

(Aus dem Anatomischen Institut Heidelberg.)

Die arteriellen Zuflüsse des Capillarsystems in der Nierenrinde des Menschen.

Von

cand. med. **Elise Dehoff.**

Mit 16 Textabbildungen.

Schon zu einer Zeit, als man sich über den histologischen Bau des tubulären Systems in der Niere noch längst nicht im klaren war, hatte man sich mit dem feineren Bau und den Verzweigungen des Gefäßsystems besonders der Nierenrinde eingehender beschäftigt, und das Bild der Arteria interlobularis mit ihren Vasa afferentia und Glomeruli, sowie den in ein Capillarnetz übergehenden Vasa efferentia war genau bekannt. Fast zur selben Zeit, als Henle die später nach ihm benannten schleifenförmigen Gebilde entdeckte und sich die Gelehrten auf der einen Seite darum stritten, ob diese Gebilde blind endigten oder ob und wie sie mit den schon bekannten gewundenen Kanälchen und den ableitenden Sammelröhren, oder gar etwa mit dem Gefäßsystem in irgendeiner Verbindung standen, beschäftigte man sich auf der andern Seite schon eingehend mit der Bedeutung und Funktion der Glomeruli und dem Weg, den der Blutstrom nehmen müsse oder könne, um ins Capillarnetz zu gelangen. Entsprechend den primitiven Hilfsmitteln, die der histologischen Technik damals zur Verfügung standen, sind die Resultate sehr verschieden und einander direkt widersprechend ausgefallen. So behauptet Virchow, daß sämtliche Arterienäste des mittleren und peripheren Rindenteils in Glomeruli übergehen, Äste, die, wie von anderen behauptet wurde, direkt ins Capillarnetz übergehen, hält er für etwas Zufälliges und Bedeutungsloses. Nach den Erfahrungen von Schweigger-Seidel ergießt sich das Blut in die Rindencapillaren nicht nur aus den Vasa efferentia der Glomeruli, sondern zum Teil auch direkt aus den Verzweigungen der Nierenarterie. Frey sagt, daß der direkte Zerfall der Nierenarterie in Capillaren nur spärlich und sicher nicht bei allen Säugetieren anzutreffen sei. Gerlach soll, wie Golubew in seiner 1893 erschienenen Arbeit angibt, in seinem 1849 erschienenen Handbuch die Ansicht geäußert haben, daß der größte Teil der arteriellen Endzweige direkt ins Capillarnetz übergehe. In einer späteren Auflage seines Werkes von 1860 dagegen umgeht er stillschweigend diese Frage.

Chrzonaszcewsky kommt auf Grund seiner Untersuchungen sogar dazu, zwei verschiedene Gefäßsysteme mit verschiedenen Capillarnetzen anzunehmen, wobei die Endäste der einen Arterie in Glomeruli und deren Vasa efferentia in dem einen Capillarnetz aufgehen, während die andere sich ohne Glomeruli in ein weitmaschigeres Capillarnetz verzweigt und als das eigentliche ernährende Gefäß für die Tubuli angesehen wird.

Ein exakter Beweis für oder gegen das Vorhandensein solcher Äste kann aus diesen Untersuchungen naturgemäß nicht hervorgehen; so wurden sie wohl bald vergessen und in den neueren Lehr- und Handbüchern der Histologie ist ihnen keine Beachtung mehr geschenkt worden.

Einen anderen Weg für die Umgehung des Glomerulus beschreibt Ludwig 1843: Er beobachtete, daß zuweilen vom Vas afferens ein kleiner Ast sich abzweigt, dessen Blut, ohne in den Glomerulus zu gelangen, direkt in die Verzweigungen des Capillarnetzes übergang. Andere Autoren erklären sich eine Blutzirkulation bei ausgefallenen Glomeruli durch einen Kapselkreislauf. So beschreibt Kölliker einen sog. „Ramus capsularis“, einen ziemlich dicken Ast, der, fast ohne seitlich Gefäße abzugeben, die Nierenrinde durchbricht, um mit den Kapselgefäßen zu anastomosieren. Auch Hyrtl beschreibt solche Äste als Arteriae perforantes, Geberg hat bei seinen Injektionen an Hunde- und Katzen- nieren ganz ausgedehnte Anastomosen solcher Äste mit den Kapselgefäßen aus der Nebenniere, dem Zwerchfell, Lumbalis I, Spermatica interna, Ureterica, direkten Ästen der Arteria renalis usw. gesehen.

Steinach und später Golubew entdeckten direkte Anastomosen zwischen Arterie und Vene an der Grenze zwischen Mark und Rinde und im Mark selbst. Golubew findet außerdem bei Tieren Glomeruli tragende Arterien, die, von den Gefäßen der Kapsel entspringend, in umgekehrter Richtung die Nierenrinde durchbrechen, um sich in Vasa efferentia aufzuteilen. An menschlichen Nieren hat er solche Arterien nie gesehen, sie sind aber sicher nicht selten vorhanden als Äste der Kapselarterie, wie an der Abbildung von Hyrtl (Tafel 5, Abb. 1) und einem Corrosionspräparat der Sammlung des Heidelberger Anatomischen Instituts zu sehen ist: so verhalten sich ja stets beim Vorhandensein mehrerer Arterien an einer Niere diejenigen von ihnen, die nicht in den Hilus, sondern etwa in einen Pol eintreten. — In neuerer Zeit waren es hauptsächlich Ergebnisse der Pathologie und Physiologie, die dazu Veranlassung gaben, die Zirkulationsverhältnisse der Nierenrinde genauer zu untersuchen. So stellte 1912 Stoerk die Lehre von der „vasculären Einheit des Glomerulussystems“ auf, auf Grund von Injektionen normaler und pathologisch veränderter Nieren, eine Folgerung, die verschiedentlich angezweifelt wurde und m. E. nur infolge ungenügender

Injektionen aufgestellt werden konnte. Er gibt nämlich an, bei seinen Injektionsversuchen immer an einen injizierten Glomerulus anschließend einen Komplex von Capillaren erhalten zu haben, die allein imstande sind, den zugehörigen Tubulus zu ernähren. Diese Anschauung sucht er mit der Tatsache zu stützen, daß häufig bei verödetem Glomerulus der zugehörige Tubulus atrophiert ist und daß bei der Injektion am undurchgängigen Glomerulus auch der genannte Capillarkomplex ausfällt. Ich selbst habe Präparate bekommen, bei denen das ganze Capillarnetz gleichmäßig gefüllt ist, obwohl eine große Anzahl Glomeruli nicht injiziert waren. Es ist ohne weiteres zu verstehen, daß eine ungenügende partielle Injektion nicht als Beweis angesehen werden kann, und daß man, um die Zuflüsse des Capillarsystems studieren zu können, mindestens das ganze Capillarnetz annähernd gleichmäßig injiziert haben muß. Daß das Blut tatsächlich, auch ohne den Glomerulus passiert zu haben, wenn auch auf bis jetzt unbekanntem Wege, dennoch ins Capillarnetz gelangt, versuchte Lindemann 1901 mit Hilfe einer neuen Methode festzustellen. Er führt im Tierversuch mit einer dünnen Sonde von der Arteria femoralis aus Öl in die Nierenarterie ein und erzeugt so eine Fettembolie der Glomerulusschlingen. Läßt er nun der Ölinjektion eine solche einer Farblösung nachfolgen, so findet er, obwohl in fast allen Glomeruli Fettembolien durch die entsprechenden Fettfärbungen nachzuweisen sind, das Capillarnetz dennoch mit der Farblösung gefüllt, woraus er den Schluß zieht, daß der Farbstoff wohl auf einem Weg, der nicht durch die Glomeruli führt, dahingekommen sein müsse. Diesen Weg selbst nachzuweisen ist ihm aber nicht gelungen. Nun ist allerdings auch dieses Experiment nicht ohne weiteres beweisend, denn selbst bei sehr ausgedehnter Embolie brauchen in einem Glomerulus niemals alle Schlingen verstopft zu sein, und solange noch eine durchgängige Schlinge in diesem System offen ist, kann Blut auf diesem Wege ins Capillarnetz gelangen. Johnston beschreibt 1899 aus dem Johns-Hopkins-Institut in Baltimore eine Rekonstruktion eines Glomerulus einer menschlichen Niere; hiernach teilt sich das Vas afferens nach seinem Eintritt in den Glomerulus in drei größere Äste, die dann ihrerseits in eine Anzahl einzelner Schlingen zerfallen, um sich dann wieder zu einem Stämmchen, dem Vas efferens, zu vereinigen. Dem Blutstrom ständen also hiernach drei Wege von verschiedener Länge zur Verfügung, und es ist so die Möglichkeit gegeben, daß bei einer Absperrung der längeren und weiteren Schlingen aus irgendeinem Grunde durch die kürzeste Schlinge eine Verbindung von Vas afferens und efferens innerhalb des Glomerulus hergestellt werden kann. Abbildungen, die man evtl. mit solchen Vorgängen erklären könnte, beschreibt Thoma bei der interstitiellen Nephritis in Virchows Archiv 71. Er zeigt und beschreibt da Vasa afferentia, an deren Enden offenbar Reste verödeter

Glomeruli nachzuweisen sind, die dort in andere Äste übergehen, die sich ins Capillarnetz verzweigen. Es ist aber daraus nicht zu ersehen, ob diese Verbindungen tatsächlich mittels einer Glomerulusschlinge, oder, was mir sogar wahrscheinlicher vorkommt, durch sekundäre Vascularisation oder auch Vascularisation der Glomeruluskapsel zustande kommt. Bei meinen Präparaten ist es mir jedenfalls nicht gelungen, solche Gefäßbildungen nachzuweisen. In Stoehrs Lehrbuch der Histologie 1917¹⁾ ist ein Schema der Nierengefäße abgebildet, nach dem ein dünner Ast des Ramus capsularis (Kölliker) und einer Interlobulararterie direkt ins Capillarnetz übergeht. Im Text ist darauf nicht näher eingegangen, ich konnte nicht erfahren, ob hierüber spezielle Arbeiten zugrunde liegen.

Zusammenfassend ergibt sich aus all diesen Untersuchungen, daß ein exakter Beweis für oder gegen einen anderen Zufluß des Capillarnetzes als den durch das Glomerulussystem nie geliefert worden ist. Virchow, Schweigger-Seidel, Frey, Gerlach und Chrzonszczewsky haben, vermöge der damals sehr primitiven histologisch-technischen Hilfsmittel, wohl zum Teil richtig beobachtet und „angenommen“, aber nie bewiesen. Zuverlässigere Beobachtungen sind schon die von Steinach und Golubew, die direkte Übergänge von Arterien und Venen im Mark und an der Grenze zwischen Rinde und Mark nachwiesen; doch kommen solche Anastomosen für den Capillarkreislauf der Nierenrinde praktisch nicht in Frage. Und so bleiben zur Erklärung solcher pathologisch-anatomischer oder physiologischer Vorgänge, für die schon seit längerer Zeit die Pathologen stillschweigend ohne Beweis eine Umgehung des Glomerulussystems annehmen mußten, nur übrig: der Kapselkreislauf und der Ludwigsche vom Vas afferens abgehende Ast; aber immer mit der Einschränkung, daß beide für eine wirkliche Erklärung nicht ausreichen. Die von Kölliker beschriebenen Rami capsulares, sowie die Hyrtl'schen Arteriae perforantes, sind, wenigstens beim Menschen, doch in relativ so geringer Zahl vorhanden, daß eine gute Capillarfüllung und Zirkulation bei ausgefallenem Glomerulussystem hierdurch nicht zu erklären sind. Nun hat ja Geberg an Hunde- und Katzenieren einen ganz ausgedehnten Kapselkreislauf beschrieben, der seiner Ausdehnung nach evtl. genügen könnte, um eine Zirkulation aufrechtzuerhalten; ich bin jedoch auf Grund meiner Injektionen und des Betrachtens einer Reihe von Tiernieren zu der Überzeugung gekommen, daß es nicht zulässig sein kann, die Verhältnisse bei Tiernieren ohne weiteres auf den Menschen zu übertragen; jedenfalls habe ich an Menschenieren nie einen besonders stark ausgebildeten Kapselkreislauf entdecken können. Gerade in letzter Zeit

¹⁾ Ebenso in den während der Drucklegung erschienenen „Vorlesungen über Histologie“ von J. Schaffer.

wird ja auch mit Erfolg bei Nephritiden die Dekapsulation der Niere vorgenommen, wobei notwendigerweise der Kapselkreislauf zerstört werden muß und die Niere nach dem Eingriff funktionell wesentlich besser ist als vorher, wo sie noch den Kapselkreislauf als Hilfsmittel zur Verfügung hatte.

Auch die von Ludwig beschriebenen Äste, obwohl sie offenbar doch viel häufiger vorkommen, als gewöhnlich angenommen wird, können doch nicht genügen, um auf diesem Weg die Zirkulation aufrechtzuerhalten; und dann müssen sie ja gerade bei manchen Erkrankungen,

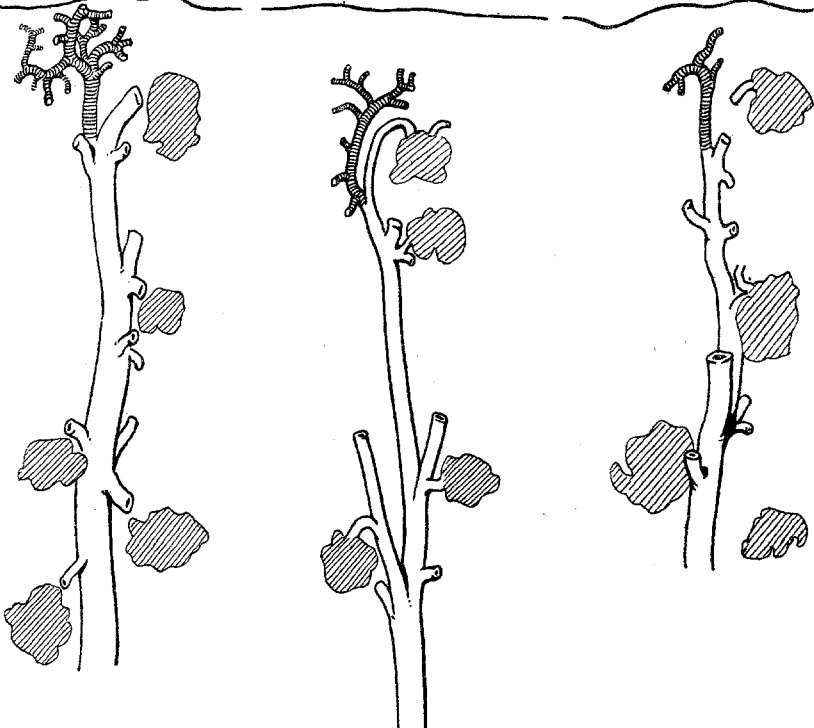


Abb. 1.

Abb. 2.

Abb. 3.

wo die Schädigung bereits am Vas afferens sitzt, etwa bei der von Volhard angenommenen „Drosselung“ der Nierengefäße, mitsamt dem Glomerulus außer Funktion gesetzt werden. Bei solchen Vorgängen, die ja durch eine Reihe anatomischer Befunde gestützt werden, fällt natürlich der Ludwigsche Ast praktisch weg. So schreibt auch Oberndorfer bei einer Abhandlung über die Kriegsnephritis: „Auch die zuführenden Gefäße des Rindenknäuels sind vielfach deutlich von vermehrten Rundzellen umgeben“, was einer schweren Schädigung des Vas afferens gleichkäme.

Da nun gerade in letzter Zeit Befunde, wie z. B. bei der Kriegsnephritis erhoben wurden, auf die ich später noch genauer eingehen werde, nach einer befriedigenden Erklärung der Zirkulationsverhältnisse der Nieren verlangten, veranlaßte mich Herr Professor Dr. Elze, mit Hilfe von Injektionen den Verlauf der Gefäße in der Nierenrinde genauer zu untersuchen. Die Nieren wurden mir in liebenswürdiger Weise teils vom Pathologischen Institut der Universität Heidelberg, teils von der Pathologisch-bakteriologischen Abteilung des Mannheimer Krankenhauses (Prosektor Dr. Loeschcke) zur Verfügung gestellt.

Zunächst versuchte ich die Injektion flüssiger Farbstoffe unter konstantem Druck von der Arteria renalis aus, und zwar durch



Abb. 4.

Abb. 5.

einen mit Berlinerblaulösung gefüllten, in 3 m Höhe aufgehängten Irrigator. Da es aber auf diese Weise nicht möglich war, eine wirklich vollständige Injektion zu erhalten, versuchte ich es dadurch, daß ich die Kanüle nicht in die Arteria renalis selbst, sondern nach ihrer Teilung in einen dünneren Ast, meist einen solchen, der nach einem Pol führte, einband. Dabei zeigte sich, daß jeder Ast der Arteria renalis, wie schon lange bekannt, einen bestimmt umschriebenen, gegen den nicht injizierten Teil der Niere ganz scharf abgegrenzten Bezirk versorgt. Eine solche Einteilung der Niere in einzelne scharf gegeneinander abgesetzte Gefäßbezirke sah ich einmal bei einer Autopsie direkt post mortem bei einem Manne, der auch sonst vasomotorische

Störungen zeigte, dessen Niere scharf in anämische und hyperämische Bezirke geschieden war. Da ich einerseits bei der zuletzt genannten Injektionsmethode auch kein gutes Resultat bekam, andererseits das Berlinerblau die unangenehme Eigenschaft zeigte, daß zuweilen in sicher injizierten Gebieten die blaue Farbe infolge irgendwelcher Reduktionsvorgänge verschwand, so daß eine Kontrolle nicht möglich war, ging ich dazu über, die Injektionen mit der Teichmannschen Schraubenspritze vorzunehmen und eine Reihe anderer Injektionsmassen aus-

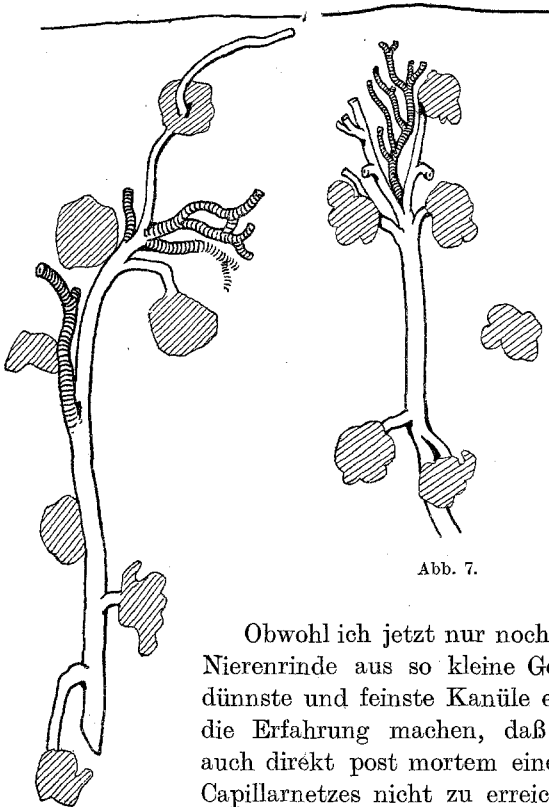


Abb. 6.

Abb. 7.

zuprobieren. So fand ich schließlich, daß sich am besten dazu eignete die schwarze Ausziehtusche (Günther & Wagner), die ich zur Hälfte mit Aqua destillata verdünnte. Ein Zusatz von echtem Glycerin bewährte sich gut, dagegen nicht Glycerinersatz. Ich möchte betonen, daß die Injektion nur mit Ausziehtusche gut gelang, nicht aber mit Perlтусche, die sich nicht verdünnen läßt und sich schon innerhalb der Spritze zu Klumpen zusammenballt.

Obwohl ich jetzt nur noch von der Schnittfläche der Nierenrinde aus so kleine Gefäße injizierte, in die die dünnste und feinste Kanüle eben hineinging, mußte ich die Erfahrung machen, daß bei der normalen Niere auch direkt post mortem eine vollständige Füllung des Capillarnetzes nicht zu erreichen ist. Erst als ich bei einer Ferientätigkeit am Pathologischen Institut Mannheim Gelegenheit hatte, eine größere Anzahl pathologisch veränderter Nieren von Leichen, die ganz kurze Zeit post mortem zur Autopsie kamen, auf die zuletzt geschilderte Weise zu injizieren, machte ich die Beobachtung, daß bei dem Krankheitsbild, das der Pathologe mit dem Ausdruck „trübe Schwellung“ bezeichnet, und dessen Gefäßsystem, mit Ausnahme einer erhöhten Durchlässigkeit der Gefäßwand, in bezug auf die Gefäßverzweigung als durchaus normal angesprochen werden kann, eine Injektion des ganzen Capillar-

netzes zu erreichen ist. Ich möchte betonen, daß die Injektion nur mit Ausziehtusche gut gelang, nicht aber mit Perlтусche, die sich nicht verdünnen läßt und sich schon innerhalb der Spritze zu Klumpen zusammenballt.

netzes in bisher nie erreichter Vollständigkeit regelmäßig gelang. Der Vorgang ist verständlich, wenn man sich klarmacht, daß die trübe Schwellung der Niere ein Zustand ist, den man meist bei septisch-toxischen Prozessen im Körper findet, die mit einer Lähmung der Gefäßwand einhergehen, so daß man bei der Injektion ein völlig erschlafftes Gefäßsystem vor sich hat, das naturgemäß leicht zu injizieren sein muß.

So habe ich im ganzen über 50 Nieren injiziert, teils normale, teils pathologisch veränderte, in Paraffin eingebettet und in Serienschnitte

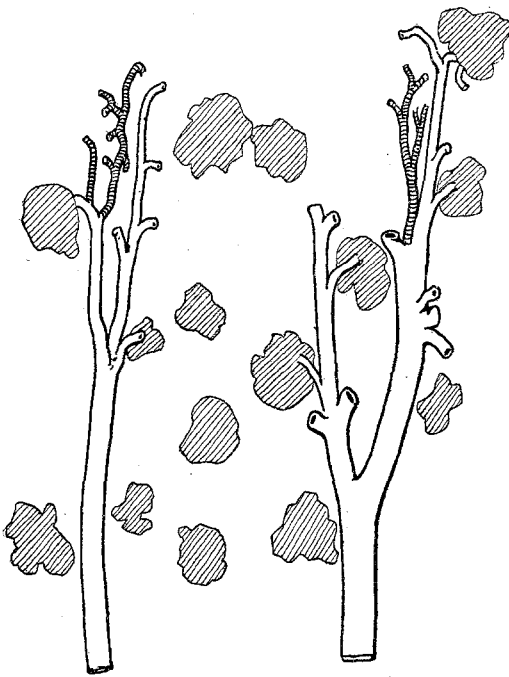


Abb. 8.

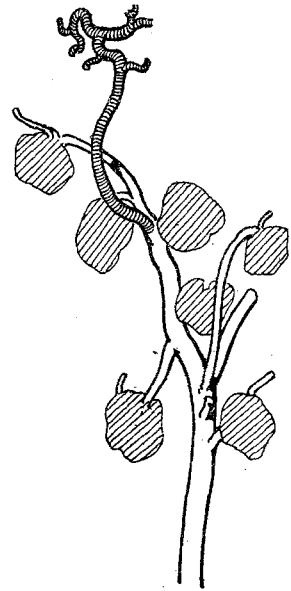


Abb. 9.

zerlegt. Auf die zum Teil recht interessanten Befunde der Gefäße bei den pathologisch veränderten Nieren kann ich hier nicht näher eingehen, sie müßten noch genauer untersucht und Gegenstand einer späteren Arbeit werden. Ich möchte hier nur die Resultate meiner Untersuchungen beschreiben, soweit sie die normalerweise vorhandenen Gefäßverzweigungen und Zuflüsse des Capillarnetzes der Nierenrinde betreffen.

Hierzu möchte ich vorher kurz zusammenfassen, was die normale Anatomie heute in bezug auf Verlauf und Verzweigung der Nierengefäße überhaupt lehrt. Die Arteria renalis teilt sich bei oder schon vor ihrem Eintritt in den Hilus in mehrere Äste, gibt einzelne feine Ästchen zur

Versorgung des Nierenbeckens ab, steigt dann in den Columnae Bertini zwischen den Pyramiden auf, um an der Grenze zwischen Rinde und Mark im rechten Winkel bogenförmig umzubiegen, sog. Arteria arciformis, von der wiederum im rechten Winkel senkrecht nach der Rindenoberfläche ziehend die einzelnen Arteriae interlobulares abgehen sollen, die, nach beiden Seiten Vasa afferentia abgebend, an denen die Glomeruli sitzen, sich an der Spitze entweder völlig in Vasa afferentia aufteilen oder aber ab und zu einen stärkeren Ast nach der Kapsel senden (R. caps.

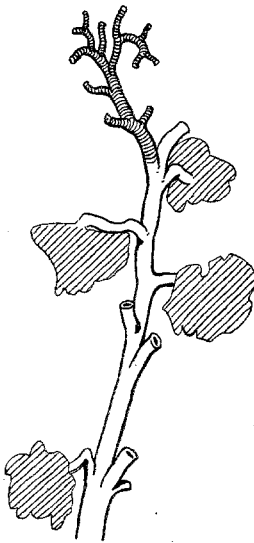


Abb. 10.

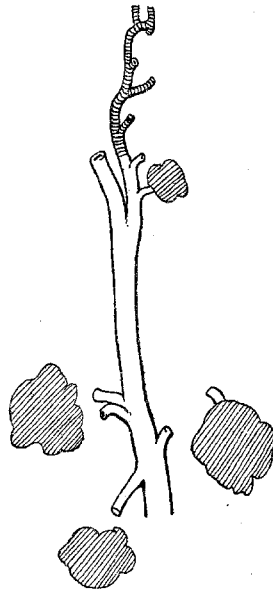


Abb. 11.

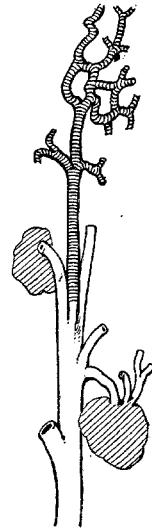


Abb. 12.

Kölliker). Dazu kommt noch, wie schon erwähnt, der Ludwigsche vom Vas afferens abgehende Ast, und im Mark und an der Grenze der Rinden- und Markschiicht haben wir die von Steinach und Golubew beschriebenen direkten Anastomosen von Arterie und Vene. Bei keiner einzigen meiner Untersuchungen gelang es mir jemals, weder an Einzel- und Serienschnitten, noch an Corrosionspräparaten oder durch direktes Nachpräparieren der Gefäße unter der Stereoskoplupе das typische, immer beschriebene rechtwinklige Abbiegen der Arteria arciformis

und von dieser der Arteria interlobulares zu beobachten. Ganz selten nur sah ich einmal ein ungefähr rechtwinkliges Abbiegen der Arteria arciformis und das war dann stets an den Nierenpolen, wo die Gefäße sowieso bogenförmig verlaufen. Auch Herr Professor Dr. Elze hatte bei seinen zahlreichen Corrosionspräparaten der Niere dieselben Beobachtungen gemacht. Bei allen Präparaten zeigte sich schließlich doch immer dasselbe Bild. Die in den Columnae Bertini gerade aufsteigenden Arterien fangen, wenn sie die Grenze zwischen Rinde und Mark erreicht haben, an, sich einfach in mehrere Äste zu teilen, die sich ihrerseits wieder nach allen Seiten des Raumes baumförmig verzweigen. Die einzelnen, hierbei entstehenden Ästchen bilden schließlich die Stämme der Arteriae interlobulares, die sich selbst noch mehrmals teilen, und zwar noch in der Mitte und selbst im oberen Drittel der Nierenrinde. Nach den letzten Teilungen laufen dann nahezu alle Endäste gerade aufsteigend, mit ihrer Spitze senkrecht zur Nierenoberfläche. Schon Virchow, der die Nierengefäße selbst durch Präparation verfolgt hat, lehnt die Arteria arciformis als solche ab und betont die dichotomische Aufteilung der Äste. Auch Stoerk bemerkt, daß der bogenförmige

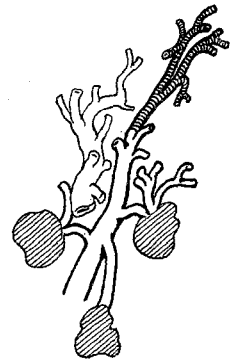


Abb. 13.

Verlauf nur den Venen zukäme, die Arterien viel gestreckter sich aufteilen. Von der Arteria interlobularis nun, und zwar sowohl von ihrem Stamm als auch weiter oben von ihren einzelnen Ästen, zweigen sich nach allen Seiten, teils einzeln, teils in Büscheln von zwei, drei oder vieren, die Vasa afferentia ab, die untereinander von sehr verschiedener Länge sein können. Die am weitesten unten vom Stamm der Arteria interlobularis abgehenden Vasa afferentia zeichnen sich durch eine auffallende Länge aus, die Richtung ihres Abgangs vom Arterienstamm geht meist schräg nach unten zurück. Gerade an diesen längeren Ästen sieht man am häufigsten die Ludwigschen Äste; in wesentlich geringerer Zahl

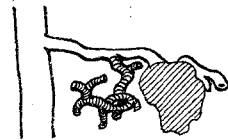


Abb. 14.

sah ich sie in den weiter oben gelegenen Teilen der Nierenrinde, doch sind sie auch da leicht zu finden (Abb. 14). Auch die von Steinach und Golube w ausführlich untersuchten Anastomosen konnte ich gelegentlich beobachten, besonders an Nieren, die vom Arterien- und Venensystem aus mit verschiedenfarbiger Gelatine injiziert waren. Ich habe sie nicht näher untersucht, da ihre Existenz genügend bewiesen ist und sie ja für die Zirkulationsverhältnisse der Rinde speziell nicht in Frage kommen. Verfolgt man nun den Stamm und die abgehenden Seitenverzweigungen

der Arteria interlobularis weiter nach oben, ohne sich um die abgehenden Vasa afferentia zu kümmern, so kann man bei Nieren mit vollständig injiziertem Capillarnetz entweder mit Hilfe des Zeißschen Stereomikroskops und dicken Schnitten, oder, indem man eine Serie dünnere Schnitte einzeln mit dem Zeichenapparat auf dünnes Pauspapier überträgt, um aus den genau übereinstimmend aufeinander gezeichneten Bildern eine graphische Rekonstruktion herzustellen, die Beobachtung machen, daß nicht, wie es in den herrschenden Lehrbüchern steht, die Vasa afferentia das oberste Ende der Arteria interlobularis bilden. Bei genauer Rekonstruktion gelang es mir, fast regelmäßig am Ende einer Arteria interlobularis einen Ast nachzuweisen, der als direkte Fortsetzung der Arterie sich in die Verzweigungen des Capillarnetzes auflöst. An jedem der vom Stamm der Arteria interlobularis von unten herauf verfolgten Aste waren an den oberen Zweigenden doch mindestens 2 oder 3, meist aber an jedem Endzweig solche Endäste der Arterie nachzuweisen. In den Fällen, wo es mir nicht glückte, den Endast zu finden, mußte immer der Einwand gemacht werden, daß das letzte Ende der Arterie nicht mehr verfolgt werden konnte, weil die Serie zu Ende war. Positiv nachgewiesen habe ich eine Arterie, die sich letzten Endes nur in Vasa afferentia aufteilte, niemals. Ich habe nun, abgesehen von den Ästen, die man direkt mit dem Mikroskop an dicken Schnitten verfolgen kann, noch 15 solcher Arterien aus 10—15 μ dicken Serienschnitten graphisch rekonstruiert, deren Abbildungen sich vorstehend finden. Diese 15 Äste haben alle das Gemeinsame, daß sie oben am Ende der Arteria interlobularis ab- und ins Capillarnetz übergehen, im übrigen aber variieren sie doch ziemlich stark untereinander. Ich habe eigentlich keine zwei gefunden, die sich genau nach dem gleichen Typus verzweigt hätten. Einige reichen bis fast unter die Kapsel herauf, andere teilen sich schon weiter unten, die meisten wohl im obersten Drittel der Nierenrinde; ich hatte auch einen Fall, bei dem sich ein solcher Ast schon etwa in der Mitte der Rindenbreite in einen Capillarbezirk hinein verzweigte, der dann leicht noch eine ganze Strecke weit nach oben zu verfolgen war, weil die direkt an den Ast anschließenden Capillaren offenbar weiter und stärker mit Injektionsmasse gefüllt waren als das umliegende Capillarnetz. — Um diesen Endast der Arteria interlobularis mit Sicherheit zu finden, genügen die unvollständigen partiellen Injektionen, wie man sie bei der normalen Niere meist bekommt und wie sie auch Stoerk bei seinen Untersuchungen vor sich hatte, durchaus nicht. Nachdem der Blick für diese Äste einmal geschärft war, gelang es mir zwar auch ab und zu einmal, sie an solchen Präparaten nachzuweisen. Aber um sie mit Sicherheit zu finden, ist die vollständig lückenlose Füllung des gesamten Capillarnetzes, wie ich sie bei der Niere mit der trüben Schwellung regelmäßig bekam, unerläßlich. Erst hierdurch kommt die Vor-

stellung vom Bau und Zusammenhang des Capillarnetzes richtig zustande. Etwas ist an den partiell injizierten Bildern recht hübsch zu sehen, das ist die Verzweigung der Vasa efferentia. Man kann sie sehr hübsch verfolgen, wie sie immer mit einem, manchmal allerdings nur sehr kurzen Stämmchen aus dem Glomerulus hilus austreten, um sich dann gleich in mehrere Äste zu teilen, die sich nach allen Seiten des Raumes sofort in das Capillarnetz verzweigen können. Oft läßt sich auch noch ein etwas längerer Ast, ähnlich wie die Ranke einer Pflanze nach oben kletternd verfolgen, indem er, nach allen Seiten Capillaren abgebend, schließlich, selbst nicht etwa anders gebaut als die anderen Capillaren, in den Stamm einer Vene mündet. Solche Einzelheiten zeigt auch sehr deutlich das Modell, das ich mit Hilfe des Wachsplattenmodellierverfahrens aufgebaut habe, so auch die von Drasch beschriebene verschiedene Größe der einzelnen Glomeruli und vor allem den Aufbau des Capillarnetzes, das auf andere Weise nur mit dem Stereomikroskop und dicken Schnitten erkannt werden kann. Das stereoskopische und plastische Bild ist hierbei so wesentlich, weil man erstens nur dadurch eine Anschauung der Capillaren überhaupt und ihrer Lage zu den Tubuli bekommt, und zweitens, weil man nur dadurch kontrollieren kann, ob zwei Gefäße tatsächlich miteinander kommunizieren oder ob sie sich nur ober- oder unterhalb des im Spielraum der Mikrometerschraube liegenden Gesichtsfeldes kreuzen. So sieht man einmal, daß die Capillaren sehr verschieden weit sein können, je nach dem gerade erreichten Füllungszustande, und dann, daß sie im ganzen Bereich der Rinde untereinander anastomosieren zu

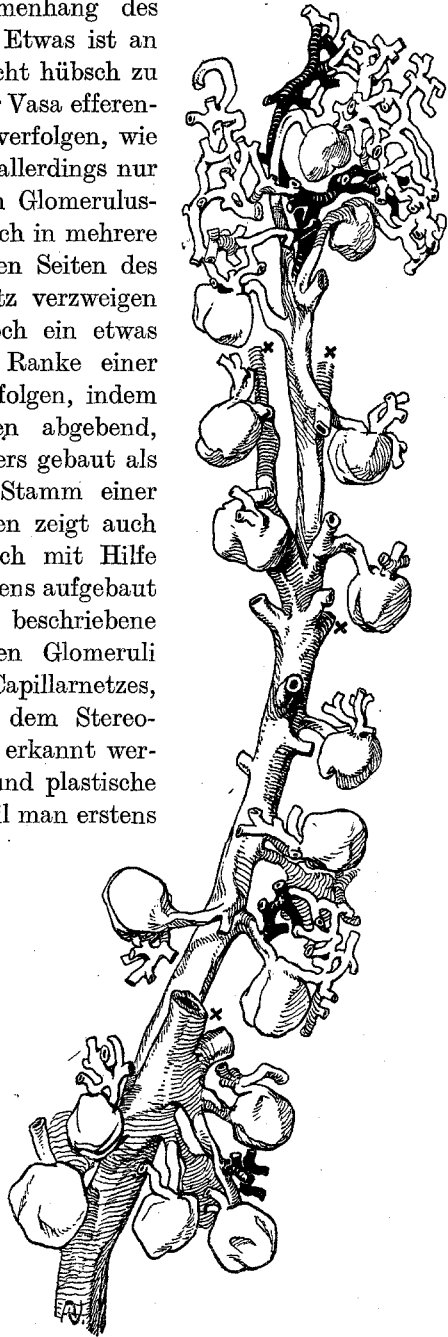


Abb. 15.

einem einheitlichen Gefäßnetz, und zwar in Maschen, die immer gerade so weit sind, daß in jeder ein Harnkanälchen stecken kann. So wird also das gesamte tubuläre System mit Blut versorgt, indem jeder einzelne Tubulus gewissermaßen von allen Seiten umsponnen wird von einem Capillarsystem, das in allen seinen Teilen anastomosiert und das folglich nicht allein darauf angewiesen ist, sein Blut nur auf dem

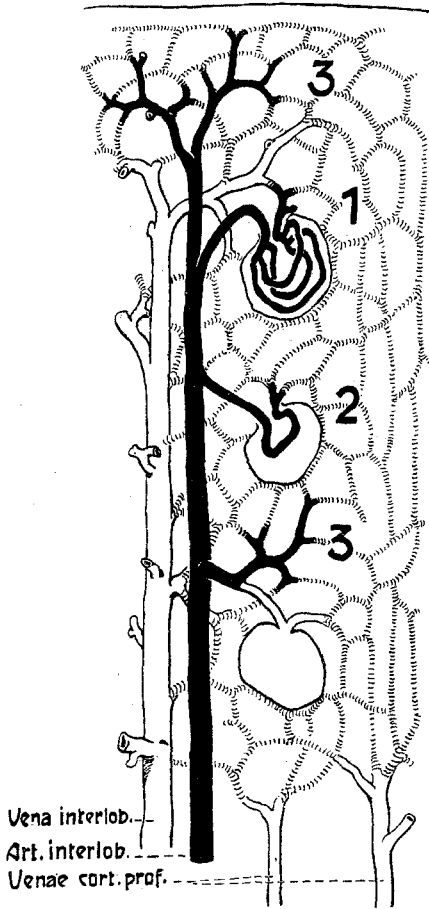


Abb. 16.

einen Weg durch den Glomerulus zu beziehen. Vielmehr haben wir nun für die Nierenrinde folgende Zirkulationsmöglichkeiten, die in einem Schema, dessen Entwurf von Herrn Prof. Dr. Elze stammt, dargestellt werden sollen: 1. den Weg durch sämtliche Glomeruluschlingen, 2. durch eine Schlinge innerhalb des Glomerulus, wenn die andern gesperrt sind, 3. bei Ausschaltung der Glomeruli durch den von Vas afferens ausgehenden Ludwigschen Ast und durch den direkten Endast der Arteria interlobularis. Solche Äste sind nun tatsächlich in ausreichender Zahl vorhanden, um bei Ausfall einer großen Anzahl der Glomeruli eine gewisse Zirkulation zu erhalten. Damit ist dem Pathologen für eine Reihe von Befunden, die bisher einwandfrei nicht klargelegt werden konnten, eine Möglichkeit zur Erklärung gegeben. So hatte man gefunden, daß z. B. bei der akuten Glomerulonephritis, bei der nahezu alle Glomeruli gesperrt sind, doch die Tubuli in den Anfangsstadien merkwürdig gut erhalten

bleiben. In einer Diskussionsbemerkung bei Gelegenheit des Stoerkischen Vortrags über die Einheit des vasculären Systems in der Nierenrinde, wobei er die Absperrung des Glomerulus verantwortlich macht für die spätere Atrophie der Tubuli, weist Orth darauf hin, daß doch bei den atrophischen Tubuli die Kerne noch färbbar seien, folglich müßten doch die Tubuli noch ernährt werden. Schon Nauwerk hatte die Abhängigkeit der Parënychmveränderungen von der Glomeruli-

zirkulation klar erkannt, doch fällt ihm auf, daß „die Schwellungs- und Wucherungszustände an den Endothelien der Arterien und Capillaren nicht selten zu einer Zeit schon nachzuweisen sind, da das sezernierende Parenchym in fast völliger Unversehrtheit verharret“.

In einem Bericht der Münchener med. Wochenschrift über eine Sitzung des Med. Vereins Heidelberg sagt Gross von seinen Untersuchungen über die Kriegsnephritis: „Neben den Glomeruluserkrankungen finden sich immer auch Erkrankungen der Kanälchen, worauf schon das makroskopische Verhalten der Kanälchen hinweist, meist starke Erweiterung und, verschiedenartig hochgradig und unregelmäßig verteilt, hyalintropfige Entartung, oft bei gut erhaltenem Bürstensaum. Diese Entartung findet sich nicht immer gleich stark und kann bei älteren Fällen geringer sein als bei frischen. Sie ist vielleicht Folge einer durch die Glomeruluserkrankung bedingten Zirkulationsstörung, die rasch durch einen Kollateralkreislauf ausgeglichen wird.“ Weiter unten bemerkt er: „Die Prognose wird bestimmt durch die Erkrankung der Glomeruli; für die Funktionsstörung ist die rasch heilbare Entartung der Kanälchen ebenso wichtig. Wir finden Fälle mit schwerer Erkrankung aller Glomeruli, die zwar Ödeme und verminderte Wasserausscheidung, aber keineswegs Anurie haben.“ Oberndorfer schreibt in einem Artikel: „Pathologisch-anatomische Erfahrungen über innere Krankheiten im Felde“ bei der Abhandlung über die Nephritis, nach Beschreibung der Glomeruliveränderungen: „Die Kanälchen sind in diesen ersten Stadien der Erkrankung noch nicht verändert, nur manchmal finden sich in ihnen, wie auch in der Bowmanschen Kapsel, rote Blutkörperchen. Offenbar bedingt die entzündliche Infiltration der Glomeruli eine Sperrung der Schlingen seines Wundernetzes.“ Leider sagt er nichts aus über den Füllungszustand der Capillaren, aber wenn die Kanälchen in einem Stadium vollkommener Undurchlässigkeit der Glomeruli sich als noch unverändert erweisen, so läßt das doch darauf schließen, daß ein sie ernährenden Blutstrom da sein muß.

Auch bei Betrachtung des funktionellen Verhaltens der Nieren tritt immer wieder die Notwendigkeit der Annahme einer doppelten Zufuhr des Blutes zum tubuliernährenden Capillarnetz hervor. So führt Volhard an: „Wenn es also im ersten Frühstadium nur selten zu wirklicher Niereninsuffizienz mit hochgradiger Stickstoffretention kommt, so kann das nur daran liegen, daß die Tubuli auch bei ausgeschalteten Glomeruli eine Zeitlang ihre Höchstleistung vollbringen können.“

Noch einen Versuch machte ich, um anatomisch sichtbar den Weg, den der Blutstrom bei völlig abgesperrtem Glomerulussystem nehmen muß, darzustellen; ich hielt dies theoretisch für möglich durch Injektion der Gefäße einer an akuter Glomerulonephritis erkrankten Niere, bei der sämtliche Glomeruli ausgefallen sind, in der Annahme, daß die In-

jektionsmasse post mortem denselben Weg nehmen würde wie das Blut intra vitam. Leider gelang das Experiment nicht, denn sehr oft waren die im histologischen Bild noch völlig blutleer und undurchgängig aussehenden Glomerulusschlingen doch mit einem feinen Spalt für die Injektionsmasse durchgängig, meist aber perforierten mir schon beim geringsten Druck die abgesperrt gewesenen Glomerulusschlingen, deren sperrendes Moment im Vas afferens wohl bei der Leiche nicht mehr vorhanden war, so daß die ganze Masse in die Tubuli hineinperforierte und es so niemals zu einer Injektion der Endäste kommen konnte.

Um das Zustandekommen einer wirklich funktionierenden Blutzirkulation in einem so ausgedehnten Capillarnetz zu verstehen, ist es wohl notwendig, noch kurz etwas über das Venensystem in der Nierenrinde zu sagen. Bekannt ist das Bild der Vena stellata (Verheyinii), bei der die einzelnen, aus dem Capillarsystem sich sammelnden Äste sternförmig auf der Oberfläche der Niere zusammentreten, um von hier aus einen Venenstamm (Vena interlobularis) senkrecht nach unten zu schicken. Meist liegt der Venenstamm einem Arterienstamm an und zieht an seiner Seite nach unten. In diesem Venenstamm, der aus einzelnen Ästen gebildet wurde, münden nun von allen Seiten die Capillaren, direkt oder nur zu ganz dünnen Stämmchen vereinigt, ein, ein Bild, das ja sonst in der Anatomie nur bekannt ist in der Leber, wo die intralobulären Capillaren direkt in die Zentralvene einmünden. Übrigens verlaufen nicht alle Rindenvenen nach dem Typus der Vena stellata, ich habe auch Injektionen und Rekonstruktionen von Venen, die aus ein paar unregelmäßigen, aus zusammengelaufenen Capillaren entstandenen Venenstämmen sich zusammensetzen, gesehen, die nicht an der Oberfläche beginnen, sondern weiter unterhalb. Es bedeutet wohl das Einmünden der dünnen Capillaren und sehr dünner Venenzweige in einem verhältnismäßig recht weiten Venenstamm für den Abfluß des Blutes aus dem Capillarnetz eine mechanische Erleichterung, die man sich vielleicht physikalisch nach dem Prinzip der hydraulischen Presse erklären könnte.

Zum Schluß möchte ich noch ganz kurz auf die Bedeutung der verschiedenen Zirkulationsmöglichkeiten für die Physiologie und Pharmakologie der Niere hinweisen. Bei der Veröffentlichung dieser Untersuchungen im Naturhistorisch-Medizinischen Verein Heidelberg wies Herr Geheimrat Gottlieb darauf hin, daß man sich so auch die Schwankungen in der Harnabscheidung der normalen Nieren erklären könne, wenn es feststeht, daß im Gefäßsystem der Niere durch verschiedene Innervation eine solche Regulation möglich ist, wonach einmal mehr Blut durch die Glomerulusschlingen und ein andermal mehr Blut auf dem direkten Weg ins Capillarnetz zu den Tubuli gelangen könne.

Auf die ganze Physiologie der Harnbereitung näher einzugehen, würde zu weit führen. Nach dem heutigen Stand der Wissenschaft ist es so, daß sowohl Glomeruli wie Tubuli dieselben gelösten Substanzen ausscheiden, aber in verschiedener Konzentration. Daneben haben wir als Sonderleistung der Glomeruli die Verdünnung, als solche der Tubuli die Konzentration. Bei Erkrankung des einen Systems muß, wenn, wie das ja nachgewiesen ist, eine ausreichende Blutversorgung vorhanden ist, das andere System funktionell dafür eintreten können, allerdings nur langsam und nur bis zu einer blutisotonischen Lösung. So schreibt Volhard: „Es gibt ein Krankheitsbild, bei dem alle Glomeruli durch vollständige Blutleere von der Mitwirkung an der Harnabscheidung sicher ausgeschaltet sind, das ist die akute und subakute diffuse Nephritis. Hier müssen die Kanälchen allein die Harnabscheidung leisten, und es lehrt die klinische Beobachtung, daß sie unter diesen Umständen, eine ausreichende kollaterale Blutversorgung vorausgesetzt, eine gewisse Zeitlang nicht nur normal konzentrieren, sondern auch Wasser abscheiden können, und zwar in ungefähr normaler 24stündiger Menge.“

Auf histochemischem Wege versuchte Leschke die Abscheidung normaler und körperfremder Harnbestandteile am Orte ihrer konzentriertesten Ausscheidung (also der Tubuli) nachzuweisen, nachdem er vorher das Blut damit angereichert hatte. So will er die Ausscheidung des Ferrocyans, das er mittels der Berliner Blauprobe in den Tubuli nachweisen kann, direkt verwenden, um darauf eine Methode der klinischen Nierenfunktionsprüfung zu begründen. Bei Nierenkranken mit Schädigung der Tubuli findet er stark verzögerte Ausscheidung des Ferrocyans, bei reiner Glomerülusschädigung dagegen normale Ausscheidung, was nach den vorliegenden Untersuchungen durchaus erklärlich ist, da das Blut ja auch direkt zu den die Tubuli ernährenden Capillaren gelangen kann.

Literaturverzeichnis.

Aschoff, Lehrbuch der pathologischen Anatomie. — Drasch, O., Über das Vorkommen zweierlei verschiedener Gefäßknäuel in der Niere. Sitzungsberichte der K. Akademie der Wissenschaften, mathematisch-naturwissenschaftliche Klasse, 1877/78. — Gerlach, Handbuch der Gewebelehre, 1860. — Geberg, A., Über direkte Anastomosen zwischen Arterie und Vene in der Nierenkapsel. Intern. Monatsschr. f. Anat. u. Physiol. 2. — Gottlieb, Diskussionsbemerkung, Sitzungsbericht des Naturhist.-Med. Vereins Heidelberg vom 3. 12. 1918. Münch. med. Wochenschr. 1919, Nov. 1914, S. 396. — Gross, W., Experimentelle Untersuchungen über den Zusammenhang zwischen histologischen Veränderungen und Funktionsstörungen der Niere. Ziegler's Beiträge z. allg. Path. u. pathol. Anat. 51. 1911. — Gross, W. Bericht der Sitzung des Naturhistorisch-Med. Vereins Heidelberg. Münch. med. Wochenschr. 1918, Nr. 21. — Chrzonszczewsky, Zur Anatomie der Niere. Virchows Archiv 31. 1864. — Hyrtl, Das Nierenbecken der Säugetiere und des

Menschen. Denkschriften der K. Akademie Wien 1872. — Johnston, W. B., A Reconstruction of a glomerulus of the Humal Kidney. Anatomischer Anzeiger **16**. 1899. — Kölliker, Handbuch der Gewebelehre. — Lindemann, Über die Ausschaltung der Nierenglomeruli. Zeitschr. f. Biol. **42**, 1901. — Leschke, Histochemische Untersuchungen über die Funktion der Niere und Leber. Wiesbaden, Kongreß für Innere Medizin 1914. — Ludwig, C., Über Nierengefäße. Marburg 1843 (Diss.) und in Strickers Handbuch der Gewebelehre. — Nauwerk, Beitrag zur Kenntnis des Morbus Brighti, Zieglers Beiträge z. allg. Pathol. u. pathol. Anat. **1**. — Oberndorfer, Pathologisch-anatomische Erfahrungen über innere Krankheiten im Felde. Münch. med. Wochenschr. **43**, 1918. — Stoerk, Verhandlungen der deutschen Path. Gesellschaft, 15. Tagung, 1912. — Stöhr, Lehrbuch der Histologie, 1916. — Steinach, E., Studien über den Blutkreislauf der Nieren. Sitzungsberichte der K. Akademie Wien **90**. — Stricker, Handbuch der Gewebelehre, 1843. — Thoma, Über die Zirkulationsverhältnisse der Niere bei chronisch interstitieller Nephritis. Virchows Archiv **71**, 1877. — Volhard-Fahr, Die Brightsche Nierenkrankheit. Springer 1914. — Volhard, Die doppelseitigen hämatogenen Nierenkrankheiten. Handbuch der inneren Medizin von Mohr und Staehelin, 1918. — Virchow, Einige Bemerkungen über die Zirkulationsverhältnisse in den Nieren. Virchows Archiv **12**, 1857.

Erklärungen zu den Textabbildungen.

Die Zeichnungen stellen jeweils das oberste Ende der Arteria interlobularis dar; die horizontale Linie gibt die Lage der Capsula fibrosa an. Der in Capillaren zerfallende Endast sowie Ludwigsche Äste sind schraffiert gezeichnet. (Graphische Rekonstruktionen).

1. Ende der Art. int. aus 3 80 μ dicken Serienschnitten
2. " " " " " 5 10 " " "
3. " " " " " 12 10 " " "
4. " " " " " 4 80 " " "
5. " " " " " 6 10 " " "
6. " " " " " 3 80 " " "
7. " " " " " 7 15 " " "
8. " " " " " 6 15 " " "
9. " " " " " 3 80 " " "
10. " " " " " 8 15 " " "
11. " " " " " 5 15 " " "
12. " " " " " 8 15 " " "
13. " " " " " 9 10 " " " daneben Anfang einer Vene.
14. Ludwigscher Ast aus 3 20 μ dicken Schnitten.
15. Zeichnung einer plastischen Rekonstruktion nach dem Wachsplattenmodellierverfahren aus 12 2 mm dicken Wachsplatten. Vergr. d. Modells 100:1, der Wiedergabe 40:1, Bei \times abgeschnittene Äste (dichotomische Aufteilung). Die übrigen abgeschnittenen Äste sind Vasa afferentia. Zeichnung von A. Vierling. Endast sowie Ludwigsche Äste dunkel gezeichnet.
16. Schema zur Darstellung der Zirkulationsmöglichkeiten in der Nierenrinde (vgl. S. 145). Entwurf von Prof. Elze, Zeichnung von A. Vierling).