
Als weiteres Kriterium zur Einteilung der Granulationen kann man die Relation zwischen der Granulationsoberfläche und dem Endothel des Sinus durae matris heranziehen:

Die Oberfläche der Granulationen ist rundherum mit Endothel bedeckt, da sich die Granulationen in das Lumen des Blutleiters vorschieben und dabei das Endothel des Sinus nicht durchbrechen. So werden sie von allen Seiten von Blut umspült. In einigen Fällen jedoch erreicht die Granulation so große Ausmaße, dass sie bis an die äußere Wand des Sinus reicht und das Lumen des Sinus dabei regelrecht verlegt. Dabei ragt die Granulationsoberfläche bis an die äußere endothelausgekleidete Wand des Sinus heran, wobei die von "innerem" Endothel bedeckte Granulationsoberfläche und das "äußere" Endothel des Durasinus aufeinander liegen, ohne eine Verbindung einzugehen (Abb. 35).

Abweichend von der Norm, kann es im seltenen Fall vorkommen, dass die Granulation die äußere Wand des Sinus durchbricht. Das Innere der Granulation wächst in die tieferen Schichten der Dura mater hinein und die Gefäße und Nerven des Cavum subarachnoideale der Granulation dringen bis in die Dura mater vor (Abb. 36). Auf diese Weise können Granulationen durch die Dura mater hindurch bis an das Periost des Schädels heranreichen.

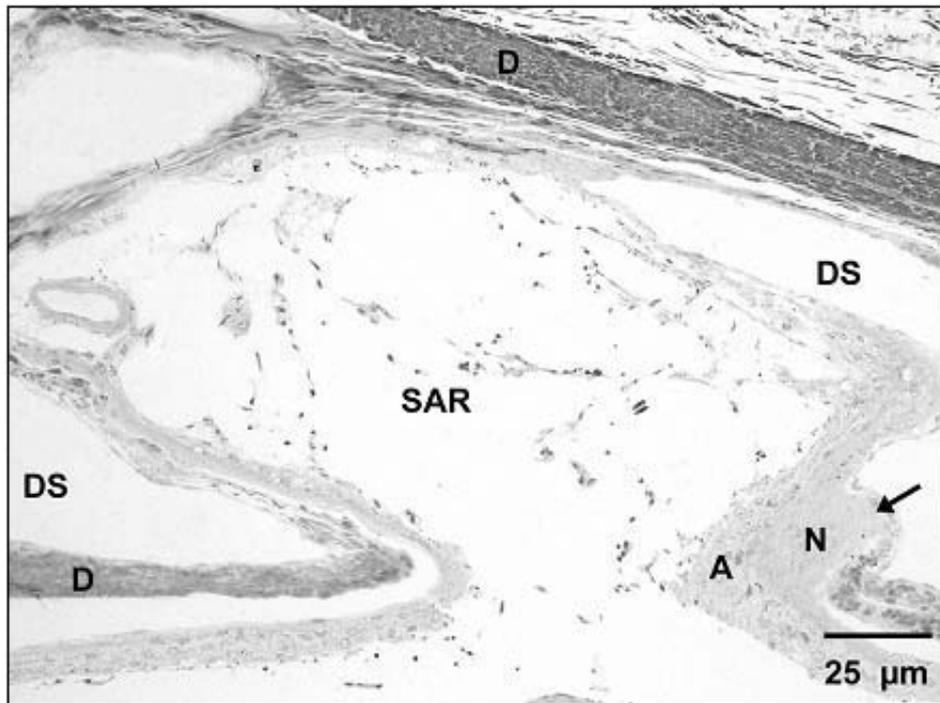


Abb. 35: Kontakt Granulationsoberfläche-Dura mater (Semi-Dünnschnitt, Methylenblau). SAR Subarachnoidalraum, A Arachnoidea, N Neurothel, D Dura mater, DS Durasinus, Pfeil: Neurothelverdickung

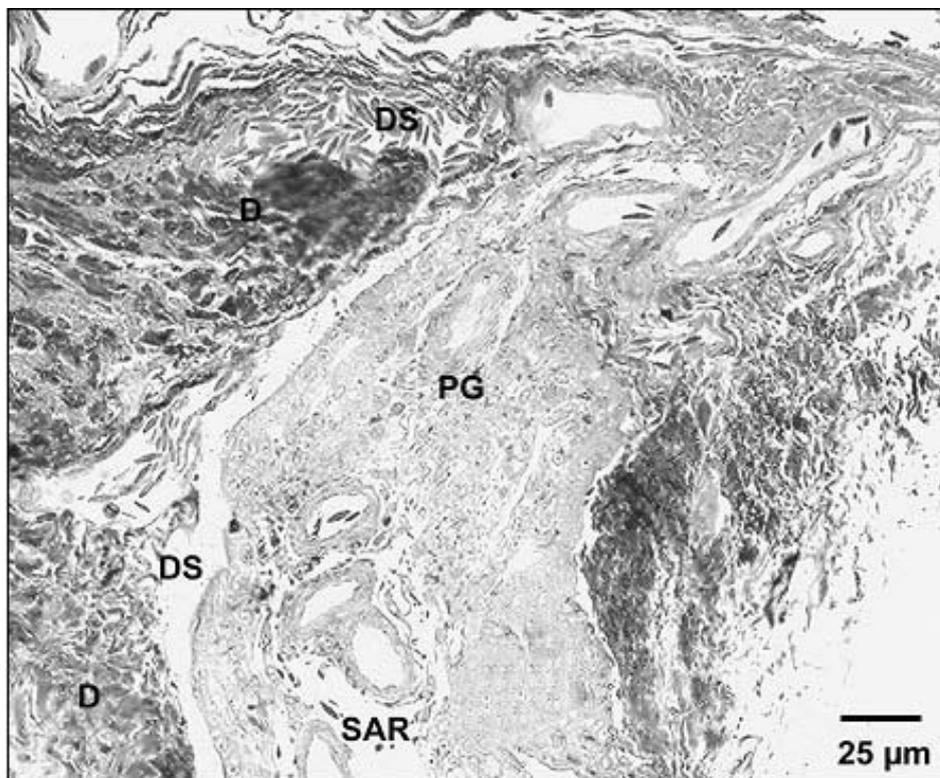


Abb. 36: Kontakt Granulationsoberfläche - Dura mater (Semi-Dünnschnitt, Methylenblau). Durchbruch der Granulation in die Dura mater encephali. SAR: Subarachnoidalraum, D Dura mater, DS Durasinus, PG Pacchionische Granulation

Die rasterelektronenmikroskopische Untersuchungstechnik an aufgebrochenen Präparaten ermöglicht einen dreidimensionalen Einblick in das Granulationsinnere. Im Zentrum der Granulationen stellen sich unterschiedlich große Hohlräume dar, die Anteile des Cavum subarachnoidale repräsentieren. Zur Peripherie hin wird die Granulation kompakter, obwohl weiterhin feine Hohlräume bestehen bleiben (Abb. 37). Diese peripheren Hohlräume können durch den Vergleich zwischen Raster- und Transmissionselektronenmikroskopie den weiten Interzellularspalten der retikulären Arachnoidea zugeordnet werden. An die peripheren Hohlräume der retikulären Arachnoidea schließen sich nach außen hin die Arachnoideagrenzschicht und das Neurothel an. In den beiden äußeren "Schichten" der Granulation sind aufgrund des schon beschriebenen Charakters der beiden Gewebsschichten keine Hohlräume zu finden.

Wie aus Abbildung 38 deutlich hervorgeht, ist das Innere der Granulation genau so mit einem feinen Maschenwerk aus Fibrozytenfortsätzen durchsetzt wie in den übrigen Abschnitten des Cavum subarachnoidale. Die elektronenmikroskopischen Abbildungen 39 und 40 zeigen, dass sowohl große gemischte Nerven (Abb. 39), als auch kleine marklose Nerven (Abb. 40) das Cavum subarachnoidale innerhalb der Granulationen durchziehen. Besonders deutlich sind in Abbildung 40 die *small dense core vesicles* zu erkennen, die typischer Weise bei noradrenergen Nervenfasern anzutreffen sind. Die Arachnoideagrenzschicht der Granulationen ist, wie in den übrigen Abschnitten der weichen Hirnhäute, besonders stark Vimentin-positiv, während die retikuläre Arachnoidea und die Fibrozytenfortsätze des Cavum subarachnoidale nur schwach und das Neurothel gar nicht mit dem Antiserum reagieren.

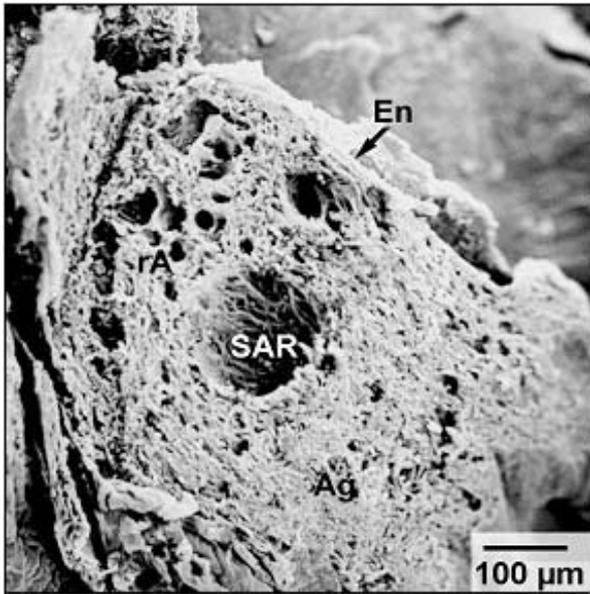


Abb. 37

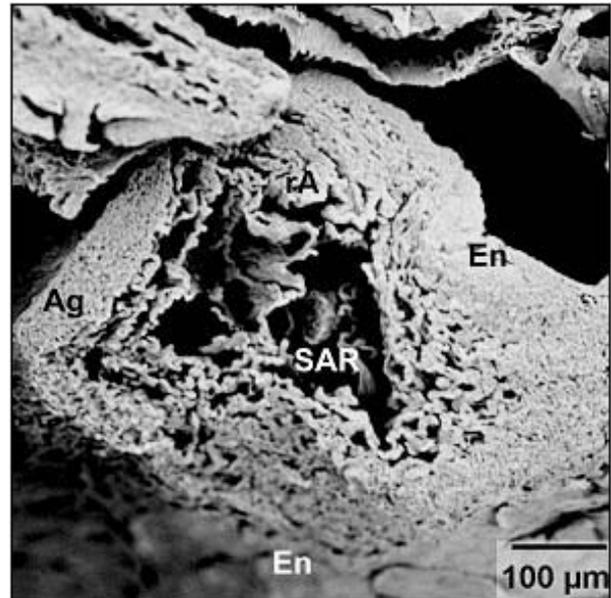


Abb. 38

Abb. 37 u. 38: Schnitt durch Granulationen (REM).

SAR Subarachnoidalraum, rA retikuläre Arachnoidea, Ag Arachnoideagrenzschicht, En Endothel des Durasinus

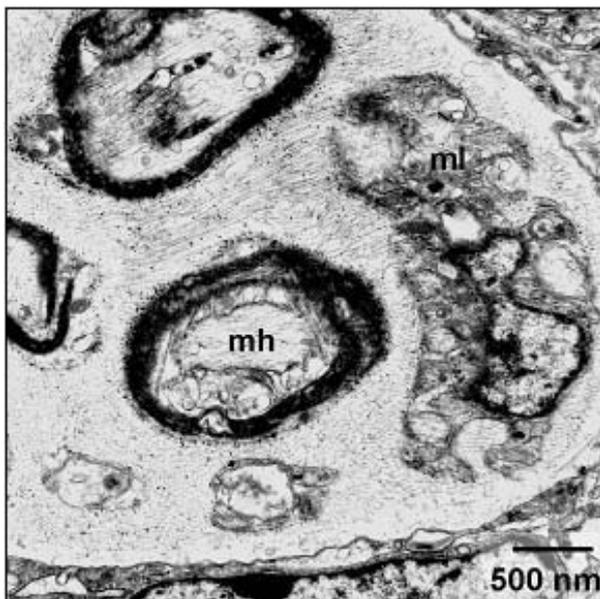


Abb. 39

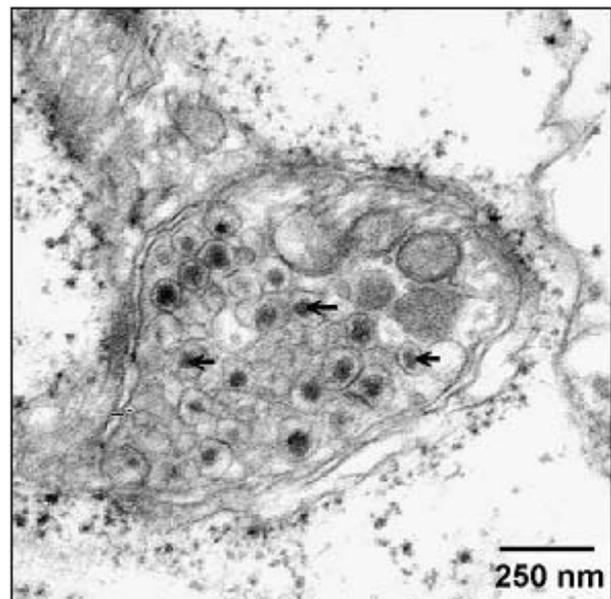


Abb. 40

Abb. 39 u. 40: Nerven in Granulationen (TEM).

Abb. 39: gemischter Nerv: ml marklose Fasern, mh markhaltige Fasern;

Abb. 40: markloser Nerv, Pfeile: *small dense core vesicles*

Da es sich bei den Granulationen um Oberflächenvergrößerungen der Leptomeninx (mit Ausnahme der Pia mater) handelt, findet man hier von innen nach außen grundsätzlich den gleichen Aufbau der Leptomeninx, wie im Kapitel 4.3 beschrieben worden ist. Im Inneren befindet sich das Cavum subarachnoidale, nach außen folgt die retikuläre Arachnoidea, die Arachnoideagrenzschicht und das Neurothel.

Im Bereich der Granulationen bereitet die Abgrenzung der einzelnen Leptomeninxabschnitte häufig Schwierigkeiten, da das Innere der Granulation fast vollständig vom liquorgefüllten Hohlraum (Subarachnoidalraum) eingenommen wird. Zum anderen ist der in den übrigen Leptomeninxabschnitten deutlich sichtbare Interzellularspalt zwischen Arachnoideagrenzschicht und Neurothel im Bereich der Granulationen nicht mehr deutlich nachzuvollziehen (Abb. 41).

Bei einigen der untersuchten Hirnhäute enthielten die Granulationen massenhaft Lymphozyten, so dass eine Abgrenzung und Zuordnung der Leptomeninxabschnitte nicht mehr möglich war. In einem Fall, der in Abbildung 42 wiedergegeben ist, hat sich die gesamte Granulation in eine Art "Lymphknötchen" verwandelt. In der Leptomeninx außerhalb der Granulationen wurden solche Lymphozyteninfiltrationen nicht beobachtet.

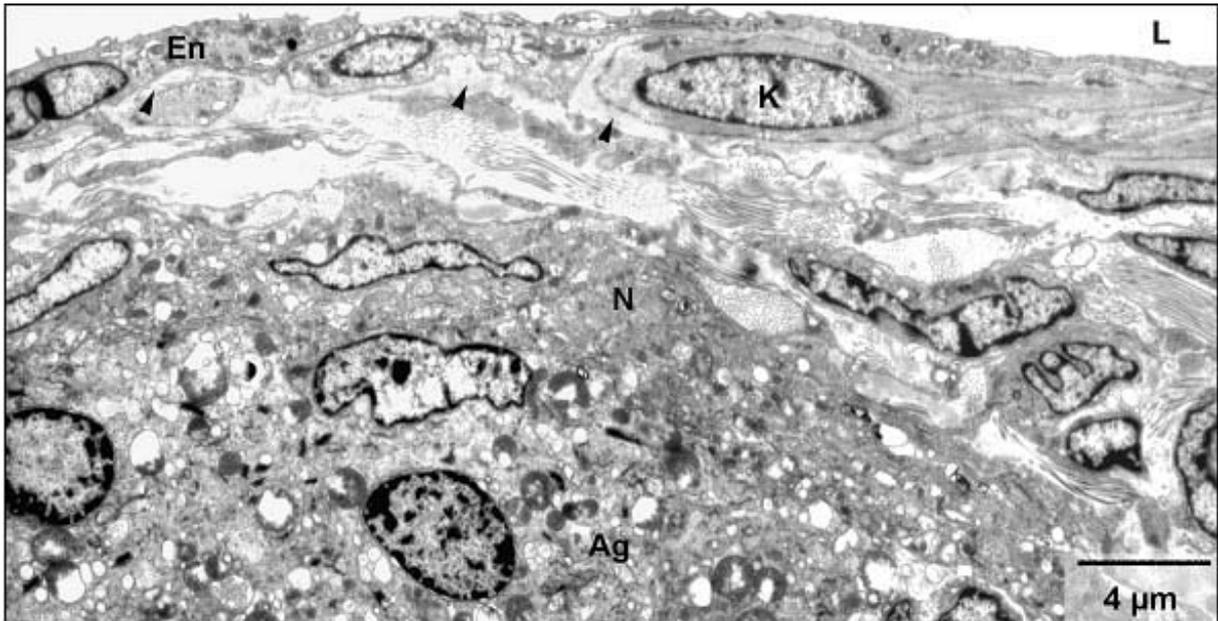


Abb. 41: Granulationsoberfläche (TEM).

Ag Arachnoideagrenzschicht, N Neurothel, En Endothel, K Kern einer glatten Muskelzelle, L Gefäßlumen, Pfeilspitzen: Basalmembran des Gefäßendothels.

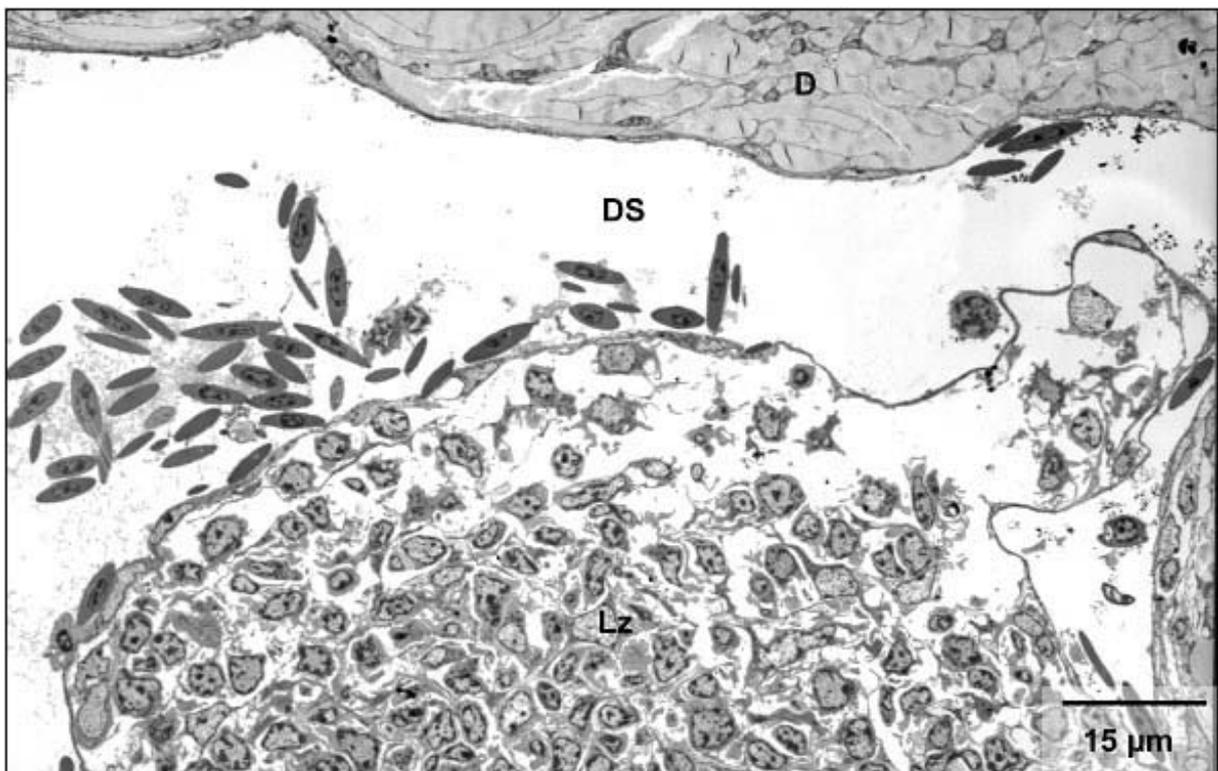


Abb. 42: Granulationsoberfläche (TEM).

Die gesamte Granulation ist von Lymphozyten infiltriert. D Dura mater; DS Durasinus; Lz Lymphozyten.

Die mit Endothel überzogene Granulationsoberfläche lag im besonderen Interesse der Untersuchungen. Das rasterelektronenmikroskopische Bild offenbart im Endothel der Granulationen einige Besonderheiten: Zum einen sind die Interzellularspalten der Endothelzellen deutlich erweitert und zum anderen sind Öffnungen im Endothel ausgebildet (Abb. 43). Diese Öffnungen in dem sonst geschlossenen Endothelverband befinden sich nicht an den Zellgrenzen, sondern wölben sich aus der glatten Zelloberfläche hervor und ermöglichen einen mehr oder weniger tiefen Einblick in das Innere der Granulation. In der Tiefe lassen sich Anteile des Maschenwerks des Subarachnoidalraums erahnen (Abb. 44).

Im Transmissionselektronenmikroskop zeigt die Granulationsoberfläche eine Vielzahl kleiner, flüssigkeitsgefüllter, intrazytoplasmatischer Vesikel, die sich zu größeren, membranüberzogenen Vesikel zusammenschließen. Unterhalb des Sinusendothels ist eine starke Auflockerung des Zellverbandes zu Gunsten des liquorgefüllten Hohlraumes zu erkennen (Abb. 45).

Das Endothel kann sich über einer Granulation stark auffalten, so dass Blut aus dem Durasinus bis tief in die Spalten des aufgefalteten Endothels eindringen kann (Abb. 46).

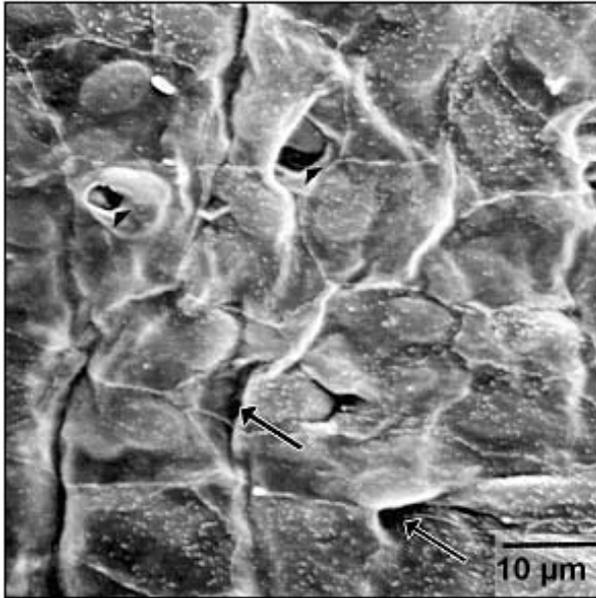


Abb. 43: Granulationsoberfläche (REM).
Pfeilspitzen: Endothelöffnung, Pfeile:
erweiterte Interzellularspalten

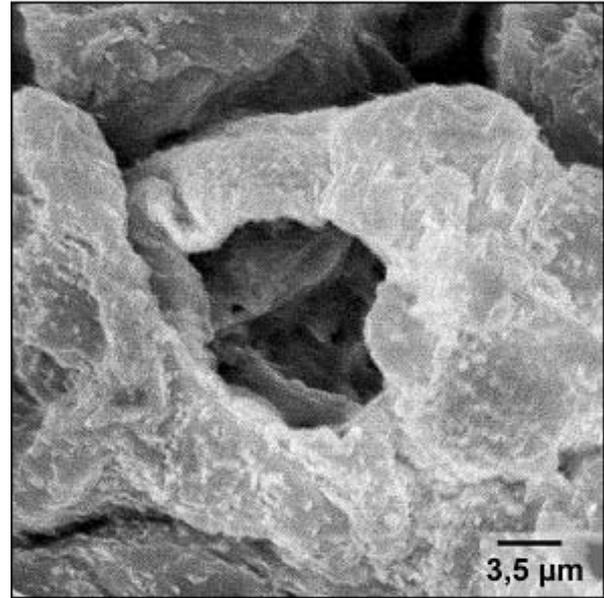


Abb. 44: Endothelöffnung bei stärkerer
Vergrößerung

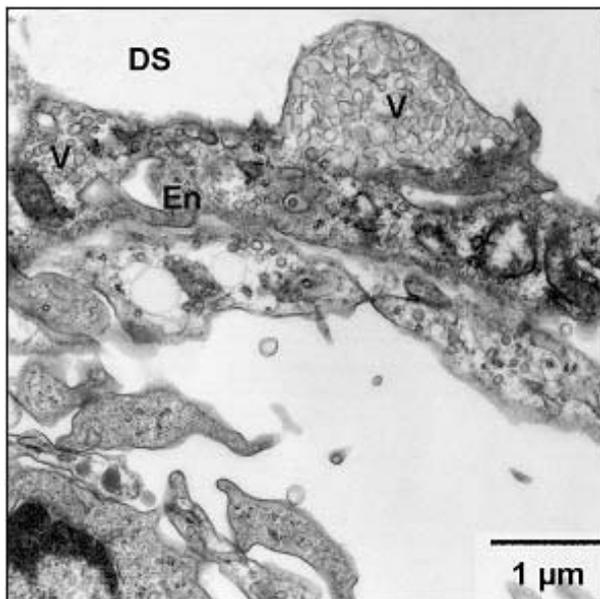


Abb. 45: Granulationsoberfläche (TEM).
En Endothel, V intrazytoplasmatische
Vesikel, DS Durasinus

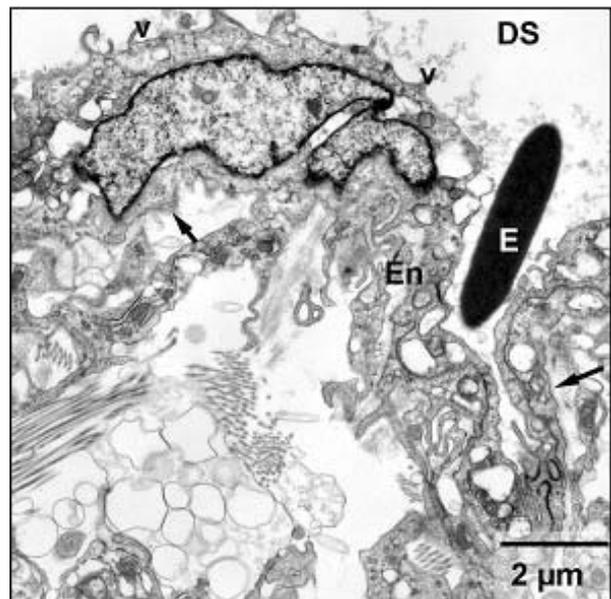


Abb. 46: Granulationsoberfläche (TEM),
Endotheleinsenkung.
E Erythrozyt, En Endothel, DS Durasinus,
v Mikrovilli, Pfeil: Basalmembran