

# ENCYCLOPAEDIA CINEMATOGRAPHICA

Editor: G. WOLF

---

*E 966/1965*

## **Lissamingrün-Passagen in der Nierenrinde Rattus norvegicus (Muridae)**

Mit 2 Abbildungen

GÖTTINGEN 1970

---

INSTITUT FÜR DEN WISSENSCHAFTLICHEN FILM

## Lissamingrün-Passagen in der Nierenrinde *Rattus norvegicus* (Muridae)<sup>1</sup>

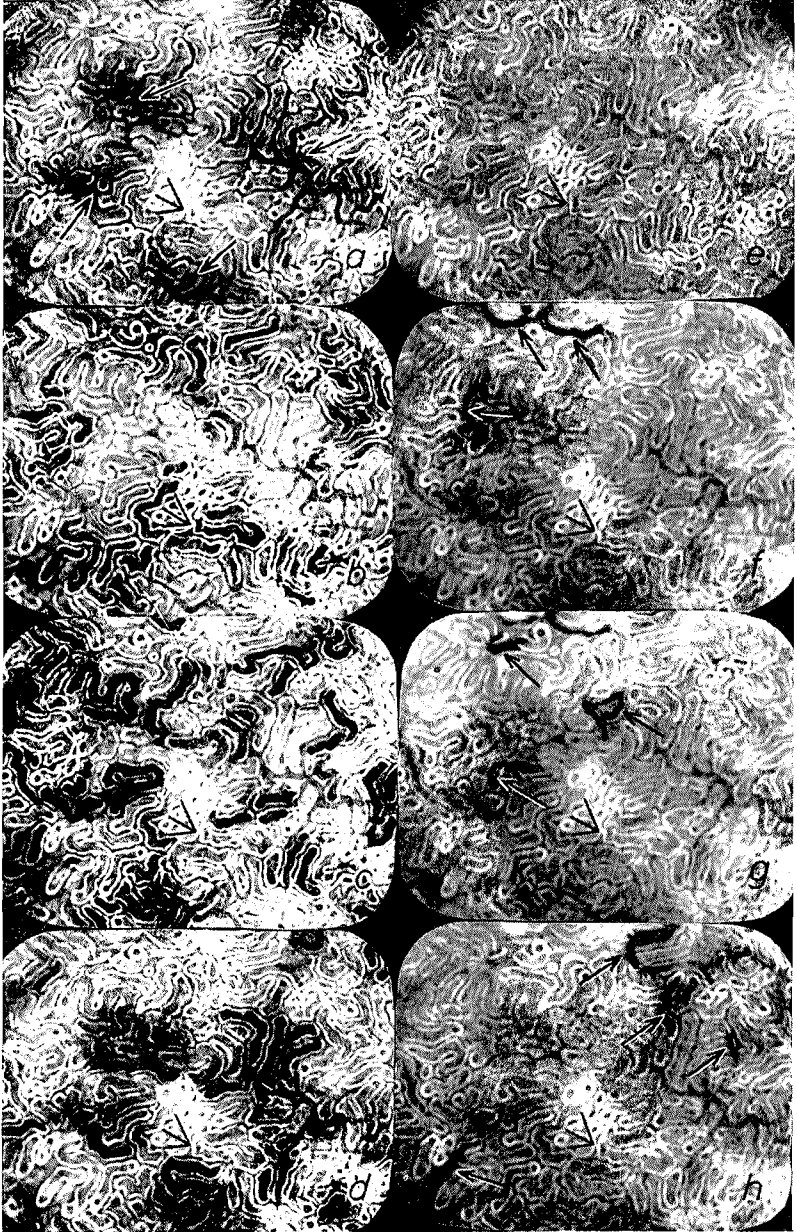
M. STEINHAUSEN, Heidelberg

### Allgemeine Vorbemerkungen

Seit den grundlegenden Untersuchungen von WALKER und OLIVER [17] ist die Nierenrinde von Albinoratten in zunehmendem Maße Studienobjekt der Nierenphysiologie geworden, welche mit Hilfe der Mikropunktion von Harnkanälchen Aufschlüsse über die normale und pathologische Funktion der Niere zu erlangen sucht. Zur Lokalisation der Punktionsstelle sind intratubuläre Kunststoffinjektionen mit nachfolgender Mazeration des Gewebes erforderlich, während zur Differenzierung proximaler und distaler Harnkanälchen (diese bestimmen neben Blutkapillaren das Bild der Nierenoberfläche) in vivo vielfach die von WIRZ [19] beschriebene Methode der intratubulären Indigokarmin-Injektion benutzt wurde, da eine Differenzierung proximaler und distaler Tubuli in vivo ohne Mikropunktion und Färbung auch dem Geübten keinesfalls immer möglich ist [18], [19]. Mit der Verwendung von Lissamingrün, einem Triphenylmethanderivat (MG 792,00), welches früher insbesondere in der Elektrophoresetechnik benutzt wurde, gelang uns eine wesentliche Vereinfachung der Differenzierung proximaler und distaler Harnkanälchen in vivo [5], außerdem wurden tubuläre Passagezeiten und Stromstärken direkt bestimmbar. Im folgenden soll das Prinzip der Lissamingrün-Methode erläutert werden, während Einzelheiten unserer vorausgegangenen Veröffentlichungen entnommen werden müssen.

---

<sup>1</sup> Angaben zum Film und Filminhalt (deutsch, englisch, französisch) s. S. 12.



Lissamingrün hat im Gegensatz zu den meisten anderen von uns geprüften Farbstoffen die Eigenschaft, neben geringster Toxizität auflichtmikroskopisch auch bei der geringen Schichtdicke, wie sie bei Kapillaren auftritt, noch farbintensiv sichtbar zu sein. Dies verdankt der Farbstoff im wesentlichen seiner Wasserlöslichkeit. Intravenös im Stoß in die Blutbahn gebracht, ist der Farbstoff als Testsubstanz zur auflichtmikroskopischen Bestimmung der Strömungsgeschwindigkeit des Blutstromes z. B. auch am Auge brauchbar [6], [11]. An der Nierenoberfläche von Ratten erscheint der Farbstoff bei intravenöser Stoßinjektion in die Vena jugularis (0,25 ml/kg einer 10%igen Lissamingrün-Lösung) nach 2 bis 3 s in den Vasa efferentia, hat also zu dieser Zeit bereits die — auflichtmikroskopisch an der Nierenoberfläche in der Regel nicht sichtbaren — Glomeruli passiert (Abb. 1). Die Besonderheit von Lissamingrün besteht nun darin, daß der Farbstoff bei Abklingen der Färbung der Vasa efferentia rund 6 s nach der Injektion in einzelnen Tubulusschlingen sichtbar wird und daß nach und nach immer wieder neue Tubulusschlingen vom Farbstoff passiert werden. Etwa eine halbe Minute nach der Injektion ist die Nierenoberfläche wieder entfärbt. Bis zu dieser Zeit waren im Mittel 94 % aller oberflächlich sichtbaren Tubulusschlingen — die proximalen Tubulusschlingen (oder Harnkanälchen I. Ordnung) — einmal gefärbt. Eine zweite Farbstoffpassage in Tubulusschlingen der Nierenrinde beginnt im Mittel 48 s nach der Stoßinjektion. Jetzt werden die vorher nicht gefärbten distalen Tubulusschlingen sichtbar; sie entsprechen den restlichen 6 %, wie wir [5] mit gleichzeitigen Mikropunktionsversuchen und Lissamingrün-Passagen in Anwendung der Differenzierungstechnik von WIRZ [19] nachweisen konnten. Wegen der stärkeren Harnkonzentration erscheinen die distalen Tubuli intensiver gefärbt; die Dauer der Färbung einzelner Tubulusschlingen ist gegenüber der Färbung der proximalen Tubuli verlängert. Im Mittel nach 140 s hat der Farbstoff alle distalen Tubuli passiert, und die Nierenrinde ist nun endgültig entfärbt.

Es liegen keine Gründe vor, daran zu zweifeln, daß die Lumenfärbung der Harnkanälchen nach intravenöser Lissamingrün-Stoßinjektion durch eine glomeruläre Filtration des Farbstoffes bei seiner ersten Passage in

---

Abb. 1. Auflicht-Mikrophotogramme der Nierenoberfläche einer 300 g schweren Ratte nach i. v. Stoßinjektion von 0,25 ml/kg einer 10%igen Lissamingrün-Lösung

Drei Hinweisstriche markieren die gleiche proximale Tubulusschlinge in den Bildern a—h. Die Niere wurde dekapuliert, Niere und Bauchhöhle wurden mit körperwarmer Tyrodelösung gespült a: 3 s nach der Injektion Farbstoffpassage in den Gefäßen (Beginn der Passage von den Zentren her, auf welche die Pfeile gerichtet sind); b bis d: 9,5, 14 und 21,5 s nach der Injektion Farbstoffpassage durch proximale Tubuli; e: Entfärbung der Nierenoberfläche; f bis h: 85, 95 und 123 s nach der Injektion Farbstoffpassage durch distale Tubuli (durch Pfeile markiert). Aus Demonstrationsgründen ist die Farbstoffpassage hier verlangsamt (vgl. S. 6)

Abbildungsmaßstab 35 : 1

(Nach M. STEINHAUSEN [5]; Springer, Berlin-Heidelberg-New York 1963)

den Glomeruli zustande kommt [5]. Bei dieser ersten Farbstoffpassage werden alle Glomeruli praktisch gleichzeitig erreicht, so daß die Farbstoff-Filtration praktisch in allen Nephren gleichzeitig beginnt und dadurch entsprechende Harnkanälchenabschnitte eines jeden Nephrons etwa gleichzeitig passiert werden. Dies gilt insbesondere für die proximalen Konvolute, bei welchen die glomerulumnahen und die glomerulumfernen Abschnitte aller Nephren zu charakteristischen Zeiten vom Farbstoff durchströmt werden, wie wir mit Mikropunktionsversuchen zeigen konnten [5]. Dieser Befund ist für die Bestimmung mittlerer Passagezeiten und die mit Hilfe morphologischer Daten daraus abzuleitenden Stromstärken von besonderer Wichtigkeit. Es sei hier auf die fast lineare Korrelation zwischen proximaler Stromstärke und Inulin-Clearance hingewiesen, wie wir sie bei Katzen unter Drosselung der glomerulären Filtration durch Blutdrucksenkung (Blutentzug) fanden [12].

Die Passagezeit für den an der Nierenoberfläche liegenden Anteil des proximalen Konvolutes erhält man, wenn man die Zeit zwischen dem Beginn der Farbstoffpassage in einzelnen proximalen Tubuli und dem Beginn der Farbstoffpassage in denjenigen Tubuli bestimmt, welche im Verlauf der Lissamingrün-Passage zuletzt an der Nierenoberfläche gefärbt erscheinen [12]. Diese Passagezeit ist dann länger, wenn die dekapulierte Niere mit körperwarmer physiologischer Kochsalzlösung bzw. Tyrodelösung gespült wird (wie im vorliegenden Film) — im Gegensatz zu den Versuchen, bei welchen die nicht dekapulierte Niere mit körperwarmem Paraffin<sup>1</sup> gespült wurde. Gleichzeitig sind bei Paraffinspülung die Tubuluslumina enger. Unter Kontrollbedingungen fanden wir jetzt [13] eine proximale Passagezeit für den sichtbaren Anteil des proximalen Konvolutes unter Tyrodelösung von  $13,1 \pm 1,2$  s und unter Paraffin von nur  $8,4 \pm 0,43$  s. Messungen der proximalen Tubulusradien ergaben dabei unter Tyrodelösung  $13,8 \mu\text{m}$  und unter Paraffin  $9,9 \mu\text{m}$ .

Es bestand lange eine Diskrepanz zwischen histologischen und intravitalmikroskopischen Befunden über die Frage der Weite der proximalen Tubuluslumina, welche normalerweise vom Histologen eng und vom Mikropunkteur weit gefunden wurden. Wir fanden nun in unabhängiger Übereinstimmung mit THURAU und DEETJEN [15], HANSSSEN [3] und SWANN [14], daß beim Sistieren der glomerulären Filtration (Tötung des Versuchstieres, Exzision der Niere oder Drosselung der Blutzufuhr) innerhalb von 20 s ein Kollaps der proximalen Harnkanälchen auftritt (Abb. 2), wobei wir insbesondere zeigen konnten, daß nicht nur die Lumina der proximalen Tubuli unter den Bedingungen des Filtrationsstops weitgehend verlegt werden, sondern daß es auch zu einer entsprechenden Abnahme der Außendurchmesser der proximalen Tubuli kommt. Ferner wurde die Vermutung von HANSSSEN [3] und ULLRICH

---

<sup>1</sup> Paraffinum liquidum.

[16] bestätigt, daß normalerweise die Rückresorptionsprozesse den Filtrationsstopp überdauern [10]. Bei Paraffinspülung (s. oben) ist auch die Kollapszeit proximaler Tubuli kürzer und beträgt im Mittel 8 s ([13], vgl. auch [4]). Gleichzeitig sahen wir, daß die distalen Tubuli zwar während des Sistierens der glomerulären Filtration offen bleiben, aber bei Wiederentfaltung der proximalen Tubuli ebenfalls einen Tubuluskollaps zeigen können. Dies deuten wir als Folge einer Kompression distaler Tubuli durch proximale während des Auftretens übernormaler intratubulärer Druckdifferenzen in beiden Tubulusabschnitten, welche sich während des Wiedereintritts der glomerulären Filtration einstellen.

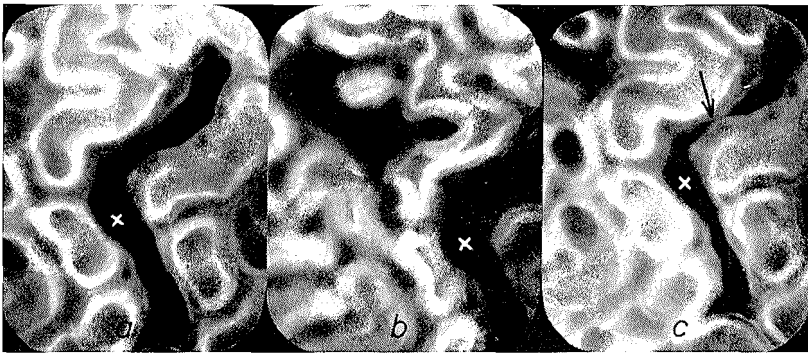


Abb. 2. Auflicht-Mikrophotogramme der Nierenoberfläche einer 320 g schweren Ratte

a: Lissamingrünpassage durch einen distalen Tubulus; welcher in den Bildern a—c durch ein Kreuz an gleicher Stelle markiert ist; b: Zustand nach Aortenabklemmung. Die proximalen Tubuli sind weitgehend kollabiert, die weißen Säume (Bürstensäume) liegen z.T. direkt aufeinander; c: 2,5 min nach Wiederöffnung der insgesamt 4 min geschlossenen Aortenklemme erscheint der distale Tubulus partiell komprimiert (Pfeil)

Abbildungsmaßstab 195 : 1

(Nach M. STEINHAUSEN, I. TRAVANI, G. E. SCHUBERT u. R. TAUGNER [10])

### Zur Entstehung des Films

In Nembutal-Narkose wurde, nach Anlegen von Tracheal- und Jugulariskathetern, die linke Niere — wie in der Mikropunktionstechnik üblich — mit Hilfe eines nierenförmigen Löffels immobilisiert. Bei Ratten (Tiergewicht 300 g) wurde hierbei von einem Medianschnitt, bei Goldhamstern (Tiergewicht 40—60 g) von einem Paravertebralschnitt ausgegangen. Der Nierenlöffel, welcher mit dem Operationstisch fest verbunden wurde, erhielt für die Hilusgefäße einen genügend großen Ausschnitt und konnte mit dem Operationstisch fest verankert werden. So wurde

die Übertragung von Atembewegungen auf die Niere weitgehend ausgeschaltet. Die in situ gelagerten — bei Ratten dekapulierten — Nieren wurden fortlaufend mit körperwarmer Tyrode-Lösung gespült. In die Spülflüssigkeit wurden die Tauchkappen der ULTROPAK-Objektive 6.5, 11 und 22 (LEITZ) gesenkt. Als Beleuchtungsquelle diente eine Xenonlampe (WILD-Universallampe) mit Wärmeschutzfiltern, als Filmkamera eine BOLEX-H-16 mit dem WILD-Kinoaufsatz. Die Aufnahme Frequenz betrug 24 B/s. Als Filmmaterial wurde Kodak-Ektachrome-ER-Tageslichtfilm verwendet.

### Filmbeschreibung

Beobachtungen von Lissamingrün-Passagen an der Nierenrinde von Albinoratten (*Rattus norvegicus*):

Zunächst wird die normale Nierenoberfläche von Ratten in der Übersicht und bei stärkerer Vergrößerung gezeigt:

Auf der Nierenoberfläche sind Tubulusschlingen, von Blutkapillaren umgeben, sichtbar. Die helle Begrenzung der Tubulus-Lumina entspricht wahrscheinlich dem Bürstensaum. 94% der Tubulusschlingen gehören zum proximalen Konvolut. Die distalen sind kleiner, ihre Begrenzung ist weniger hell. Eine sichere Unterscheidung zwischen proximalen und distalen Tubuli ist jedoch in vivo ohne Farbstoffinjektion kaum möglich.

#### *Stoßinjektion von Lissamingrün 10% i. v. 0,25 ml/kg durch Jugulariskatheter<sup>1</sup>*

Nach intravenöser Stoßinjektion von 0,25 ml/kg einer 10%igen Lissamingrünlösung über einen Jugular-Venen-Katheter wird bei schwacher Vergrößerung die Passage von Lissamingrün durch das proximale und distale Konvolut der Nierenrinde gezeigt:

Der Farbstoff erscheint in den Kapillaren — sodann stellen sich die Tubuli dar. Von der Vena cava cranialis gelangt der Farbstoff über den Lungenkreislauf bis zur Nierenrinde im Mittel in drei Sekunden; nach weiteren zwei Sekunden ist er in den glomerulurnahen Schlingen des proximalen Konvolutes sichtbar. Nach Passage aller proximalen Tubuli ist die Nierenoberfläche wieder entfärbt. Der Farbstoff durchläuft jetzt die HENLEschen Schleifen des Nierenmarkes.

Ein bis zwei Minuten nach der Farbstoff-Injektion erreicht der gefärbte Harnstrom die distalen Tubuli der Nierenoberfläche und ermöglicht damit in vivo eine Unterscheidung von proximalen und distalen

<sup>1</sup> Die *Kursiv*-Überschriften entsprechen den Zwischentiteln im Film.

Tubuli. Die nacheinander eintretende Lumenfärbung distaler Tubuli wird auf der unterschiedlichen Entfernung der distalen Tubuli von ihren Glomerula beruhen, worauf auch die zunehmende Farbstoff-Konzentration in den später erscheinenden distalen Tubuli hinweist.

### *Wiederholung des gleichen Experiments*

Bei etwas stärkerer Vergrößerung (Auflicht-Immersionsobjektiv 11,0 ULTROPÄK, LEITZ) wird das gleiche Experiment wiederholt:

Farbstoff-Passage durch proximale Tubuli. — Entfärbung der Nierenoberfläche. Jetzt durchläuft der Farbstoff einen längeren, distalen Tubulus. Die Strömungsgeschwindigkeit ist distal langsamer, der Farbstoff konzentrierter. — Oben im Bild ein anderer distaler Tubulus.

Bei starker Vergrößerung (Auflicht-Immersionsobjektiv 22,0 ULTRAPAK, LEITZ) wird eine einzelne, längere, proximale Tubusschlinge nach intravenöser Stoßinjektion von Lissamingrün gezeigt.

Bei den hier vorliegenden besonders günstigen Bedingungen zeichnet sich eine Farbfront ab, so daß die intratubuläre Passage des gefärbten Harnstromes jetzt direkt beobachtet werden kann. Damit sind Strömungsgeschwindigkeiten direkt meßbar.

### *Verhalten der proximalen und distalen Tubuli bei Unterbrechung der glomerulären Filtration*

#### *Farbstoffpassage durch distale Tubuli und anschließende Aortenabklemmung*

Unterbrechung der glomerulären Filtration durch Aortenabklemmung führt zum Kollaps der proximalen Harnkanälchen, da die tubuläre Reabsorption zunächst trotz des Zirkulationsstops weiterläuft. Dies gilt jedoch nur für die proximalen Harnkanälchen, während die Lumina der distalen unter den gleichen Bedingungen offen bleiben. Da die Lumina der distalen Tubuli im Gegensatz zu den proximalen jedoch ohne Farbstoff-Füllung schwer zu beurteilen sind, wurde die Aortenabklemmung während einer Farbstoffpassage durch die distalen Tubuli der Nierenrinde durchgeführt:

Die Aorta wird oberhalb der Nierenarterie abgeklemmt. Mit dem Absinken des Filtrationsdruckes kollabieren die proximalen Tubuli, während die farbstoffgefüllten distalen offen bleiben. — Aortenabklemmung — Zustand nach vier Sekunden.

Nach zwei Minuten sind nur die proximalen Tubuli kollabiert. Während der Aortenabklemmung nimmt der äußere Umfang der Niere ab. Diese lockert sich dadurch in dem mit Watte ausgepolsterten Nierenlöffel. Bei Wiederöffnung der Aortenklemme kommt es daher



zu besonders starken Bewegungen der Niere, welche durch die Atmung des Tieres sowie insbesondere auch durch Gefäßpulsationen bedingt sind.

Nach drei Minuten wird die Aortenabklemmung beendet und der Blutstrom zur Niere freigegeben. Die proximalen Tubuli entfalten sich wieder. Man beachte den immer noch offenen, hakenförmigen distalen Tubulus etwas unterhalb der Bildmitte, in welchem sich noch Farbstoff befindet.

Bei Wiederentfaltung aller proximalen Tubuli kollabieren die distalen. Dieser Zustand hält mehrere Minuten an. Hakenförmiger distaler Tubulus durch proximale Tubuli komprimiert. — Nach fast zehn Minuten fließt der Farbstoff ab; die distalen Tubuli entfalten sich wieder. — Ende der Farbstoff-Passage.

### Literatur

- [1] GOLDACRE, R. J., and B. SYLVEN: A rapid method for studying tumor blood supply using systemic dyes. *Nature (Lond.)* **184** (1959), 63—64.
- [2] GOTTSCHALK, C. W., and M. MYLLE: Micropuncture study of pressures in proximal and distal tubules and peritubular capillaries of the rat kidney during osmotic diuresis. *Amer. J. Physiol* **189** (1957), 323—328.
- [3] HANSEN, O. E.: Early post mortem renal changes studied in mice with one kidney exteriorized.  
2. The functional and the early post mortem morphology of the kidney. *Acta Path. Microbiol. Scand.* **49** (1960), 297—320.
- [4] LEYSSAC, P. P.: Some characteristics of the proximal tubular wall related to reabsorption during luminal occlusion following interruption of glomerular filtration. *Acta Physiol. Scand.* **63** (1965), 36—45.
- [5] STEINHAUSEN, M.: Eine Methode zur Differenzierung proximaler und distaler Tubuli der Nierenrinde von Ratten in vivo und ihre Anwendung zur Bestimmung tubulärer Strömungsgeschwindigkeiten. *Pflügers Arch. ges. Physiol.* **277** (1963), 23—35.
- [6] STEINHAUSEN, M.: Lebendbeobachtungen von Farbstoff-Passagen in Netzhautgefäßen. *Albrecht v. Graefes Arch. Ophthalm.* **166** (1963), 412—414.
- [7] STEINHAUSEN, M.: In-vivo-Beobachtungen an der Nierenpapille von Goldhamstern nach intravenöser Lissamingrüninjektion. *Pflügers Arch. ges. Physiol.* **279** (1964), 195—213.
- [8] STEINHAUSEN, M.: Ausscheidung von Eiweißzylindern durch das Sammelrohrsystem des Goldhamsters (Lebendbeobachtungen an der Nierenpapille). In: *Aktuelle Probleme der Nephrologie*. Springer, Berlin-Heidelberg-New York 1966.
- [9] STEINHAUSEN, M.: Der tubuläre Harnstrom (dargestellt unter besonderer Berücksichtigung intravital-mikroskopischer Untersuchungen an Ratten-, Katzen- und Goldhamsternieren). *Habilitationsschrift, Heidelberg* 1965.

- [10] STEINHAUSEN, M., I. IRAVANI, G. E. SCHUBERT und R. TAUGNER unter Mitarbeit von A. BRAUN, H. v. EGIDY, F. P. ROHMANN und G. TAUGNER: Auflichtmikroskopie und Histologie der Tubulusdimensionen bei verschiedenen Diuresezuständen. *Virchows Arch. path. Anat.* **336** (1963), 503—527.
- [11] STEINHAUSEN, M., und A. LORETH: Lissamingrün als Kontrastmittel für mikrozirkulatorische Untersuchungen an Auge und Niere im Tierversuch. *Ber. dt. ophthal. Ges.* **67** (1965), 140—144.
- [12] STEINHAUSEN, M., A. LORETH und S. OLSON: Messungen des tubulären Harnstromes, seine Beziehungen zum Blutdruck und zur Inulin-Clearance (Intravitalmikroskopische Untersuchungen an der Nierenrinde von Ratten und Katzen). *Pflügers Arch. ges. Physiol.* **286** (1965), 118—141.
- [13] STEINHAUSEN, M.: Messungen des tubulären Harnstromes und der tubulären Reabsorption unter erhöhtem Ureterdruck (Intravitalmikroskopische Untersuchungen an der Nierenrinde von Ratten). *Pflügers Arch. ges. Physiol.* **298** (1967), 105—130.
- [14] SWANN, H. G.: The functional distension of the kidney, a review. *Texas Rep. Biol. Med.* **18** (1960), 566—595.
- [15] THURAU, K., und P. DEETJEN: Kinematographische Untersuchungen am Warmblüternephron. *Nachr. Akad. Wiss. Göttingen, Math.-Phys. Kl., H. 2* (1961), 27—37.
- [16] ULLRICH, K. J.: zit. nach THURAU und DEETJEN [15].
- [17] WALKER, A. M., und J. OLIVER: Methods for the collection of fluid from single glomeruli and tubules of the mammalian kidney. *Amer. J. Physiol.* **134** (1941), 562—579.
- [18] WIRZ, H.: Der osmotische Druck des Blutes in der Nierenpapille. *Helv. physiol. pharmacol. Acta* **11** (1953), 20—29.
- [19] WIRZ, H.: Druckmessung in Kapillaren und Tubuli der Nieren durch Mikropunktion. *Helv. physiol. pharmacol. Acta* **13** (1965), 42—49.

## **Angaben zum Film**

Der Film ist ein Forschungsdokument und wurde zur Auswertung in Forschung und Hochschulunterricht veröffentlicht.

Stummfilm, farbig, 60 m, 5½ min (Vorführgeschw. 24 B/s).

Die Filmaufnahmen entstanden in den Jahren 1963/64 im Physiologischen Institut der Universität Heidelberg (Direktor: Prof. Dr. H. SCHAEFER), Wissenschaftliche Leitung: Univ.-Doz. Dr. M. STEINHAUSEN. Bearbeitet und veröffentlicht durch das Institut für den Wissenschaftlichen Film, Göttingen (Direktor: Prof. Dr.-Ing. G. WOLF), Sachbearbeitung: Dr. K.-H. HÖFLING.

## **Inhalt des Films**

Im Film wird nach Darstellung der normalen, dekapsulierten Nierenoberfläche einer narkotisierten Albinoratte die Passage von intravenös injiziertem Lissamingrün an der Nierenoberfläche gezeigt. Der Farbstoff passiert die Vasa efferentia, die proximalen und die distalen Tubuluslumina zu charakteristischen Zeiten und ermöglicht dadurch — neben der Differenzierung proximaler und distaler Tubuli — die Bestimmung tubulärer Stromstärken. Es folgt die Darstellung des Verhaltens der proximalen und distalen Tubuluslumina bei Unterbrechung der glomerulären Filtration durch Aortenabklemmung.

## **Summary of the Film**

After showing the normal, decapsulated kidney surface of an anaesthetized albino rat, the film shows the passage of intravenously injected Lissamingreen on the kidney surface. The dye passes through the vasa efferentia, the proximal and the distal tubulus lumina at characteristic times, thereby permitting — in addition to the differentiation of proximal and distal tubuli — the determination of tubular flow rates. This is followed by a description of the behaviour of the proximal and distal tubuli lumina during interruption of glomerular filtration by clamping the aorta.

## **Résumé du Film**

Après une présentation de la surface normale décapsulée du rein d'un rat narcotisé, le film montre le passage à la surface du rein du vert de lissamine injecté par voie intraveineuse. La matière colorante passe par le "vasa efferentia", ainsi que par le "tubulus lumina" proche et distant, à un rythme caractéristique et donne ainsi la possibilité de fixer l'importance des courants tubulaires. Ensuite le film démontre le comportement du "tubulus lumina" proche et distant lors de l'interruption et de la reprise de la filtration glomérulaire.