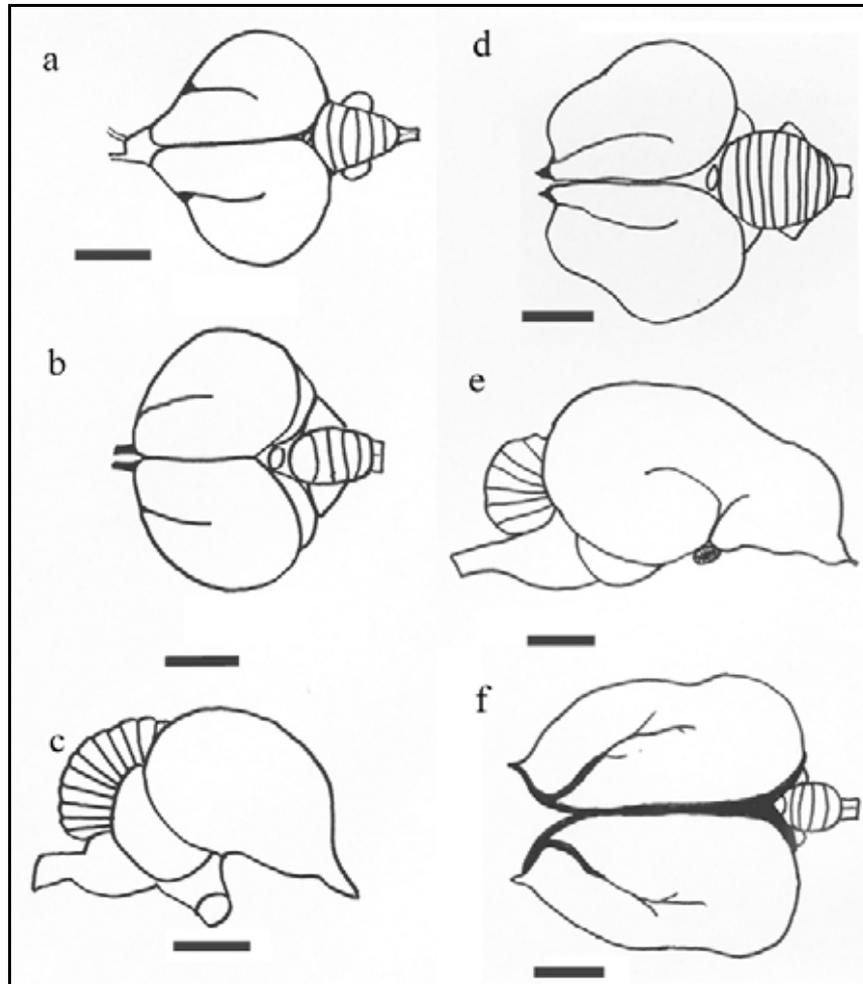


Abb. 8: Skizzen verschiedener Gehirne mit einem Maßstabsbalken von 1 cm. Beachte die Unterschiede der Formen und Größenverhältnisse der einzelnen Hirnabschnitte.

a Ente (*Anas platyrhynchos*), *b* Krähe (*Corvus corone*), *c* und *d* Weißstorch (*Ciconia ciconia*) von lateral resp. dorsal, *e* und *f* Ara (*Ara spec.*) von lateral resp. dorsal, *f* mit den sehr starken Vv. cerebrales dorsorostrales und dorsalem Sinussystem.

Damit variiert die Hirnform beim Vogel erheblich stärker als beim Säuger, bei dem das Neurocranium eine in der Form meist recht konstante Schädelhöhle aufweist. Einige Beispiele zeigt die Abb. 8, in der die Hirnformen einiger Vogelarten in einer maßstabsgetreuen Skizze zusammengetragen sind.

Eine Unterteilung des Materials nach Körpermasse oder auch Schädelgröße erscheint daher wenig sinnvoll. Es sollte beim Vogel stattdessen stets der Zusammenhang mit Hirngröße und -form gesucht und beurteilt werden. Dies ist der Grund, warum hier der Einfachheit halber der Begriff "Kleinvögel" für alle Vögel mit einer Hirngröße unterhalb der des Huhnes verwendet wird, "Großvögel" für alle, deren Hirngröße über der des Huhnes liegt.

Der Aufbau der Meningen des Vogels entspricht im Schädelbereich den Angaben in der Literatur. PACCHIONISCHE Granulationen konnten in dieser Untersuchung bei den verschiedensten Vogelarten nachgewiesen werden. Sie enthalten immer alle Bestandteile der Leptomeninge, also pia-arachnoideales Trabekelwerk, Arachnoidealgrenzschicht und Neurothel, und schieben sich stets direkt bis unter das Endothel eines Durasinus oder einer duralen Vene, ohne es zu durchbrechen. In Anhang 2 sind das Vorkommen und die Lokalisation der Granulationen aufgelistet.

IV.1.1. Vorkommen

PACCHIONISCHE Granulationen ließen sich bei allen Vogelarten nachweisen, deren Hirn größer als das eines Huhnes ist. Als Ausnahme unter den Großvögeln steht der einzige hier untersuchte Vertreter der Pinguine da, ein zwei Wochen altes Küken eines Königspinguins, bei dem keine Granulationen nachgewiesen werden konnten.

Die Kleinvögel bieten ein sehr heterogenes Bild: Bei den untersuchten Exemplaren aus den Ordnungen der Regenpfeiferartigen, Taubenvögel und Eisvogelartigen (aus diesen Ordnungen wurden zumindest zwei Vertreter untersucht), vielen Spezies der Singvögel und anderen Einzelexemplaren ließen sich keine Granulationen nachweisen. Dagegen wurden bei allen Sittichen (mit großen Vögeln wie Ara, Graupapagei oder Amazone und kleinen wie Wellensittich oder Lori), einem Mausvogel und einigen Singvögeln Granulationen angetroffen. Bei den Textorwebern fanden sich bei einer Henne gar keine, bei einer anderen sehr deutliche Granulationen. Dies war allerdings die einzige Spezies, die bei mehreren untersuchten Exemplaren in sich kein homogenes Bild aufwies.

Geschlechtsspezifische Unterschiede fielen nicht auf. PACCHIONISCHE Granulationen wurden bei allen Altersstufen nach dem Flüggewerden gefunden und waren bei alten Tieren auch nicht zahlreicher oder wesentlich größer als bei jüngeren. Bei den beiden Nestküken (Pinguin und Haussperling) wurden keine Granulationen gefunden.

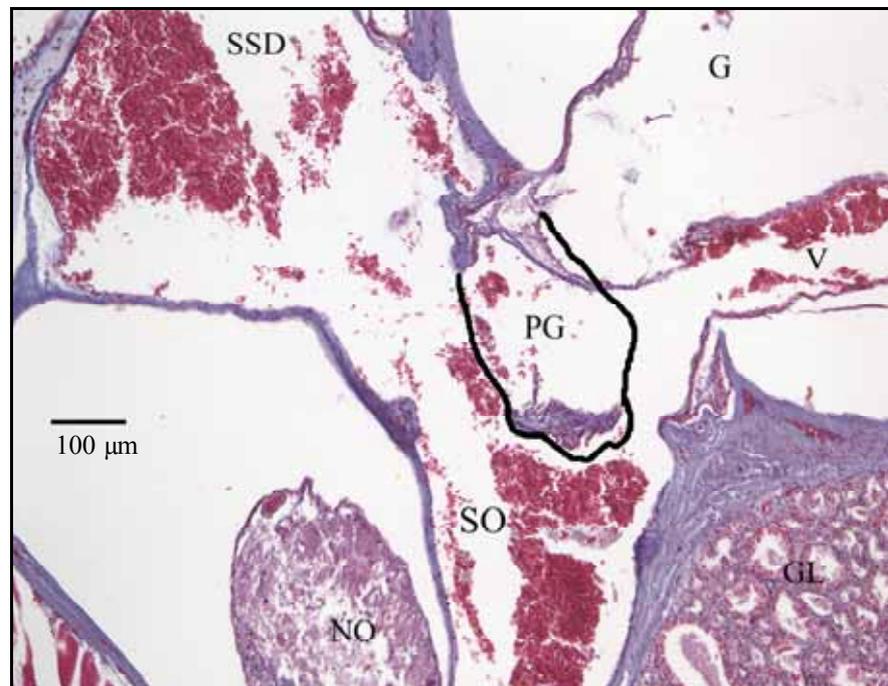


Abb. 9: Lageübersicht über die dorsorostralen Sinus im Querschnitt bei einem Wellensittich (*Melopsittacus undulatus*). Um die Lage der Granulation (PG) in Position 1 am Zusammenfluss verschiedener venöser Strukturen deutlich zu machen, wurde sie aus Schnittserien rekonstruiert und von Hand eingezeichnet. In diesem Präparat ist nur noch der Apex als Gewebestückchen angeschnitten. *G* Lage des Gehirns, *GL* Glandula lacrimalis, *NO* Nervus olfactorius, *SO* Sinus olfactorius, *SSD* Sinus sagittalis dorsalis, *V* Vena cerebralis dorsorostralis.

IV.1.2. Lokalisation

Alle in dieser Untersuchung gefundenen PACCHIONischen Granulationen stellten Vorwölbungen der Leptomeninx in einen Blutsinus der Dura mater dar. Leptomeningeale Ausstülpungen in durales Gewebe außerhalb von Blutsinus oder in subdurale resp. leptomeningeale Venen hinein wurden nicht gefunden.

Die Granulationen waren nie wahllos auf das Sinussystem verteilt, sondern wurden an bestimmten Orten angetroffen. Sämtliche Vogelarten, bei denen Granulationen nachgewiesen werden konnten, besaßen zumindest ein Paar davon an der Mündung der Sinus olfactorii (SO) in den Sinus sagittalis dorsalis (SSD) (Abb. 9). An gleicher Stelle mündet auch die paarige Vena cerebralis dorsorostralis in das Sinussystem. Der Stiel der Granulation saß meist dorsal der Basis des Bulbus olfactorius, der Apex ragte oft in den jeweiligen SO hinein und reichte bei einigen Exemplaren gelegentlich bis in den Sinus sagittalis olfactorius (SSO) (z.B. beim Phylbi-Steinhuhn, ohne Abbildung).

Der Abstand zwischen den Mündungsstellen von SO und Vena cerebralis dorsorostralis kann individuell unterschiedlich weit sein. Ist er sehr groß, kann an jeder Mündungsstelle eine eigene Granulation ausgebildet sein (eine Hausgans, Basstölpel, ohne Abbildung).

Bei allen Kleinvögeln mit Granulationen und vielen mittleren und großen Vögeln war dies die einzige Stelle, an der sich Granulationen nachweisen ließen. Sie soll im folgenden mit Position 1 bezeichnet werden.

Zusätzlich konnten bei verschiedenen Großvogelarten (z.B. Kronenkranich, Flugente, Wollkopfgaier) noch einzelne oder bilateral paarige Granulationen an anderen Orten nachgewiesen werden, die hier nach ihrer Häufigkeit aufgezählt werden sollen:

- Etwa auf halber Länge des SSD direkt caudal der Einmündung cerebraler Venen (Position 2, vier Fälle bei zwei Spezies)
- Bilateral in den Sinus transversi (ST) an der Mündung in den Sinus occipitalis (SOC) bzw. SSD (Pos. 3, drei Fälle bei drei Spezies); diese Granulationen lagen komplett in den ST, ragten also nicht in den SOC oder SSD vor.

- Im SSO kurz vor der Aufspaltung in die SO (Position 4, 2 Fälle bei 2 Spezies); hier saß die Basis der unpaaren Granulation ventral der Riechnervenausstritte aus dem Bulbus.
- Im SSD direkt rostral der Epiphyse, wo die Vene der Epiphyse und die ST münden (Pos. 5, 2 Fälle bei einer Spezies), mit der Basis der unpaaren Granulation rostral der Vene.

Die Granulationen befanden sich also überwiegend im dorsalen Sinussystem und immer an Stellen, an denen zwei Sinus in einen anderen münden oder eine große cerebrale Vene in das durale Sinussystem eintritt. An diesen Stellen ist ein Cavum leptomeningicum zwar vorhanden, aber nur sehr schwach ausgeprägt. Einen Überblick über die möglichen Lokalisationen für Granulationen im Sinussystem gibt die Abbildung 10.

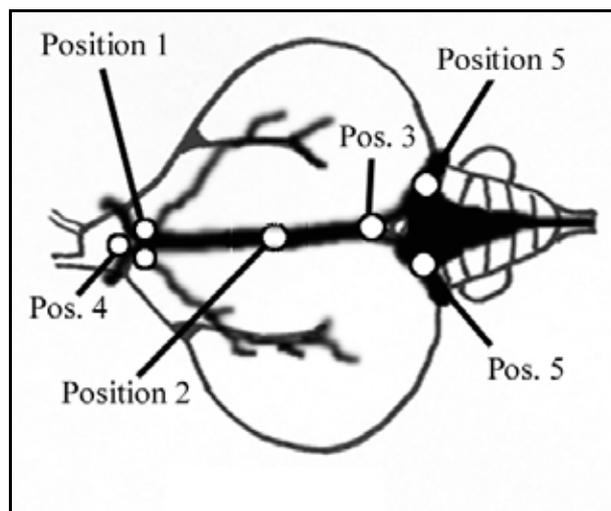


Abb. 10: Übersicht über die möglichen Positionen von Granulationen anhand der Skizze eines Entengehirns mit dem dorsalen Sinussystem. Position 1 und 5 sind paarig. Position 4 befindet sich auf der Ventralfläche des Gehirns. Die Skizze berücksichtigt weder die Größe noch die Häufigkeit von Granulationen.

IV.1.3. Größe, Aufbau und Form

a) Größe

Die gefundenen Granulationen waren in Abhängigkeit von der Hirngröße bzw. der Sinusdurchmesser zwischen 200 und über 1000 μm (im Durchmesser des Hauptkörpers) groß, lagen jedoch überwiegend zwischen 300 und 600 μm . Bei länglichen Granulationen wurde der Durchmesser, nicht die Längsachse gemessen.

Große Vogelarten können Granulationen besitzen, die das Sinuslumen vollständig ausfüllen (Abb. 23) und – mit dem Apex in Blutflussrichtung – nur ein spaltförmiges Lumen freilassen (s.u.).

Bei Kleinvögeln waren Granulationen nicht dicker als 500 μm und füllten die Sinus nur selten ganz aus. Auch bei ihnen ragte der Apex in Blutflussrichtung. Ein Wellensittich zeigte wesentlich kleinere Granulationen als seine Artgenossen; sie waren mit 200 μm die kleinsten gefundenen Granulationen und wölbten sich kaum in das Sinuslumen vor. Es wurden in keinem der untersuchten Individuen Zufallsanschnitte von kleineren Granulationen entdeckt.

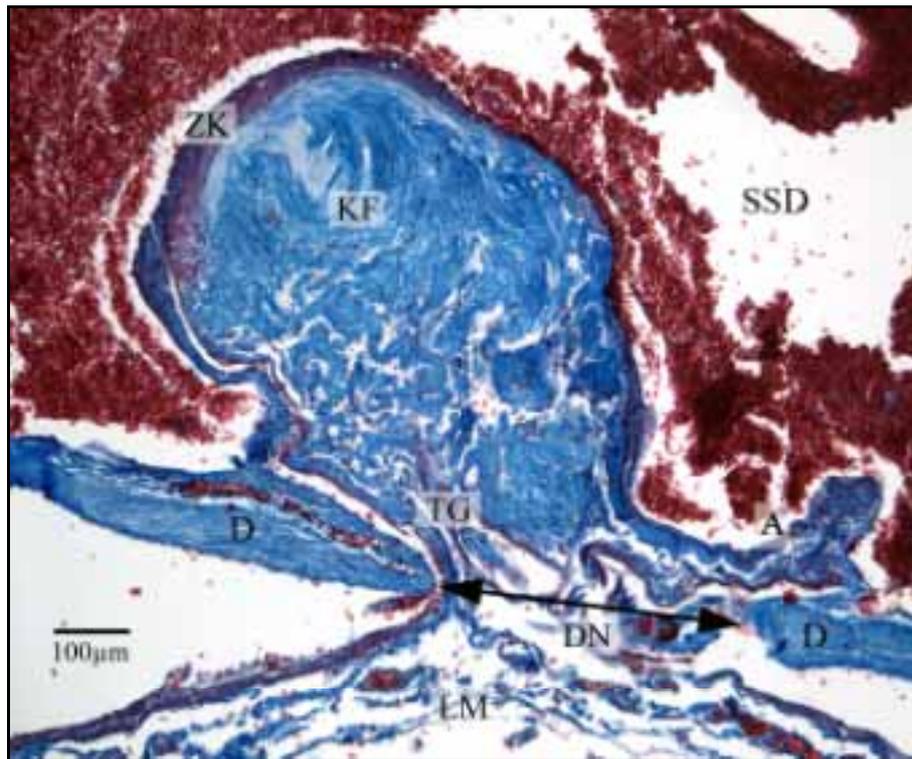


Abb. 11: Übersicht über eine Granulation in Position 1 bei einer Nilfuggans (*Alopochen aegyptiacus*). Diese Granulation zeigt sämtliche möglichen Bausteine in einem Querschnitt:

Die Leptomeninges (*LM*) durchbricht die Dura (*D*) unter Bildung eines Duranabels (*DN*) und setzt sich in den trabekulären Grundstock (*TG*) fort. Dieser bildet die Basis für eine massive Schicht dichten kollagenfaserigen Bindegewebes (*KF*), auf dem schließlich die Zellkappe (*ZK*) aufsitzt. Rechts neben dem Hauptkörper ist nach caudal eine Ausziehung der Granulation (*A*) zu erkennen. *SSD*: Sinus sagittalis dorsalis.

b) Allgemeiner Aufbau

Alle gefundenen Granulationen enthalten eine Basis aus pia-arachnoidalem Trabekelwerk, das die Dura mater unter Bildung eines unterschiedlich weitlumigen Duranabels durchbricht. Es besteht aus kollagenfaserigem Bindegewebe mit weiten, mesothelausgekleideten Spalträumen und einzelnen freien Bindegewebszellen. Es lässt sich nicht von dem Maschenwerk des Cavum leptomeningicum unterscheiden (Abb. 13/14) und kann bei großen Granulationen und einem weiten Duranabel gelegentlich Blutgefäße enthalten, die aus der Leptomeninx kommend den Grundstock der Granulation durchlaufen und wieder zurückkehren, ohne die Oberfläche zu durchbrechen (Abb. 12).

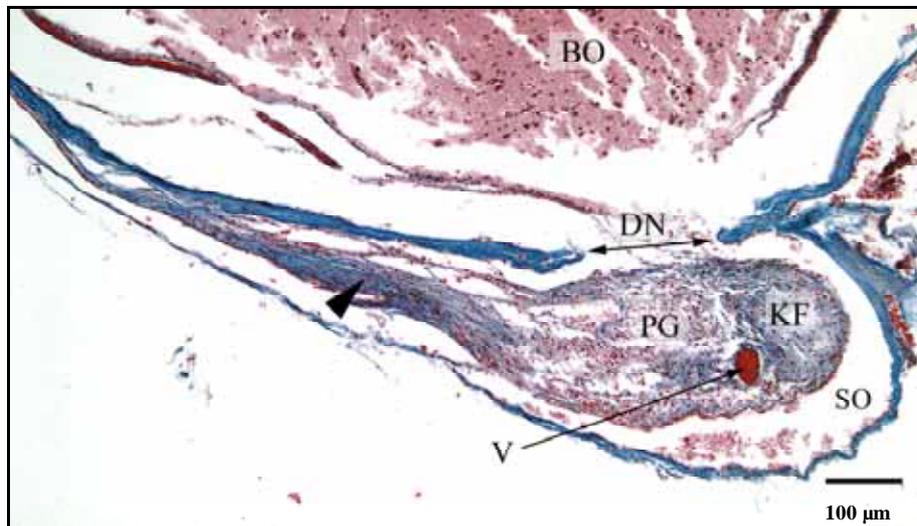


Abb. 12: Ungewöhnliche Granulation (*PG*) in Position 1 bei einem Katharina-Sittich (*Bolborhynchos lineola*). Der Duranabel (*DN*) ist deutlich zu erkennen; darüber ist das Bindegewebe der Granulation locker; der kollagenfaserige Apex (*KF*) liegt rechts im Bild und zeigt nach rostroventral; eine ebenfalls stark kollagenfaserige Ausziehung (*großer Pfeil*) schiebt sich nach caudodorsal unter das Endothel der Sinuswand und verschmilzt mit der Dura mater (*D*). Die Vene (*V*) stammt aus der Leptomeninx und konnte in Serienschnitten verfolgt werden, wie sie dorthin zurückzieht. *BO*: Bulbus olfactorius, *SO*: Sinus olfactorius.

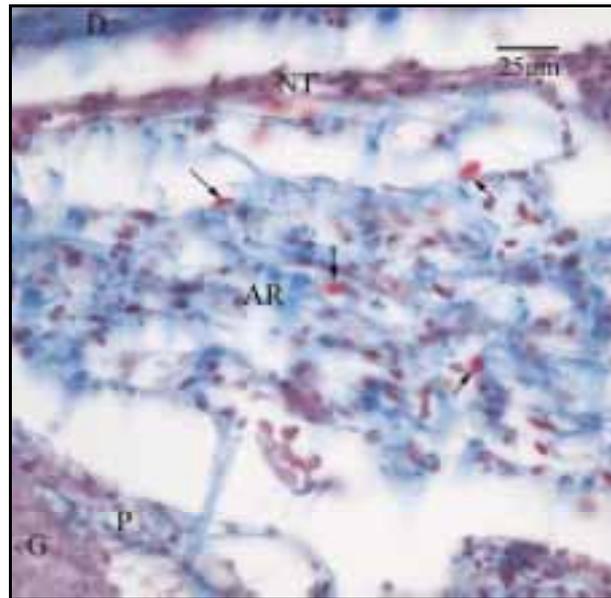


Abb. 13: Bindegewebe des Cavum leptomeningicum bei einem Nandu (*Rhea pennata*). *AR* arachnoidales Maschenwerk, *D* Dura mater, *G* Gehirn, *NT* Neurothel und Arachnoidea-Grenzschicht, *P* Pia mater. *Pfeile* einzelne Erythrozyten, schnitttechnisch in das Gewebe verschleppt.

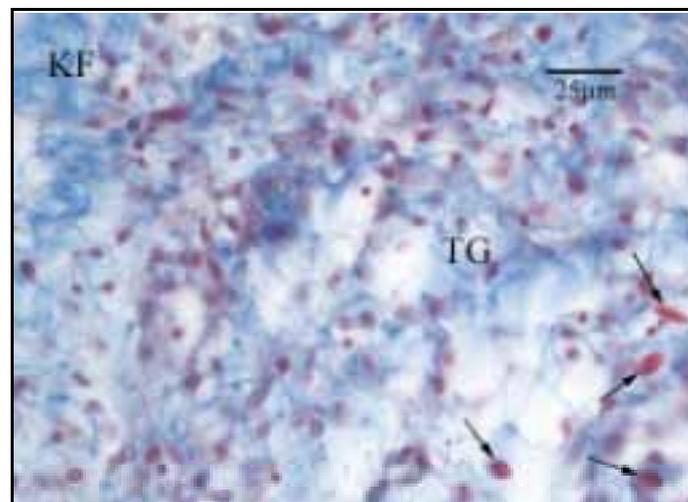


Abb. 14: Derselbe Vogel, trabekuläres Bindegewebe (*TG*) aus dem Kernstück einer Granulation. *KF* Kollagenfaseriges Gewebe zur Peripherie der Granulation, *Pfeile* versprengte Erythrozyten (s.o.).

Ebenso findet sich in allen Granulationen kompaktes kollagenfaseriges Bindegewebe in unterschiedlicher Schichtdicke (s.u.), das die Basis ummantelt. Es kann entweder zellreich und vergleichsweise faserarm sein (kleine Vögel, s.u.) oder relativ wenige Fibrozyten und viele Kollagenfasern enthalten (große Vögel, s.u.). In dieser Schicht kommen nur wenige oder gar keine freien Zellen vor.

Peripher sitzt diesem Bindegewebe die Arachnoideagrenzschicht, gefolgt vom Neurothel und schließlich dem Endothel der Blutsinus, auf. Arachnoideagrenzschicht und Neurothel sind unterschiedlich stark ausgeprägt und lassen sich nicht deutlich voneinander trennen. Sie bilden bei einigen Exemplaren eine vielschichtige Zellkappe, meist aber nur eine dünne Zelllage direkt unter dem Endothel. Das Endothel kann - unabhängig von Form und Größe der Granulation - langgestreckt mit ausgezogenen Kernen oder wellenförmig mit kugeligen Kernen sein bzw. Zwischenstufen annehmen, auch über verschiedenen Abschnitten derselben Granulation (Abb. 15/16). Es umfasst die Granulationen vollständig und kontinuierlich bis zum Duranabel, wo es sich auf der Sinuswand fortsetzt. Dadurch sind die meisten PACCHIONISchen Granulationen nur am Duranabel an die Unterlage angeheftet; bei wenigen sehr langgestreckten Granulationen (z. B. eine von zwei Amseln, Abb. 15, Sittich Abb. 12) ist allerdings unter lichtmikroskopischer Auflösung nicht zu erkennen, ob die Granulation mit ihrer Wandseite nur sehr dicht an der Sinuswand anliegt oder mit ihr verwachsen ist.

Granulationen können zwar den Gesamtdurchmesser eines Sinus ausfüllen, sind aber stets durch ein spaltförmiges Lumen von der gegenüberliegenden Wand getrennt (Abb. 23). Eine Anheftung der Granulationen an die gegenüberliegende Sinuswand wurde nicht gefunden – in Serienschnitten stellten sich derartige Gebilde stets als von Arachnoidea umgebene Riechnervenausstritte heraus, die von den ringförmigen Sinus olfactorii umgeben wurden.

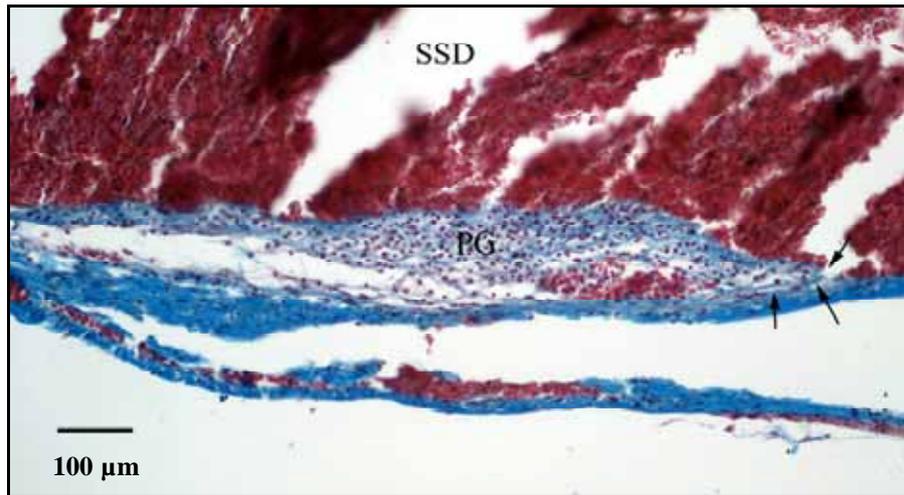


Abb. 15: Flach ausgezogene PACCHIONISCHE Granulationen (*PG*) einer Amsel (*Merula merula*) in Position 1 im Sinus sagittalis dorsalis (*SSD*). Die Granulation besteht aus zellreichem Bindegewebe. An dem vermuteten Apex (*Pfeile*) ist nicht zu erkennen, ob die Granulation der Sinuswand nur eng anliegt oder mit ihr verwachsen ist.

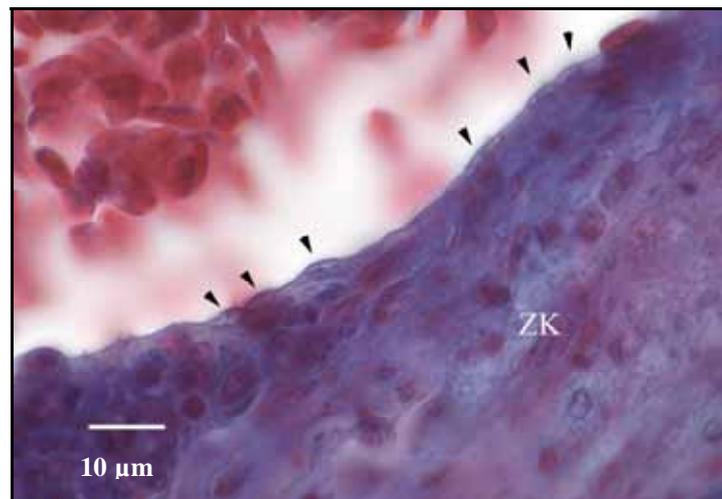


Abb. 16: Zellkappe (*ZK*) und Endothel (*Pfeile*) auf der Granulation einer Nilfluggans (*Alopochen aegyptiacus*). Die vielschichtige Zellkappe wirkt wie ein Epithelverband. Auf ihr sind die Endothelzellen langgestreckt ausgebreitet.

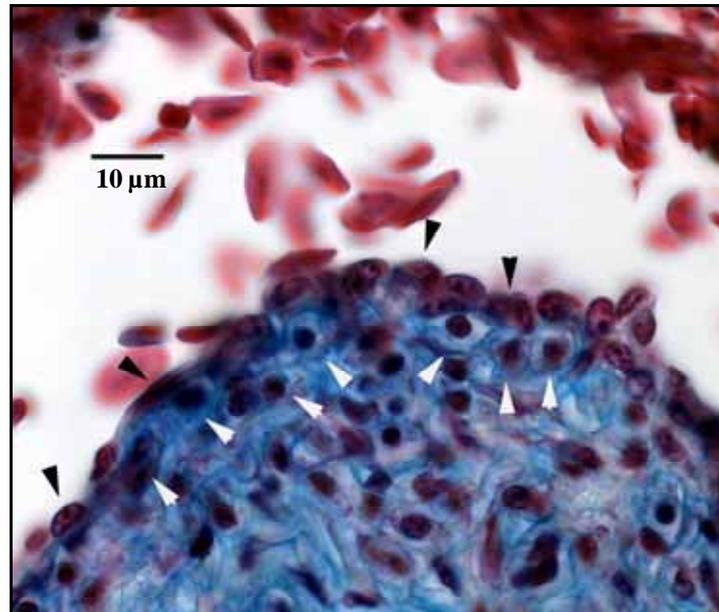


Abb. 17: Langgestreckte und kugelige Endothelzellen (*schwarze Pfeile*) auf der Granulation einer Mantelmöwe (*Larus marinus*). Sie werden von einer Reihe polygonaler Zellen unterlagert (*weiße Pfeile*), die aufgrund ihres Erscheinungsbildes der Arachnoideagrenzschicht zuzuordnen sind. Ob das Neurothel hier fehlt oder an der Zelllage beteiligt ist, kann lichtmikroskopisch nicht ermittelt werden.

Granulationen bestehen damit im wesentlichen aus 3 verschiedenen Bauelementen:

1. einem Kernstück aus dem Trabekelwerk des Cavum leptomeningicum,
2. einem Mantel aus kollagenfaserigem Bindegewebe, der kein Äquivalent in der Leptomeninx außerhalb der Granulationen besitzt, und
3. einer Zellschicht aus Arachnoideagrenzschicht und Neurothel.

Diese drei Schichten stellen spezielle Abwandlungen der Leptomeninx dar, die nur in Granulationen vorkommen. Sie können bei den verschiedenen Ordnungen, Spezies und Individuen unterschiedlich ausgeprägt sein und bestimmen so die spezielle Morphologie der Granulationen. Im folgenden werden sie mit

- **Stratum reticulare** für den trabekulären Grundstock,
- **Stratum fibrosum** für den kollagenfaserreichen Mantel und
- **Stratum cellulare** für die verschmolzenen Zellschichten aus Arachnoideagrenzschicht und Neurothel bezeichnet.

c) Formen von PACCHIONischen Granulationen

Obwohl alle Granulationen Leptomeninx enthalten, sind deren Anteile in unterschiedlichen Mengen vorhanden. Außerdem sind Stratum reticulare, fibrosum und cellulare in verschiedenen Ausprägungen und Kombinationen anzutreffen. Daraus ergibt sich eine Vielzahl möglicher Formen. Sie reichen von Zungen- oder Fingerformen bis Knopf- oder Pilzformen; die Granulationen können vielfach geteilt sein oder aus einem einzigen Hauptkörper bestehen, blumenkohlförmige oder glatte Oberflächen besitzen, sich durch einen weitlumigen Duranabel oder einen englumigen schieben, an langhalsigen Stielen oder direkt an der Sinuswand sitzen. Selbst bei einem Individuum sind nie zwei Granulationen baugleich. Trotzdem lassen sich bestimmte Muster finden, die sich – oft innerhalb einer zoologischen Ordnung – wiederholen.

Die bei Kleinvögeln zu findenden Granulationen sind meist zungen- oder fingerförmig (z.B. Wellensittich (Abb. 18, 19), Bartmeise (Abb. 20,21) oder Amsel (Abb. 15)) und bestehen überwiegend aus zellreichem Bindegewebe mit einem schwach ausgeprägten Stratum cellulare. Ein Stratum reticulare ist nur an der Basis ausgebildet, wobei der Duranabel meist sehr eng ist, so dass sich ein dünner Hals bildet. Das Stratum fibrosum besteht meist aus einem zellreichen Bindegewebe. Kollagenfasern sind oft gleichmäßig zwischen den Arachnoidalzellen verteilt; bei einigen Individuen ist jedoch eine ungleichmäßige Verteilung zu beobachten: Die Basis enthält ein zellreiches, faserarmes Bindegewebe, der Apex ist deutlich faserreicher und dichter (Abb. 17).

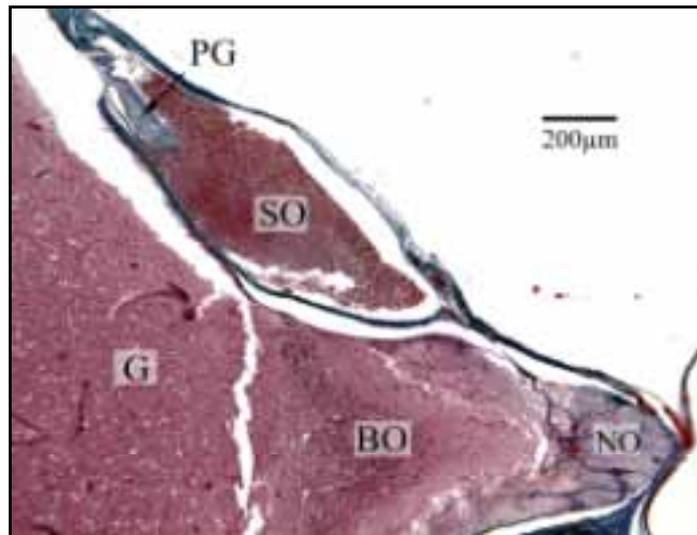


Abb. 18: Übersicht über die Lage einer Granulation (*PG*) in Position 1 bei einem Wellensittich (*Melopsittacus undulatus*). *BO*: Bulbus olfactorius, *G*: Gehirn, *NO*: Nervus olfactorius, *SO*: Sinus olfactorius.

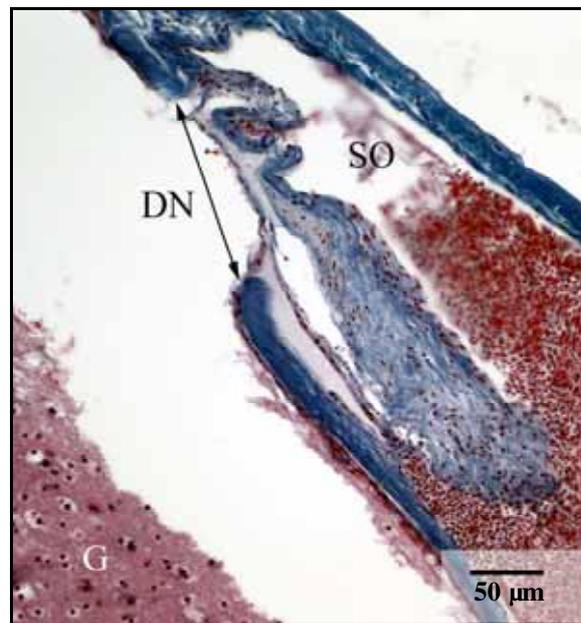


Abb. 19: Vergrößerte Ansicht der Granulation aus Abb. 18. Der Hauptkörper der Granulation ragt vom Duranabel (*DN*) zungenförmig in den Sinus olfactorius (*SO*) hinein. Er wird von einem zellreichen kollagenfaserigen Bindegewebe mit gleichmäßiger Faserdichte gebildet.

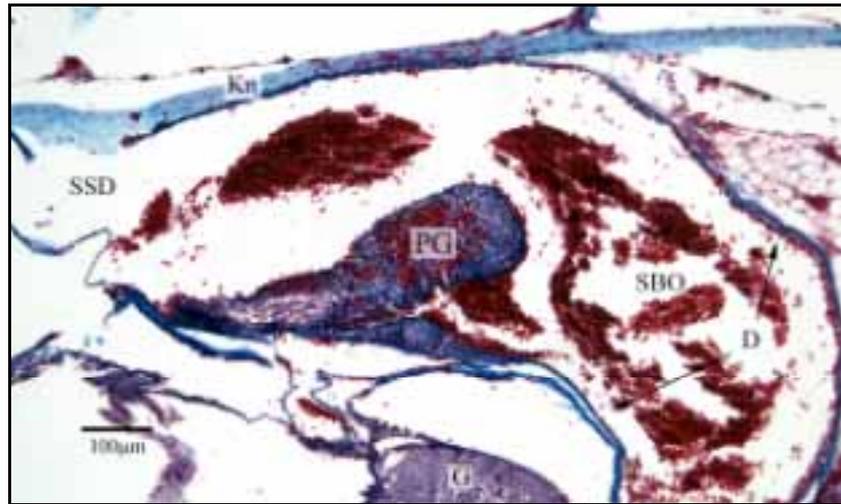


Abb. 20: Übersichtsaufnahme einer Granulation in Position 1 bei einer Bartmeise (*Panurus biarmicus*). Am Übergang vom Sinus sagittalis dorsalis (SSD) in den Sinus olfactorius (SO) sitzt die Granulation (PG). D: Dura mater, G: Gehirn, Kn: Knochen.

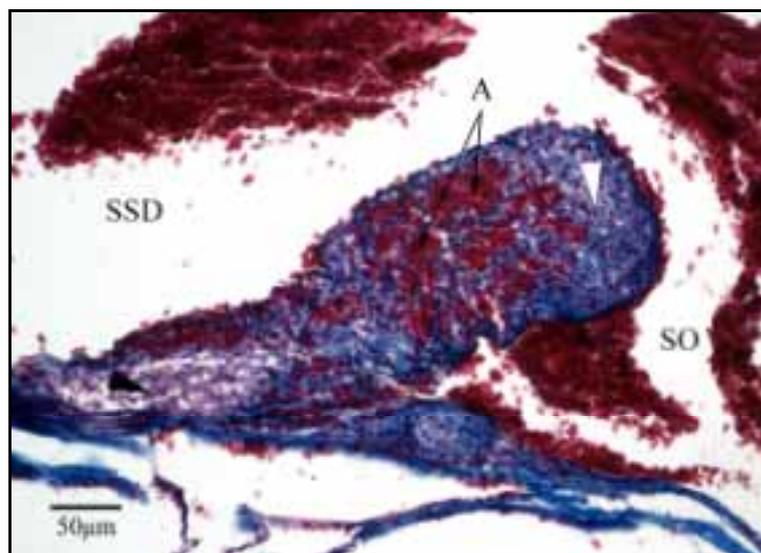


Abb. 21: Vergrößerte Darstellung der Granulation aus Abb. 20. Das lockere, zellreiche Bindegewebe der Basis (*schwarzer Pfeil*) verdichtet sich zum Apex hin (*weißer Pfeil*) und enthält dort deutlich mehr Fasern. A bezeichnet artefizielle Blutungen, wahrscheinlich aufgrund des bei diesem Tier diagnostizierten Schädeltraumas. SSD: Sinus sagittalis dorsalis, SO: Sinus olfactorius.

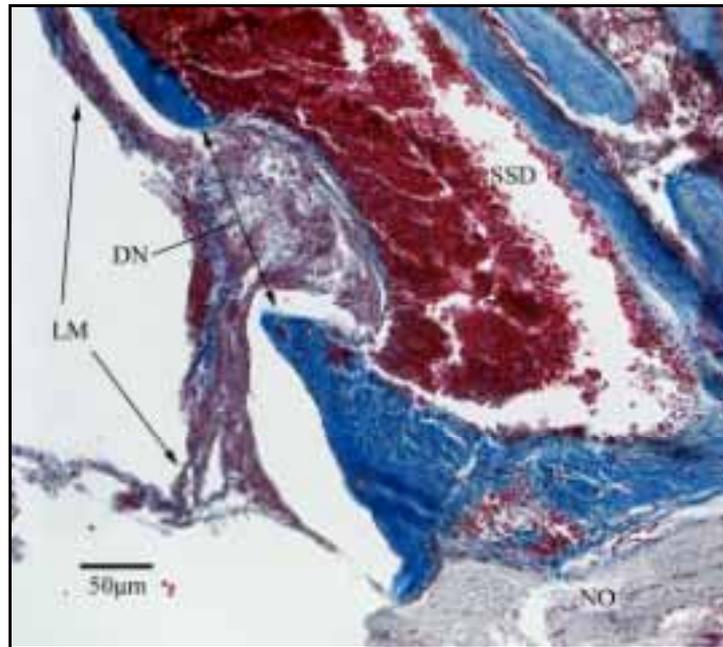


Abb. 22: Granulation in Position 1 bei einem Textorweber (*Textor cucullatus*). Die kleine Granulation wölbt sich pilzförmig über den Duranabel (*DN*) vor und besteht überwiegend aus zellreichem Bindegewebe; erst weit peripher zeigt die blaue Färbung das Überwiegen kollagener Fasern an. *LM*: Leptomeninx, *NO*: Nervus olfactorius, *SSD*: Sinus sagittalis dorsalis, hier am Übergang in den Sinus olfactorius.

Pilzförmige Granulationen werden bei den sehr kleinen Vogelspezies nur gelegentlich angetroffen (z.B. Textorweber, Abb. 22), sind bei den Rabenvögeln und den meisten Großvogelarten aber die Regel. Dort können sie den Sinus gelegentlich fast vollständig von Wand zu Wand füllen (Abb. 23).

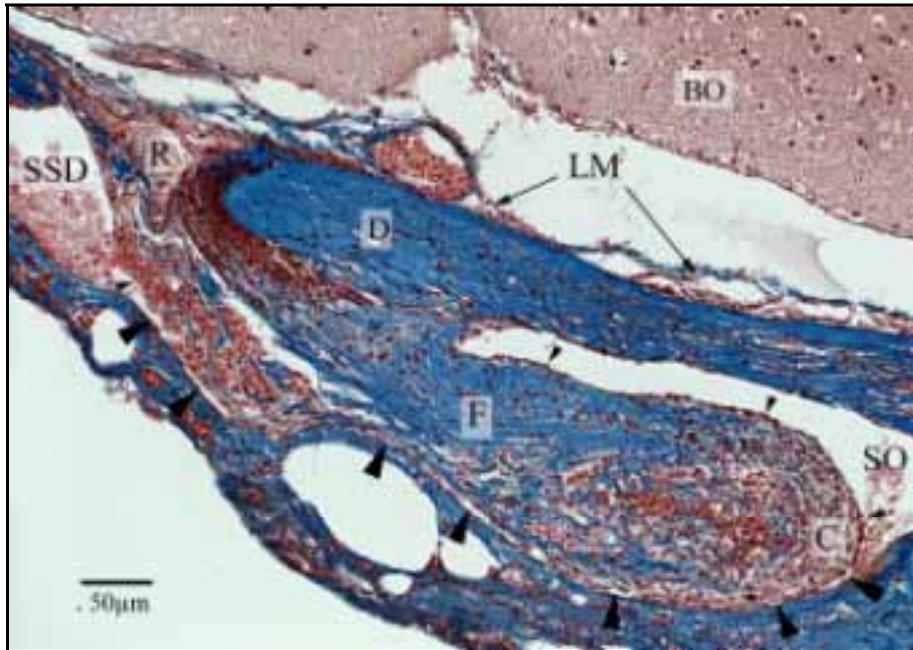


Abb. 23: Granulation einer Elster (*Pica pica*) in Position 1. Sie füllt den Übergang vom Sinus sagittalis dorsalis (SSD) in den Sinus olfactorius (SO) fast völlig aus. BO: Bulbus olfactorius, C: Stratum cellulare, D: Dura mater, DN: Duranabel, kleine Pfeile: Endothel; F: Stratum fibrosum, R: Stratum reticulare, LM: Leptomeninges, große Pfeile: spaltförmige Fortsetzung des Sinus.

Viele Großvögel, unter anderem alle untersuchten Exemplare aus der Ordnung der Gänseartigen, besitzen sehr große Granulationen ($>500 \mu\text{m}$). Viele von diesen großen Granulationen bilden neben einem pilzförmigen Hauptstück über dem Duranabel mehrere Ausziehungen, die zungen-, finger- oder blättchenförmig sein können (Abb. 11). Häufig senkt sich die Oberfläche zu tiefen Spalten ein, so dass ein blumenkohlartiges Bild entsteht.

Bei den Großvogelarten nimmt das Stratum reticulare in der Regel weniger als ein Drittel der Schnittfläche ein. Das Stratum fibrosum bildet meist einen kompakten, dicken Mantel aus kollagenem Bindegewebe. Es ist bei den Entenvögeln besonders ausgeprägt (Abb. 11, 29-34).

Nur wenige Großvögel (z.B. Nandu Abb. 24, Krähe Abb. 25/26, Schnee-Eule Abb. 27) zeigen ein weitmaschiges Trabekelwerk auf großen Teilen der Anschnittfläche.

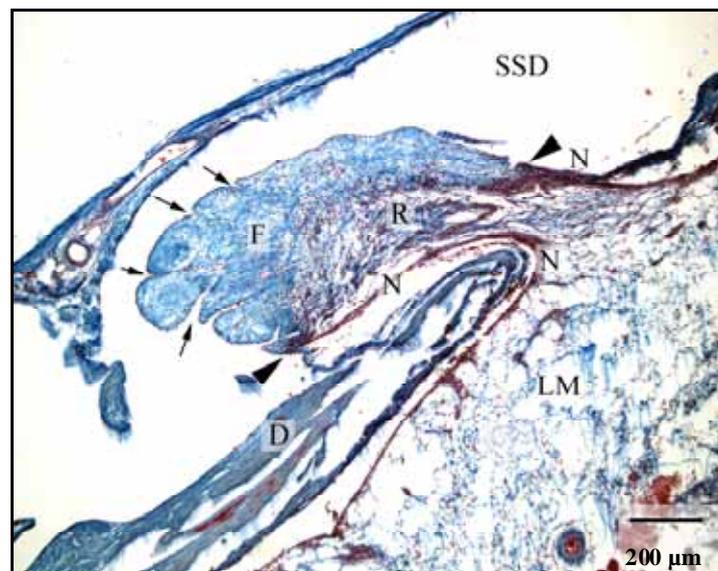


Abb. 24: Teilanschnitt im Bereich des Duranabels einer Granulation bei dem Darwin-Nandu (*Rhea pennata*) aus Abb. 13/14 in Position 1. Die gesamte Granulation ist deutlich größer. Die Leptomeninges (*LM*) wölbt sich unter Ausbildung eines großflächigen Stratum reticulare (*R*) in den Sinus sagittalis dorsalis (*SSD*) vor. Der Apex wird vom Stratum fibrosum (*F*) gebildet und erhält durch tiefe Einbuchtungen (*kleine Pfeile*) ein blumenkohlartiges Aussehen. Mehrschichtige Zelllagen aus Neurothel und Arachnoidalgrenzschicht (*N*) bilden über dem trabekulären Grundstock das Stratum cellulare, das am Übergang zum Stratum fibrosum (*große Pfeile*) endet oder einschichtig wird, so dass eine Zellkappe nicht ausgebildet ist. *D*: Dura mater.

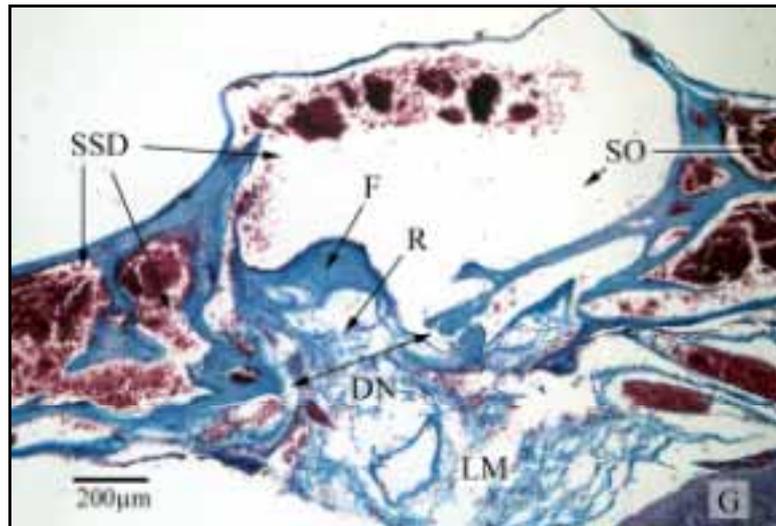


Abb. 25: Granulation in Position 1 bei einer Rabenkrähe (*Corvus corone*). Die hier an ihrem Duranabel (*DN*) angeschnittene Granulation sitzt wiederum im Übergang des Sinus sagittalis dorsalis (*SSD*) zum Sinus olfactorius (*SO*). Der Übergang ist durch die nahe seitliche Einmündung der Vena cerebri anterior superficialis erweitert. *G*: Gehirn, *LM*: Leptomeninx, *F*: Stratum fibrosum, *R*: Stratum reticulare.

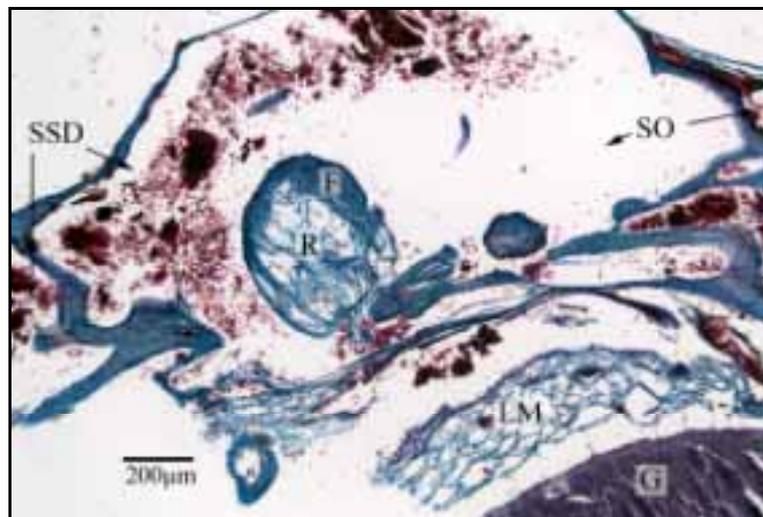


Abb. 26: Dieselbe Granulation wie in Abb. 25 etwa 40 µm weiter lateral. Auf dem ca. 2/3 der Schnittfläche einnehmenden trabekulären Grundstock (*R*) sitzt apikal eine Schicht kompakten Bindegewebes, das reich an kollagenen Fasern ist (*F*). *G*: Gehirn, *LM*: Leptomeninx, *SO*: Sinus bulbi olfactorii, *SSD*: Sinus sagittalis dorsalis.

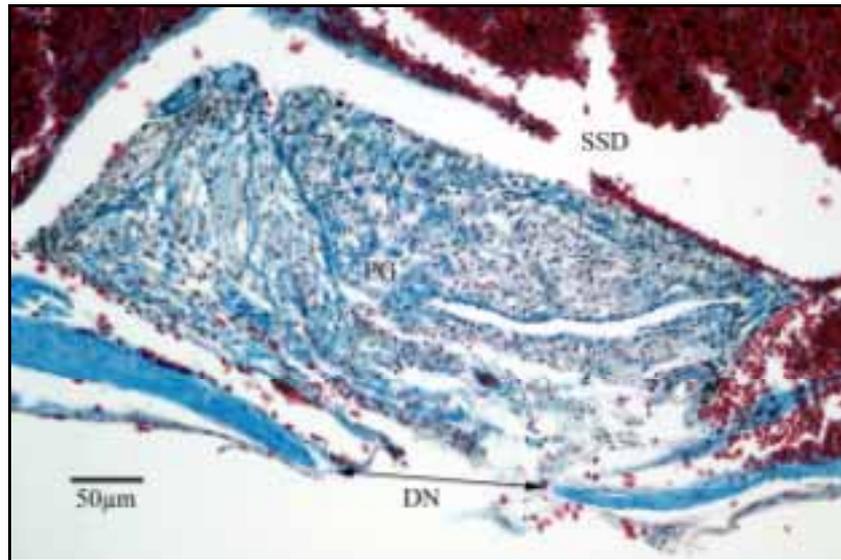


Abb. 27: Die Granulation (*PG*) einer Schnee-Eule (*Nyctea scandiaca*), quer geschnitten im Bereich ihres Duranabels (*DN*) (Pos. 1). Die Granulation besteht fast völlig aus dem leicht gefügten zellreichen Bindegewebe, das sonst für den trabekulären Grundstock typisch ist, und zeigt reichlich Spalträume. *SSD*: Sinus sagittalis dorsalis.

Die Begrenzung zum Endothel des Durasinus bildet das Stratum cellulare aus Arachnoideagrenzschicht und Neurothel, welche lichtmikroskopisch nicht voneinander zu trennen sind. Eine ausgesprochene Zellkappe ist nur bei wenigen Exemplaren ausgebildet (Abb. 11, 28). Ist sie vorhanden, bilden ihre Zellen einen epitheloiden Verband, der große Teile der Oberfläche der Granulation mauerartig überzieht. Meist sind allerdings nur ein bis zwei Zellreihen direkt unter dem Endothel erkennbar (Abb. 17). In einigen Fällen wird nur der vom trabekulären Grundstock gebildete Hals der Granulation von mehreren Lagen eines epitheloiden Zellverbandes umfasst, während über dem faserreichen Apex Arachnoideagrenzschicht und Neurothel auf eine oder gar keine durchgängige Zellschicht reduziert sind (Abb. 24).

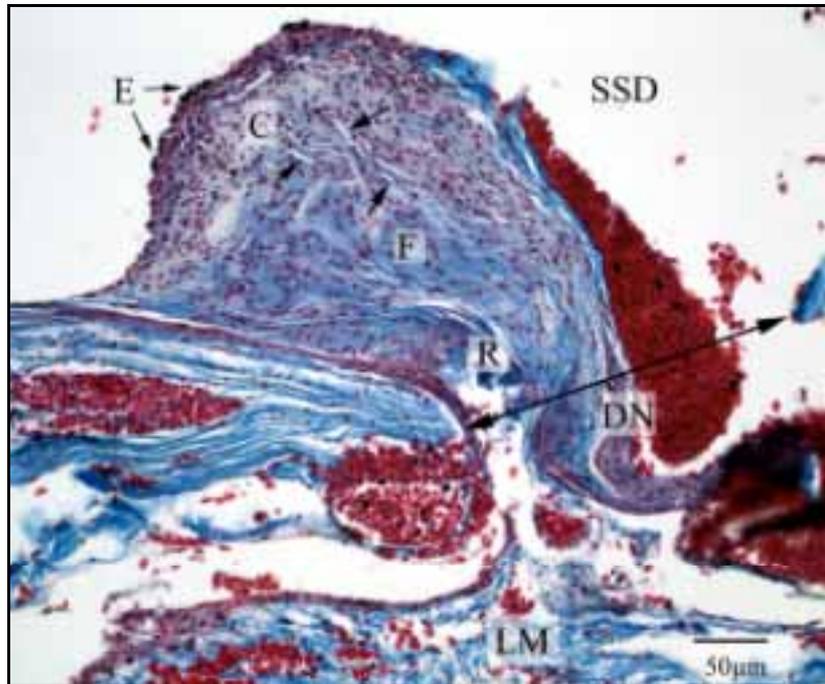


Abb. 28: Granulation in Position 1 bei einer Gelbstirn-Amazone (*Amazona ochrocephala*). Der Duranabel (*DN*) ist relativ weit, der Kern aus dem Stratum reticulare (*R*) klein. In der Granulation sind einige deutliche Interzellularrspalten ausgeprägt (*Pfeile*). *E*: Endothel, *F*: Stratum fibrosum, *SSD*: Sinus sagittalis dorsalis, *C*: das Stratum cellulare bildet eine Zellkappe.