(Aus der Universitäts-Frauenklinik Graz [Vorstand: Hofrat Prof. Dr. *Emil Knauer*].)

Zur Physiologie der Spermatozoen.

Von

Prof. Dr. **Hermann Knaus,**
Assistent der Klinik.

Mit 7 Textabbildungen.

Aus der klinischen Literatur über die Frage der Dauer der Befruchtungsfähigkeit der Spermatozoen in den weiblichen Genitalorganen läßt sich entnehmen, daß die Anschauungen hierüber sehr stark auseinandergehen. Diese Verschiedenheit im Urteil über die Dauer der Befruchtungsfähigkeit der Samenfäden scheint vorwiegend darin ihre Ursache zu haben, daß man in der Beweglichkeit der Spermatozoen den Ausdruck ihrer Befruchtungsfähigkeit gesehen hat. Diese Gleichsetzung von Bewegungs- mit Befruchtungsfähigkeit der männlichen Keimzellen ist, wie wir erfahren werden, heute nicht mehr aufrechtzuerhalten. Seit dem Jahre 1922 haben die Forschungen der Biologen und Anatomen auf dem Gebiete der Lebenseigentümlichkeiten der Spermatozoen solche Fortschritte gemacht, daß wir Kliniker an diesen wertvollen Untersuchungsergebnissen nicht länger vorübergehen können und unsere bisher vertretenen Ansichten einer sachlichen Überprüfung unterziehen müssen. In den folgenden Ausführungen soll daher der Versuch unternommen werden, eine Darstellung alles Wesentlichen und Neuen aus der Physiologie der männlichen Keimzellen zu geben, das vor allem für das Verständnis des Befruchtungsvorganges von Bedeutung ist.

Sobald sich die fertiggebildeten Samenfäden aus der Verbindung mit ihren Stützzellen gelöst haben, entfacht bereits in den gewundenen Hodenkanälchen die schwach alkalische Reaktion der Hodenflüssigkeit eine Schlängelbewegung ihres Schwanzes. Sie wandern dann aus eigenem Antrieb gegen den Flimmerstrom des Wandepithels durch das Gangsystem des Hodenhilus und des Nebenhodenkopfes in den Nebenhodengang ein. Die alte Vorstellung, daß die Spermatozoen von ihrer Bildungsstätte im Hoden etwa durch einen Sekretabfluß, also ohne die geringste Eigenbewegung, bis in den Samenleiter getrieben werden, ist, um nur die verdienstvollsten Autoren zu nennen, nach den Untersuchungen von *Rehfisch*, *Walker*, *Stigler*, *Redenz*, *Römmele* und *v. Lanz* sicher falsch. Die Feststellung der Beweglichkeit der Spermatozoen aus dem

Hoden, Nebenhoden und Vas deferens ist, wie ich mich selbst überzeugen konnte, an Samenfäden eines frisch getöteten Kaninchens außerordentlich leicht und eindeutig.

Bei diesen Untersuchungen über die Beweglichkeit der Samenfäden aus den verschiedenen Abschnitten der männlichen Geschlechtsdrüse fällt aber auf, daß die Motilität der Spermatozoen in Abhängigkeit vom Orte ihres Aufenthaltes zu stehen scheint. So läßt sich an unter gleichen Bedingungen gewonnenen Spermatozoen zeigen, daß diese auf ihrer Wanderung aus dem Hoden durch das Rete testis und die Ductuli efferentes bis in den Nebenhodenkopf stetig an Beweglichkeit zunehmen, nach ihrem Eintritt in den Nebenhodenschweif jedoch wieder an Beweglichkeit verlieren. Es fragt sich nun, ob dieser unverkennbare Wechsel im Verhalten der Spermatozoen durch eine chemisch-physikalische Milieuänderung oder durch ein Fortschreiten in der Entwicklung der Spermatozoen selbst bedingt wird. Diese Frage ist zunächst im Sinne einer Reifung der Samenfäden während ihres Abwanderns im langen Gangsystem des Hodens und Nebenhodens durch die Untersuchungen von *Walker*, *Stigler*, *Redenz*, *Römmele* u. a. widerspruchslos entschieden und wird durch folgendes einfache Experiment wieder in derselben Weise beantwortet. Entnimmt man aus den einzelnen Abschnitten des Hodens und Nebenhodens eines eben getöteten Kaninchens je einen Sekrettropfen und setzt zu diesen einen Tropfen der von *Hirokawa* angegebenen, schwach alkalischen Spermaverdünnungsflüssigkeit (ein Teil $^1/_{10}$ Normal-NaOH-Lösung auf 100 Teile Ringer) hinzu, so kann man bei mikroskopischer Beobachtung der darin aufgeschwemmten Spermatozoen einwandfrei feststellen, daß diese im Vergleiche zu den reinen Nativpräparaten in allen Proben eine viel stärkere Beweglichkeit zeigen. Trotzdem aber, und das muß besonders hervorgehoben werden, bleibt der auffallende Unterschied in der Beweglichkeit zwischen den verschiedenen Spermatozoensorten unverwischt erhalten; es gelingt also auch nach Hinzufügen der stark aktivierenden Spermaverdünnungsflüssigkeit nicht, die Hodenspermatozoen zu einer Bewegungsintensität zu entfachen, die jener der Spermatozoen aus dem Nebenhodenschweif oder Vas deferens nur annähernd gleichkäme. Diese Tatsache erhellt, daß die Samenfäden im Laufe ihrer Entwicklung von Hoden- zu Nebenhodenschweifspermatozoen, die sich morphologisch durch den Sitz des ihrem Zelleib anhaftenden Protoplasmatropfens voneinander unterscheiden, beträchtlich an Bewegungsfähigkeit gewinnen, was wir mit einem allmählichen, auf der Wanderung vor sich gehenden Schwinden einer intracellulär bedingten Bewegungshemmung deuten wollen.

Um die Aufklärung der physiologisch sehr bedeutungsvollen Erscheinung, daß die Spermatozoen nach ihrem Eintritt in den Nebenhodenschweif wieder an Beweglichkeit einbüßen, und zwar, obwohl die Nebenhodenschweifspermatozoen, wie aus dem beschriebenen Ergebnis

von der Einwirkung der Spermaverdünnungsflüssigkeit auf die verschiedenen Samenfädensorten klar hervorgeht, die größte Bewegungsfähigkeit besitzen, haben sich vor allem *Redenz* und *v. Lanz* durch ausgezeichnete Untersuchungen verdient gemacht. Nach Ansicht der genannten Autoren verfügt speziell der Nebenhodenschweif über Einrichtungen, die den Zweck haben, die voll bewegungsfähigen Samenfäden ruhigzustellen und so eine vorzeitige Erschöpfung der den Spermatozoen innewohnenden, aber doch begrenzten Bewegungsenergie zu verhindern, was im wesentlichen durch einen weitgehenden Sauerstoffentzug erreicht wird. Die ganz ausgereiften Spermatozoen leben nämlich im Nebenhodenschweif in einem Gang von relativ ungeheurer Lichtung; die räumlichen Beziehungen zwischen einem Spermium und der Weite des Nebenhodenschweifes sind, ins Große übertragen, nach *Redenz* etwa so, als ob ein Mensch sich in einem Hohlzylinder von 100 m Durchmesser befände. Stellen wir uns weiterhin vor, daß der Sauerstoffbedarf der vielen Millionen Spermien, die gerade im Nebenhodenschweif in größter Dichte beisammenliegen, nur von der Wand dieses riesigen Hohlzylinders aus gedeckt werden kann, so ist verständlich, daß hier das Sauerstoffangebot klein, der Kohlensäureüberschuß in Gegenwart so vieler atmender Zellen ungewöhnlich groß ist. Daß die Nebenhodenschweifspermatozoen durch diese Sauerstoffnot zur Ruhe gezwungen werden, ist daraus zu ersehen, daß sie sich, wenn unter Luftabschluß aus dem Nebenhodenschweif entnommen, träge bewegen und erst auf Zufuhr von Sauerstoff oder Luft in äußerste Bewegungsintensität geraten, die durch Kohlensäurezuleitung wieder bis zu vollkommenem Bewegungsstillstand aufgehoben werden kann. Diese hohe Kohlensäurespannung im Nebenhodenschweif wird in ihrer lähmenden Wirkung auf die Spermatozoen noch unterstützt durch ein spezifisches Nebenhodensekret, das sich nach den Untersuchungen von *v. Lanz* durch eine verhältnismäßig hohe H-Jonen-Konzentration und starke Pufferung auszeichnet. Während das Sekret in den gewundenen Hodenkanälchen mit einer Wasserstoffionenkonzentration von $p_H = 7{,}19 - 7{,}37$ und hinsichtlich seiner Pufferung chemisch-physikalisch dem Blute nahesteht und so ein für Atmung und Bewegung der Samenfäden günstiges Milieu darstellt, nehmen Pufferung und Wasserstoffionenkonzentration in der Nebenhodenschweifflüssigkeit ($p_H = 6{,}48$—$6{,}61$) zu und bedingen zum Teil jene für den Nebenhodenschweif funktionell charakteristische Ruhigstellung der an sich maximal bewegungsfähigen Spermatozoen.

Nach diesen Feststellungen über die Funktion des Nebenhodens als wohl eingerichtetes Speicherorgan war es naheliegend zu untersuchen, wie lange die Spermatozoen im Nebenhodenschweif befruchtungsfähig bleiben. Zur Beantwortung dieser Frage exstirpierte *Redenz* an 3 Kaninchen beide Hoden und ließ nur Nebenhodenkopf und -schweif zurück, um die so operierten Tiere im Wege des natürlichen Deckaktes auf ihre

Fruchtbarkeit zu prüfen. Dabei zeigte sich, daß eines dieser 3 Kaninchen noch 2 Monate nach Entfernung der Hoden ein Weibchen befruchtete, das nach normaler Tragdauer 12 Junge zur Welt brachte. Derselbe Autor fand an einem Hund, dem beide Hoden und Nebenhodenköpfe weggenommen worden waren, noch 3 Monate nach der Operation spärlich bewegliche Spermatozoen im Nebenhodenschweif. *Hammond* und *Asdell* stellten zur Klärung dieser Frage systematische Untersuchungen an Kaninchen an, deren Isthmus epididymidis, also der Verbindungsgang zwischen Nebenhodenkopf und -schweif, durchtrennt wurde. In dieser Versuchsreihe blieben bis zum 20. Tage nach der Isolierung des Nebenhodenschweifes 100%, bis zum 30. Tage 36% und bis zum 40. Tage 20% der Kaninchen fruchtbar; nach dem 40. Tage waren alle Tiere unfruchtbar, ihre Spermatozoen jedoch zeigten in einzelnen Fällen noch bis zum 60. Tage eine bestimmte Beweglichkeit. *Young* führte identische Untersuchungen an Meerschweinchen aus und gelangte zu dem Ergebnis, daß auch die Spermatozoen dieses Tieres im Nebenhoden 25—30 Tage befruchtungsfähig und 50—59 Tage beweglich bleiben. *Moore* prüfte nur die Dauer der Bewegungsfähigkeit der Spermatozoen im isolierten Nebenhoden und begrenzte diese für das Meerschweinchen mit 70 Tagen, für die Ratte mit etwa 30 Tagen, und *Benoit* für die Maus mit 2 Monaten. Damit war in Ergänzung der anatomischen und chemisch-physikalischen Forschungen auch der biologische Nachweis für den konservierenden Einfluß des Nebenhodens auf die Spermatozoen, wie ihn *van der Stricht* als erster richtig erkannt hatte, an 5 verschiedenen Tieren erbracht.

Schließlich bleibt noch zu erörtern, von welcher Seite her die Ausscheidung dieses spezifischen Sekretes, das die Spermatozoen im Nebenhoden zur vollen Reife bringt und dort wochenlang befruchtungsfähig erhält, gesteuert wird. *Benoit*, *Moore* und *v. Lanz* haben sich mit dieser Frage beschäftigt und übereinstimmend die Abhängigkeit der spezifischen Nebenhodensekretion vom Hodenhormon experimentell nachgewiesen.

Nachdem es mit diesen Untersuchungen über die Funktion des Nebenhodens erwiesen war, daß die Spermatozoen nach ihrer Loslösung vom Keimepithel mehrere Wochen befruchtungsfähig und darüber hinaus bewegungsfähig bleiben, also lange Zeit hindurch im Nebenhoden in wahrer Befruchtungsbereitschaft gehalten werden, ging man daran, die Bedingungen zu finden, unter welchen die Spermatozoen auch außerhalb des Körpers ihre Befruchtungsfähigkeit behalten können. Auch darüber haben die Engländer *Hammond* und *Walton* ausgezeichnete systematische Untersuchungen an Kaninchen angestellt und dazu Sperma aus dem Nebenhoden, bzw. Vas deferens und frisches Ejakulat aus der Vagina verwendet, das zur Verhinderung des Gasaustausches in kleinen Glasröhrchen unter Paraffinöl aufgefangen und in den Thermostaten gebracht wurde. Die Befruchtungsfähigkeit der Samenfäden solcher Sperma-

proben wurde durch künstliche Besamung von Weibchen festgestellt, bei welchen die Ovulation im Wege der sterilen Begattung durch einen vasektomierten Rammler ausgelöst wurde. Auf diese Weise gelang es den beiden Autoren zu zeigen, daß es unter ganz bestimmten Bedingungen möglich ist, frisches, aus der Vagina genommenes Ejakulat bis zu 4 Tagen und aus dem Nebenhoden bzw. Vas deferens ausgedrücktes Sperma bis zu 7 Tagen in vitro befruchtungsfähig zu erhalten. Ausschlaggebend für diese maximale Leistung in der Konservierung von Sperma außerhalb des Körpers war nach den Beobachtungen der genannten englischen Forscher die Temperatur, bei welcher die Spermatozoen aufbewahrt wurden. Während in beiden Reihenuntersuchungen übereinstimmend gefunden wurde, daß die in vitro überlebenden Spermatozoen bei Körpertemperatur nur 13—14 Stunden befruchtungsfähig bleiben, wurde als thermisches Optimum für die Konservierung der Samenfäden außerhalb des Körpers Temperaturen zwischen 10—15° C ermittelt; und selbst bei 0° C waren die besten Erfolge — 16 bzw. 72 Stunden — in der Erhaltung befruchtungsfähiger Spermatozoen größer als jene bei Körpertemperatur.

Diese bemerkenswerte Feststellung, daß sich Spermatozoen eines Warmblüters bei einem so tief unter der normalen Körpertemperatur liegenden Wärmegrad in vitro am längsten befruchtungsfähig erhalten lassen, steht in auffallender Übereinstimmung mit vielen in der Literatur erwähnten Beobachtungen. So fanden *Höhne* und *Behne* bei ihren Untersuchungen über die Lebensdauer der Spermatozoen, daß sich diese in der Scheide des toten Tieres länger am Leben erhalten als in der Scheide des lebenden Tieres. Nach *Stigler* führen Temperaturen von einer Höhe, wie sie im Fieber vorkommt, schon nach einigen Stunden zur Wärmestarre isolierter menschlicher Spermatozoen. *Nürnberger* beobachtete, daß menschliche Spermatozoen in vitro bei Zimmertemperatur (18—20° C) viel länger als im Brutofen beweglich bleiben. Desgleichen verfolgte *Mettenleiter* bei allen kalt aufbewahrten Spermasuspensionen eine bedeutend längere Lebensdauer der Samenfäden als bei Zimmer- oder Körperwärme konserviertem Sperma. Nach *Redenz* sind im heißen Sommer die Spermien, die im Nebenhodenschweif belassen werden, schon viel kürzere Zeit nach dem Tode des Tieres nicht mehr beweglich als im Winter. Und *Iwanoff* erzielte an Ratten und Kaninchen noch künstliche Befruchtung mit 8 Tage im Nebenhoden konservierten Spermatozoen, soferne die steril exstirpierten Organe bei 1—2° C aufbewahrt wurden. Nach den Angaben desselben Autors enthalten Hoden, die im Kälteschrank liegen, noch nach mehreren Tagen lebende Spermatozoen, im Gegensatz zu Hoden, die nach ihrer Isolierung der Zimmer- oder Brutschranktemperatur ausgesetzt werden. In Übereinstimmung damit empfiehlt *Römmele*, daß Sperma, das längere Zeit aufbewahrt werden soll, am besten unverdünnt in gut verschlossenen Glasröhrchen bei

4—9° C gehalten wird. Endlich stellte auch *Mönch* bei seinen Untersuchungen über den Einfluß verschiedener Temperaturen auf die Spermatozoen fest, daß diese, ganz gleichgültig in welcher Nährlösung sie aufgeschwemmt werden, bei Körpertemperatur die kürzeste Lebensdauer aufweisen.

Wenn auch nach allen diesen Beobachtungen der ungünstige Einfluß der Körpertemperatur auf die Lebensdauer von außerhalb des Körpers gehaltenen Spermatozoen außer Zweifel steht, so scheint es zunächst ganz unverständlich, wie denn die Samenfäden im intakten Hoden und Nebenhoden, also bei Bluttemperatur, so lange Zeit befruchtungsfähig bleiben können. Sollten hier nur andere Faktoren, wie das spezifische Nebenhodensekret und seine Pufferung oder die hohe Kohlensäurespannung in den Nebenhodenkanälchen, eine Rolle spielen und die Temperaturverhältnisse für die Konservierung der Samenfäden in der männlichen Geschlechtsdrüse in situ vollkommen gleichgültig sein?

Es liegt bereits eine Anzahl von Arbeiten vor, die über den Einfluß höherer Außentemperaturen auf die Zeugungsfähigkeit männlicher Tiere Aufschluß geben. *Hart* hat als erster auf degenerative Veränderungen am Hoden grauer Hausmäuse, die in Brutöfen bei Temperaturen von 32—40° C gehalten wurden, hingewiesen. Dabei ist die Schwere der Degeneration der samenbildenden Zellen abhängig von der Höhe der abnormen Temperatur und der Dauer ihrer Einwirkung auf die Experimentaltiere, an denen es schließlich zu einer nahezu vollständigen Zerstörung des spezifischen Hodenparenchyms kommt. Doch bleiben immer einige Spermatogonien erhalten, von denen eine Neubildung der Samenzellen ausgehen kann. Denn ausgedehnte Versuche haben gezeigt, daß nach Überstellen der Hitzemäuse in normale Außentemperaturen die samenbildenden Zellen sich regelmäßig regenerierten und damit auch wieder normale Bilder der Spermatogenese auftraten. Es ist also diese Schädigung des Hodenparenchyms ausgleichbar. Im Gegensatz zu diesen Befunden an Hoden von Hitzemäusen hat sich in allen Fällen von Kältemäusen — bei 4—7° C gehalten — eine normale, ja zuweilen sogar gesteigerte Spermatogenese gefunden. Trotz dieser Beobachtungen hält *Hart* es für am unwahrscheinlichsten, daß ein unmittelbarer Einfluß der abnormen Temperatur auf die Keimzellen vorliegt, sondern denkt eher an die Möglichkeit einer schädigenden Einwirkung hoher Außentemperaturen auf die Schilddrüse und den Gesamtstoffwechsel, was sekundär erst zur Degeneration der Keimdrüsen führe. Gleiche Versuche wurden dann auch von *Stieve* und *v. Lanz* an *Hitzemäusen* angestellt und durch eine längere Beobachtungszeit in ihren Ergebnissen bereichert. So beobachtete *Stieve*, daß schon nach einem Aufenthalte im Brutofen von 15—30 Min. Dauer die Hoden tief in den Hodensack herabtreten, diesen erweitern und prall anfüllen, so daß er als geschwulstähnliche Vorwölbung am Boden schleift. Dabei tauchen die Tiere ihr hinteres

Körperende vielfach in das Wassergefäß ein. Aber auch nach Ansicht *Stieves* könne die Außenwärme von 37° C selbst nicht für die schweren Veränderungen am Hoden, die ausnahmslos zur temporären Sterilisierung der Tiere führen, verantwortlich gemacht werden, da sich die Hoden im Inneren der Bauchhöhle ja doch andauernd in einer Temperatur von 37—38° C befänden. Die Untersuchungen von *Moore, Crew, Fukui* und *Young* haben aber auf das deutlichste gezeigt, daß die von *Hart, Stieve* und *v. Lanz* beschriebenen degenerativen Veränderungen am Hoden von Hitzemäusen auch dann auftreten, wenn die abnorme Wärmeeinwirkung ausschließlich auf die Hoden selbst beschränkt bleibt. Und da ist es ganz gleichgültig, ob nun die abnorme Wärme in Form von Bestrahlung mit elektrischer Glühlampe, von heißer Luft, von Warmwasserbädern oder -umschlägen, durch Auflegen von gewärmtem Paraffin (Schmelzpunkt 50° C) oder heißen Leinsamenkompressen am Scrotum zur Anwendung gelangt, es kommt stets zu mehr oder weniger tiefgreifenden Schädigungen des Hodenparenchyms, und zwar ganz einerlei, welches Tier mit Scrotalhoden zum Versuch herangezogen wird. Die Intensität der Zerstörung des Keimepithels ist auch hier, wie bei den Hitzemäusen, abhängig vom Grad der applizierten Wärme, der Dauer ihrer Einwirkung und von der Größe des behandelten Hodens; während an kleinen Hoden (Meerschweinchen oder Kaninchen) alle Partien des Organes in kurzer Zeit schwersten Schaden leiden, werden bei Einhaltung derselben Versuchsbedingungen am großen Hoden (Ziegenbock oder Widder) in erster Linie die peripheren Anteile desselben durch die Wärme zerstört. Hierbei entfaltet trockene Wärme eine schwächere Wirkung als feuchte Wärme. So genügt z. B. ein Überspülen des Scrotum mit warmem Wasser von 46° C oder das Hineintauchen desselben in ein Wasserbad derselben Temperatur während 30 Min., um an den Hoden des Meerschweinchens so schwere Schädigungen zu setzen, daß es innerhalb von 12 Tagen bis auf einzelne Spermatogonien und *Sertoli*sche Zellen zur vollständigen Vernichtung des Keimepithels kommt. Die im Nebenhoden aufgestapelten Spermatozoen ertragen jedoch diesen kurzdauernden thermischen Insult und bleiben dort bis zum 31. Tage nach der scrotalen Wärmeapplikation befruchtungsfähig; nach diesem Zeitpunkte tritt als Folge mangelnder Spermatogenese Sterilität ein. Sowie aber der destruktive Prozeß am Epithel der Hodenkanälchen beendet ist, setzt eine lebhafte Regeneration, ausgehend von den überlebenden Spermatogonien, ein und führt innerhalb von 6 Monaten zu einem fast vollständigen Wiederaufbau des Hodenparenchyms mit normaler Spermatogenese. Die Beziehungen zwischen dem Grad der Wärme bzw. der Dauer ihrer Einwirkung und der dadurch bedingten typischen Hodendegeneration werden durch die Untersuchungen von *Fukui* wohl auf das klarste veranschaulicht. Diese Versuche haben ergeben, daß beim Kaninchen ein Heißluftbad des Scrotum bei 40° C

(normale Temperatur im Rectum) von 200 Stunden, bei 41° C von 100 Stunden, bei 42° C von 72 Stunden, bei 43° C von 32 Stunden und ein Warmwasserbad bei 44—45° C von 3 Stunden, bei 45—46° C von einer Stunde, bei 46—47° C von 1/2 Stunde, bei 47—48° C von nur 20 Minuten Dauer die nunmehr schon bekannte Wärmeschädigung des Hodens verursacht.

Moore und *Oslund,* und *Crew* haben aber weiterhin gezeigt, daß zur Erzeugung dieser spezifischen Hodendegeneration eine dem Scrotum von außen zugeführte Wärme gar nicht notwendig ist, sondern daß die Einhüllung des Hodensackes in einen möglichst wasser- und wärmedichten Stoffbeutel schon genügt, um bereits nach 50 Tagen dieselben Erscheinungen am Hoden hervorzurufen und die Tiere (Schwein, Ziege und Schaf) für ein Jahr zu sterilisieren. Wird also dem Scrotum allein nur die Möglichkeit genommen, seine auf der Höhe der Körpertemperatur stehende Wärme nach außen hin abzugeben, so hat diese Unterdrückung der Wärmeabgabe schon deletäre Hodenveränderungen zur Folge. Aus dieser Beobachtung geht eindeutig hervor, daß dem Scrotum die Funktion zukommen muß, die Hoden vor einer Erwärmung bis zur eigenen Körpertemperatur zu bewahren. Diese für die gesamte Fortpflanzungsphysiologie so bedeutende Erkenntnis von der Bestimmung des Scrotum als wärmeregulierendes Organ verdanken wir dem Engländer *F. A. E. Crew* und dem Amerikaner *C. R. Moore.*

In Übereinstimmung mit dieser Feststellung von *Crew* und *Moore* steht die Beobachtung von *Stieve* an Mäusen, bei denen unter dem Einfluß hoher Außentemperaturen sich der Hodensack abnorm entfaltet, um so offenbar die Hoden tief herabtreten zu lassen und durch Ausnützung der extremen Oberflächenvergrößerung der Scrotalhaut und damit gesteigerten Wärmeabgabe vor Überwärmung zu schützen. *Römmele* gibt an, daß bei Hengsten in starker Arbeit das Scrotum immer schlaffer wird und dadurch sich immer weiter vom überhitzten Körper entfernt; bei großer Kälte dagegen zieht sich dasselbe auf ein Minimum zusammen, womit die Hoden fest an den Körper herangepreßt werden. Und beachten wir endlich das Verhalten des menschlichen Scrotum gegenüber Temperaturschwankungen, sein auffallendes Erschlaffen beim Erwärmen des Körpers, sein erstaunliches Schrumpfen im kalten Wasser während eines Freibades, so kann uns seine funktionelle Aufgabe nicht mehr unklar sein. Die Scrotalhaut unterscheidet sich demnach von der gesamten übrigen Körperdecke nicht nur anatomisch durch den vollständigen Mangel an Fettgewebe und durch die Einlage einer relativ starken glatten Muskelschichte, der Tunica dartos, sondern auch funktionell durch eine um vieles größere Kontraktionsfähigkeit und Empfindlichkeit gegenüber thermischen Reizen.

Wenn dem Scrotum tatsächlich die Aufgabe zukommen soll, die Testes bei einer Temperatur zu halten, die tiefer ist als die Körperwärme,

so muß sich auch eine Differenz zwischen den Temperaturen in der Bauchhöhle und im Scrotum nachweisen lassen. Solche Temperaturmessungen wurden von *Moore* und *Quick*, *Crew*, *Hammond* und *Asdell* und *Römmele* an Ratten, Meerschweinchen, Kaninchen und Stieren ausgeführt und bei den kleineren Tieren Unterschiede von 2,5—7° C festgestellt; *Römmele* konnte an Stieren Differenzen zwischen Bauchhöhlen- und Scrotumtemperaturen von sogar 6—10° C erheben. Damit ist aufs neue bewiesen, daß das Scrotum die Fähigkeit besitzt, einer Erwärmung der Hoden bis zur Bluttemperatur wirkungsvoll entgegenzuarbeiten.



Abb. 1. Schnitt durch den Scrotalhoden eines Kaninchens mit Monorchismus (Vergrößerung 1:8).

Nachdem *Crew* die physiologische Bedeutung des Scrotum als Kühlapparat für die Testes richtig erkannt hatte, war es ihm auch möglich, die wahre Ursache der in der Medizin und Tierheilkunde geläufigen Sterilität bei Cryptorchismus anzugeben. Der cryptorchide Hoden bleibt deshalb auf einer kindlichen Entwicklungsstufe stehen, weil er immer der Bauchhöhlenwärme ausgesetzt ist, bei deren Temperatur eine volle Differenzierung des Keimepithels mit normaler Spermatogenese unmöglich ist. Diese Ansicht findet eine weitgehende Bestätigung in den zahlreichen Erfolgen der chirurgischen Behandlung des cryptorchiden Hodens bei Knaben, die in nichts anderem besteht als in der Verlagerung des Hodens aus der Bauchhöhle oder dem Leistenkanal in das Scrotum, wo der Hoden durch die Einwirkung der kühleren Temperatur erst den elektiven Entwicklungsimpuls empfängt.

Unter meinen selbstgezüchteten einjährigen Kaninchen fand sich durch Zufall ein Tier mit angeborenem Monorchismus. Nach Entdeckung dieser Anomalie wurde das Tier etwa 3 Monate hindurch unter genauer Beobachtung gehalten und dabei festgestellt, daß immer nur der linke Hoden im Scrotum lag. Nachdem auf diese Weise die gelegentlich der ersten Untersuchung ausgesprochene Diagnose gesichert war, wurde das Tier getötet, um die beiden Hoden für eine vergleichende Untersuchung zu gewinnen. Nach Eröffnung der Bauchhöhle lag der cryptorchide Hoden

ganz frei und beweglich oberhalb des inneren Leistenringes, während vom linken Hoden nur das aus dem Leistenkanal austretende Vas deferens zu sehen war. Warum der rechte Hoden in der Bauchhöhle liegengeblieben war, konnte nicht ermittelt werden. Daraufhin wurde der linke Hoden aus seinem normalen Situs durch den beim Kaninchen immer offenen Leistenkanal in die Bauchhöhle heraufgedrückt und kam so neben seinen cryptorchiden Nachbar zu liegen. Der Scrotalhoden (3,70 g Gewicht) zeigte die typische Hodenkonsistenz, war also prall gespannt und mehr als doppelt so groß als der cryptorchide Hoden (1,75 g), der

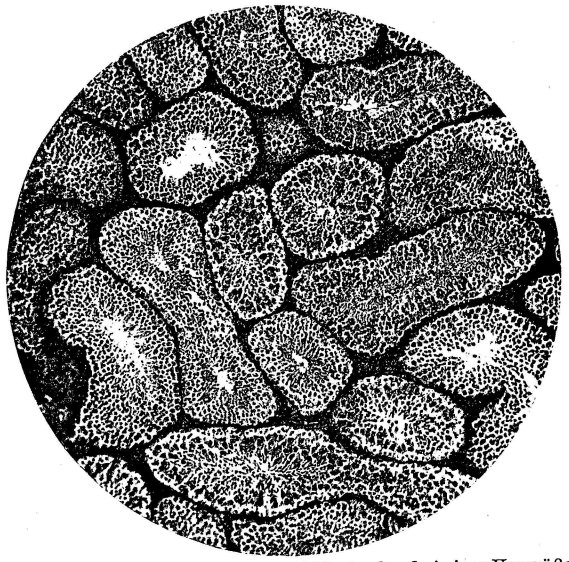


Abb. 2. Schnitt durch denselben Hoden wie in Abb. 1, aber bei einer Vergrößerung von 1:80.

eine schlaffe, fleischige Konsistenz aufwies. Auffallend war zunächst noch der Unterschied in der Beschaffenheit der Vasa deferentia. Das Vas deferens des linken Hodens war ein fester, spulrunder Strang, das Vas des cryptorchiden Hodens dagegen 2—3mal so stark im Kaliber, ganz dünnwandig und aufgetrieben durch einen glasig hellgelben, fadenziehenden Inhalt, der, wie mikroskopisch festgestellt, nur einzelne abgestoßene Epithelzellen, aber gar keine Spermatozoen enthielt. Das Sekret des linken Vas deferens war eine milchig gefärbte Suspension von zahllosen, sich lebhaft bewegenden Samenfäden. Denselben Befund ergab auch die Untersuchung der Sekrete der Hoden und Nebenhoden: links überall reichlichst Spermatozoen, rechts nicht ein einziger Samenfaden zu entdecken. Nach Abschluß der Untersuchungen an den frischen Organen wurden dieselben zwecks histologischer Überprüfung in Formalin gehärtet, in Paraffin eingebettet und geschnitten. Abb. 1 zeigt den Querschnitt durch den linken Hoden in 8facher Vergrößerung. Abb. 2

eine Partie aus demselben Schnitt in 80facher Vergrößerung, die ein ganz normales Keimepithel in lebhafter Spermatogenese erkennen läßt.

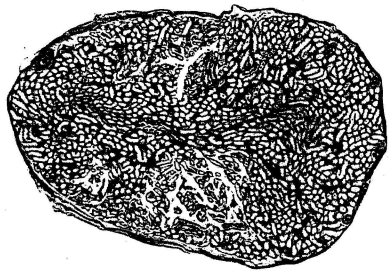


Abb. 3. Schnitt durch den angeborenen Bauchhoden desselben Kaninchens (Vergrößerung 1:8). Der Unterschied in der Größe der beiden Querschnitte (Abb. 1 u. 3) ist beachtenswert.

Abb. 3 gibt den Querschnitt durch den Bauchhoden desselben Tieres bei einer Vergrößerung von 1:8 wieder; der Unterschied in der Entwicklung der beiden Hoden desselben Tieres kommt durch die relative Größe der Querschnitte (Abb. 1 und 3) voll zum Ausdruck. Und Abb. 4 zeigt einen Ausschnitt aus dem Bauchhoden in starker Vergrößerung (1:80); hier sieht man vom Keimepithel nichts anderes als *Sertoli*sche Zellen und Spermatogonien. Die Tubuli contorti sind von einem Maschenwerk strukturloser Fasern und von Sekret erfüllt, und voneinander durch starke Bindegewebswände getrennt. Man vergleiche auch dieses Bild wieder mit Abb. 2, um von den Verhältnissen im Keimepithel eines ausgereiften Scrotalhodens und eines angeborenen Bauchhodens desselben Tieres eine klare Vorstellung zu bekommen.

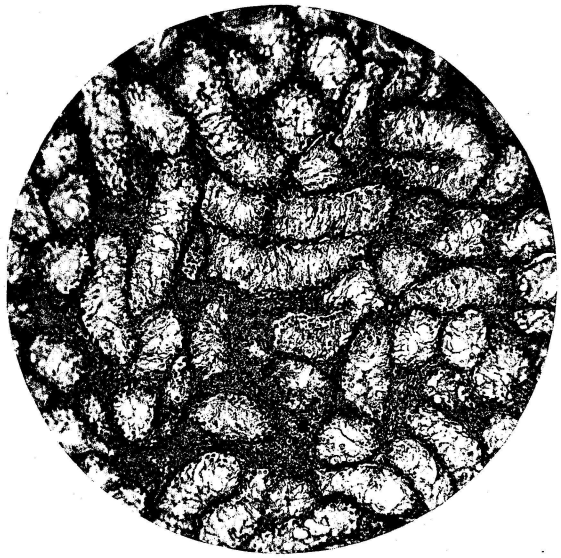


Abb. 4. Schnitt durch denselben Hoden wie in Abb. 3, aber bei einer Vergrößerung von 1:80.

Es bleibt jetzt nur noch ein Beweis ausständig, daß es nichts anderes als die Körperwärme ist, die den Hoden in seiner Entwicklung nicht über ein embryonales Stadium hinausreifen läßt. Ist diese Annahme richtig, so müßte die Rückverlagerung eines voll entwickelten und funktionstüchtigen Hodens aus dem Scrotum in die Bauchhöhle, also ein künstlich angelegter Cryptorchismus, die Organveränderungen hervorrufen, die wir bereits beim angeborenen Cryptorchismus als typisch kennengelernt haben. Von diesem Gesichtspunkte aus wurde der experimentelle Cryptorchismus als Untersuchungsverfahren

bereits von *Moore*, *Crew*, *Oslund*, *Quick*, *Bouin* und *Ancel*, *Lawrence*, *Young*, *Heller* und *Yochem* an verschiedenen Tieren mit Scrotalhoden in Anwendung gebracht und mit den Ergebnissen desselben das letzte und abschließende Glied in die Beweiskette vom entscheidenden Einfluß der kühlen Scrotaltemperatur auf die Entwicklung und Funktion des Hodens eingefügt. Wird der Hoden eines sexuell ausgereiften Tieres aus dem Scrotum in die Bauchhöhle verlagert und dort unter peinlichster Vermeidung einer Schädigung oder Einengung seines Gefäßstieles derart fixiert, daß er nicht mehr in das Scrotum zurückschlüpfen kann, so vollziehen sich im Hodenparenchym bereits innerhalb der ersten 6 Tage schwerste degenerative Veränderungen, die in den folgenden Wochen zur fast vollständigen Auflösung und Abstoßung des Keimepithels führen. Bei diesem Degenerationsprozeß des spezifischen Hodengewebes fällt weiterhin auf, daß die höher differenzierten Zellen eher Zeichen der Schädigung erkennen lassen, also thermolabiler sind als die primitiveren Zellformen; so leisten die *Sertoli*schen Zellen und Spermatogonien der Wärme gegenüber länger Widerstand als die viel empfindlicheren Spermatocyten und Präspermatiden. Aber nach 20—30 Tagen ist der Abbauprozeß so weit fortgeschritten, daß die gewundenen Hodenkanälchen ihres samenbildenden Wandepithels entkleidet sind, das abgebaute Zellmaterial resorbiert und abgeführt ist, und das ganze Hodenparenchym nur mehr ein System von leeren Röhrchen darstellt,

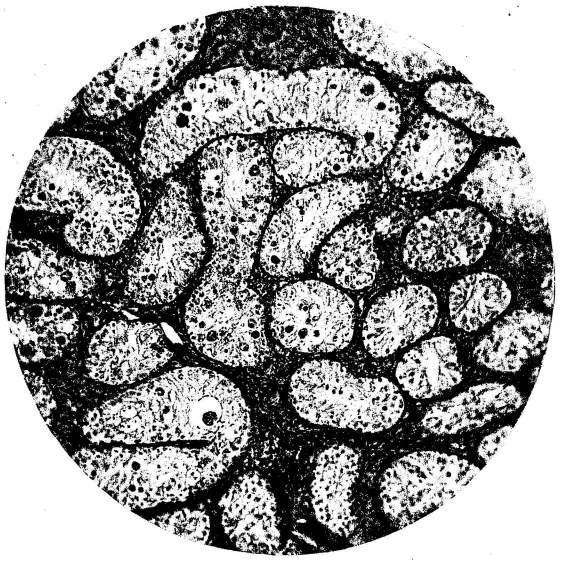


Abb. 5. Schnitt durch den Hoden eines geschlechtsreifen Kaninchens, 1 Woche nach der Verlagerung aus dem Scrotum in die Bauchhöhle; das Keimepithel im Zustande vollständiger Auflösung mit vielen Monsterzellen (Trümmerhaufen von zerfallenen Spermatocyten und Präspermatiden). Vergrößerung 1:80.

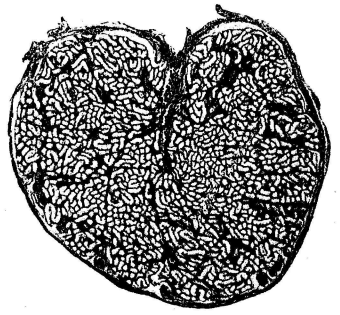


Abb. 6. Schnitt durch den Hoden eines geschlechtsreifen Kaninchens, 3 Wochen nach der Verlagerung aus dem Scrotum in die Bauchhöhle (Vergrößerung 1:8).

die da und dort noch vereinzelte Spermatogonien und *Sertoli*sche Zellen beherbergen. Dabei verliert der Hoden zunehmend an Konsistenz und Größe, so daß er nach monatelangem Aufenthalte in der Bauchhöhle nur mehr einen Bruchteil seines früheren Volumens einnimmt. Wird jedoch ein durch die Bauchhöhlenwärme zur Degeneration gebrachter Hoden wieder zurück in das Scrotum verpflanzt, so beginnt alsbald die Regeneration des Keimepithels, das sich, wenn der Hoden nicht zu lange in der Bauchhöhle gelegen und dadurch alle Spermatogonien verloren hatte, in allen Schichten neu aufbaut und in wenigen Monaten wieder befruchtungsfähige Spermatozoen liefert.

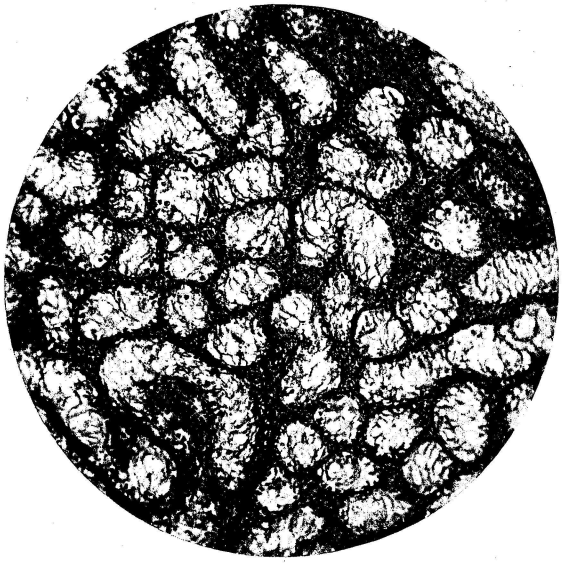


Abb. 7. Schnitt durch denselben Hoden wie in Abb. 6, aber bei einer Vergrößerung von 1:80; das Keimepithel hat, wie in Abb. 4, vollkommen cryptorchiden Charakter angenommen.

Diese Untersuchungen haben das Schicksal des cryptorchiden Hodens, ob nun angeboren oder experimentell erzeugt, weitgehend geklärt. Nur eine interessante Frage lassen sie noch unbeantwortet: Was geschieht denn mit den Spermatozoen, die bereits im Nebenhoden aufgespeichert sind, wenn sie mit der Verlagerung des Hodens in die Bauchhöhle der Körperwärme ausgesetzt werden? Nachdem wir wissen, daß schon die Spermatocyten und Präspermatiden die Bauchhöhlentemperatur nicht ertragen können, so ist wohl zu erwarten, daß die noch höher differenzierten Spermatozoen dem zerstörenden Einfluß der Wärme nicht entgehen dürften. *Lawrence* hat als erster diese Frage am Meerschweinchen zu beantworten versucht und an Spermatozoen, die aus experimentell cryptorchiden Nebenhoden gewonnen wurden, festgestellt, daß sich diese 10 Tage nach der Verlagerung des Organes in die Bauchhöhle nicht mehr bewegen. *Moore, Heller* und *Yochem* überprüften die von *Lawrence* mitgeteilten Versuchsergebnisse und dehnten ihre Untersuchungen auf die Ratte aus, um sichere Vergleichswerte für die Dauer der Beweglichkeit der Spermatozoen des isolierten Nebenhodens im Scrotum und in der Bauchhöhle zu erhalten. Dabei zeigte sich beim Meerschweinchen, daß die Spermatozoen im Nebenhoden, wenn dieser im Scrotum liegt,

70 Tage, im cryptorchiden Epididymis dagegen nur 14 Tage beweglich bleiben; und für die Ratte ergab sich ein zeitlicher Gegensatz von 30 zu 5 Tagen. Mit diesen übereinstimmenden Beobachtungen steht fest, daß sich der schädigende Einfluß der Bauchhöhlentemperatur auch auf die fertig geformten und voll ausgereiften Spermatozoen geltend macht.

Wenn auch damit der nachteilige Einfluß der Bauchhöhlenwärme auf die Dauer der Beweglichkeit der Spermatozoen im normal funktionierenden Nebenhoden aufgedeckt und klar bewiesen ist, so steht in diesem Fragenkomplex doch noch eine Lücke offen, die dringend nach Ausfüllung verlangt. Denn es geht schon aus den früher erwähnten Untersuchungen über die Konservierung der Spermatozoen im scrotal gelagerten Nebenhoden hervor, daß die Beweglichkeit kein Kriterium für die Befruchtungsfähigkeit der Spermatozoen sein kann. Es bleibt demnach zu beantworten übrig, wie lange sich die Spermatozoen im Nebenhoden, wenn dieser der Bauchhöhlentemperatur ausgesetzt wird, tatsächlich befruchtungsfähig erhalten. Zur Lösung dieser sehr wichtigen Frage scheint aus folgenden Gründen das Kaninchen das geeignetste Tier zu sein. Das gut gepflegte männliche Kaninchen zeigt ständig eine große Decklust und vollzieht den kurzdauernden Deckakt ohne weiteres in Gegenwart des Beobachters. Außerdem besitzt das weibliche Kaninchen keinen ovariellen Zyklus, sondern befindet sich in einem Zustand chronischer Brunst bzw. immerwährender Konzeptionsbereitschaft, so daß unter normalen Bedingungen nach jedem Coitus, der regelmäßig die Ovulation auslöst, Schwangerschaft eintritt. Die Schwangerschaft dauert nur 32 Tage, also relativ kurze Zeit, nach welcher die biologische Prüfung der Befruchtungsfähigkeit der Spermatozoen bereits mit einem sicheren Ergebnis abgeschlossen werden kann.

Was den Gang der Untersuchung selbst anlangt, so beginnt diese mit der operativen Herstellung eines doppelseitigen Cryptorchismus. Dazu wird am narkotisierten Kaninchen eine wenige Zentimeter lange Incision über der Symphyse ausgeführt; hierauf werden die Testes mittels leichtem Druck auf das Scrotum durch den Leistenkanal in die Bauchhöhle heraufgeschoben und dann so weit emporgezogen, daß auch der Nebenhodenschweif sicher über dem inneren Leistenring zu liegen kommt. Sollen nun für den Versuch nur die voll ausgereiften Spermatozoen des Nebenhodenschweifes verwendet werden, so wird das Corpus (Isthmus) epididymidis, das ist der beim Kaninchen fadendünne Verbindungsgang zwischen Nebenhodenkopf und -schweif, zweimal unterbunden und durchschnitten. Wird dagegen auf diese Differenzierung der Spermatozoen im Versuch verzichtet, so unterbleibt die Durchtrennung des Isthmus epididymidis und der in die Bauchhöhle verlagerte Hoden wird gleich durch zwei feine Seidennähte dort festgehalten. Die eine Naht fixiert das Gubernaculum testis seitlich an die Bauchwand über dem inneren Leistenring und die zweite Naht verbindet die Hülle

des Nebenhodenkopfes mit einer auf gleicher Höhe liegenden Stelle der vorderen Bauchwand, die hernach mit Knopfnähten schichtweise geschlossen wird. Die Kaninchen erholen sich nach diesem Eingriffe so rasch, daß sie bereits 24 Stunden nach der Operation wieder den üblichen Begattungstrieb zeigen und den Deckakt unbehindert ausführen können. Die zu diesen Versuchen herangezogenen Tiere entstammen alle der eigenen Kaninchenzucht und gehören daher derselben Rasse (durchschnittlich 2 kg schwere englische Schecken) an.

Die Anwendung dieser Untersuchungsmethode ermöglicht es, den Einfluß der Bauchhöhlenwärme auf die Spermatozoen nach 3 Richtungen hin zu verfolgen. Vor allem läßt sich damit die Befruchtungsfähigkeit der Samenfäden in ganz einwandfreier Weise prüfen, da die Spermatozoen auf vollkommen physiologischem Wege, nämlich durch die Ejaculation, in das weibliche Genitale gelangen. Das Ergebnis dieser Prüfung findet seinen sichtbaren Ausdruck im Eintreten oder Unterbleiben von Schwangerschaft, und im positiven Falle weiterhin in der Anzahl der geworfenen Jungen. Ferner läßt sich an einem Tropfen des Ejaculates, den man unmittelbar nach dem Sprunge mit einem Gummikatheter (*Charrière* 12) aus der Tiefe der etwa 10 cm langen Scheide durch Aspiration entnimmt, mikroskopisch feststellen, ob und in welcher Intensität sich die Spermatozoen bewegen. Und endlich ist man nach dieser Gewinnung des Spermas imstande zu entscheiden, wie lange die bereits im cryptorchiden Nebenhoden abgestorbenen und dort zurückgehaltenen Spermatozoen ihre morphologische Integrität bewahren.

Tabelle 1. *Dauer der Befruchtungsfähigkeit der Spermatozoen im isolierten, cryptorchiden Nebenhodenschweif.*

Bezeichnung des Tieres	Tage nach der Operation, an denen das Tier gedeckt hat													
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14
B_4				0	0	0	0							0
B_5		+	+	+	0					0				
B_7			0	0	0	0								
B_8		+	0	0	0					0	0			
B_{11}	+	+	+	0	0	0								
B_{14}				+			0							
B_{18}					0	0	0							

\+ Schwangerschaft, 0 Sterilität.

Tabelle 1 gibt die Ergebnisse der Untersuchungen über die Dauer der Befruchtungsfähigkeit der Spermatozoen im isolierten, cryptorchiden Nebenhodenschweif in schematischer Darstellung wieder. Daraus ist zu entnehmen, daß 48 Stunden nach der Verlagerung des Nebenhodens in die Bauchhöhle noch eine Fruchtbarkeit von 100% besteht. Am 3. Tage der Einwirkung der Bauchhöhlenwärme auf die Nebenhodenschweifspermatozoen sinkt die Befruchtungsfähigkeit derselben auf 50%, am 4. Tage erreicht sie nur mehr 33% und am 5. Tage ist sie bereits völlig erloschen. Daß dieses Erlöschen der Befruchtungsfähigkeit der Nebenhodenschweifspermatozoen nur auf den Einfluß der Bauchhöhlentemperatur und nicht aber auf einen Mangel an Spermatozoen im isolierten Nebenhodenschweif oder auf andere Umstände zurückzuführen ist, sollen folgende Kontrollversuche, deren Ergebnisse in Tabelle 2 veranschaulicht sind, dartun.

Tabelle 2. *Befruchtungsfähigkeit des männlichen Kaninchens nach Isolierung des Nebenhodenschweifes.*

Bezeichnung des Tieres	Tage nach der Operation, an denen das Tier gedeckt hat														
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	29	33
B_{19}					+	+	+	+	+	0		0	0		
B_{21}					+	+	+	+	+	+	0	0			
B_{22}						+	+	+	+	+	+	+		0	0

\+ Schwangerschaft, 0 Sterilität.

Zu diesem Zweck wurden an 3 Tieren auf die beschriebene Weise der Nebenhodenschweif isoliert, aber nach Durchtrennung des Isthmus epididymidis samt dem Hoden wieder in das Scrotum zurückgeschoben. Nachdem bereits festgestellt war, daß die Nebenhodenschweifspermatozoen unter der Einwirkung der Bauchhöhlenwärme höchstens 4 Tage lang befruchtungsfähig bleiben, wurden die Versuche mit dem im Scrotum unterkühlten Nebenhodenschweifspermatozoen absichtlich erst am 5. Tage nach der Operation begonnen, indem, wie in allen übrigen Versuchen, den Männchen Gelegenheit gegeben wurde, an den folgenden Tagen je einmal ein Weibchen zu decken. Wäre es also ein anderer Faktor als die Wärme, der den Spermatozoen im cryptorchiden Nebenhoden in 4 Tagen die Befruchtungsfähigkeit nimmt, so müßte auch hier bereits am 5. Tage nach der Isolierung des Nebenhodenschweifes Sterilität auftreten. Ein Blick auf die Tabelle 2 überzeugt uns, daß dies nicht der Fall ist. Die Tiere zeigen vielmehr an diesem Tage eine ungeschmälerte Befruchtungsfähigkeit und behalten diese auch für die weiteren Tage, bis nach der 5.—7. Ejaculation der Vorrat an Spermatozoen im isolierten Nebenhodenschweif zu Ende geht und damit Unfruchtbarkeit eintritt. Dieser Gang der Untersuchung stellt demnach auch eine geeignete Methode zur Prüfung der Spermienkapazität des Nebenhodenschweifes dar.

Mit diesen Haupt- und Kontrollversuchen ist nunmehr der sichere Nachweis erbracht, daß die Spermatozoen des Kaninchens, die im scrotal gelagerten Nebenhodenschweif bis zu 40 Tagen befruchtungsfähig bleiben, in demselben Organ unter dem Einfluß der Bauchhöhlentemperatur bereits nach 4 Tagen ihre Befruchtungsfähigkeit einbüßen.

Es ist jetzt noch die biologisch nicht minder wichtige Frage zu beantworten, ob mit dem Zeitpunkte des Verlustes der Befruchtungsfähigkeit auch die Bewegungsfähigkeit der Spermatozoen verschwindet oder ob im Erlöschen dieser beiden Lebensäußerungen der Samenfäden zeitliche Differenzen bestehen. Tabelle 3 hält uns die Ergebnisse der Motilitätsprüfung der Spermatozoen aus dem isolierten cryptorchiden Nebenhodenschweif übersichtlich vor Augen.

Tabelle 3. *Dauer der Beweglichkeit der Spermatozoen im isolierten, cryptorchiden Nebenhodenschweif.*

Bezeichnung des Tieres	Tage nach der Operation, an denen das Tier gedeckt hat													
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14
B_4				+	+	+	+							0
B_6								+	+	0	0			
B_8		+	+	+	+					+	0			
B_{10}										+				0
B_{11}	+	+	+	+	+	+								
B_{13}														0
B_{14}				+			+							
B_{15}												+		0

+ beweglich, 0 tot.

Daraus entnehmen wir, daß unter diesen Versuchsbedingungen noch bis zum 12. Tage nach der Operation im Ejaculate bewegliche Spermatozoen, nach diesem Zeitpunkte als äußerstem Termin aber nur mehr tote Samenfäden zu finden sind. Dieser Verlust an Beweglichkeit, wie er unter der Einwirkung der Bauchhöhlenwärme auf die Spermatozoen zustande kommt, ist jedoch keine plötzlich eintretende Erscheinung, sondern ist das Ende einer ganz allmählich fortschreitenden Erschöpfung der den Spermatozoen physiologischerweise eigentümlichen Bewegungsintensität. So sieht man 24 Stunden nach der Verlagerung des Nebenhodens in die Bauchhöhle ein noch ganz normales Ejaculat: unzählige, in rascher Fortbewegung hin und her irrende Spermatozoen. Nach 48stündiger Einwirkung der Bauchhöhlentemperatur auf die Spermatozoen im Nebenhodenschweif ist das Bewegungsbild schon ein merklich anderes geworden; im allgemeinen hat die Bewegungsintensität der Spermatozoen bereits etwas nachgelassen, und außerdem finden sich unter den noch lebhaft forteilenden auch schon vereinzelte tote Samenfäden. Am 3. Tage fällt neben einer deutlichen Zunahme der Zahl an toten Spermatozoen der Beginn einer Differenzierung in der Bewegung unter den lebenden Samenfäden auf; es gibt nun Spermatozoen in allen Zwischenstufen von langsamer bis zu rascher Fortbewegung. Und mit dem 4. Tage ist die Zahl der Toten auf 50% der Gesamtzahl der Spermatozoen angestiegen und die Zahl der sich lebhaft fortbewegenden Samenfäden so abgefallen, daß man von diesen in einem Blickfeld nur mehr wenige sieht; die Mehrzahl der noch lebenden Spermatozoen zeigt eine träge Bewegung und viele von ihnen stehen in Sternfiguren um totes Zellmaterial, wie abgestorbene Samenfäden und Leukocyten, als ob sie in diese noch vor ihrem Tode durch müde Bewegungen eindringen wollten. Am 5. Tage ist ein für diesen Zeitpunkt charakteristischer Fortschritt in der allmählichen Lahmlegung der Spermatozoen feststellbar: es gibt keine lebhaft sich fortbewegenden Spermatozoen mehr; die Zahl der Toten hat weiterhin zugenommen und die noch lebenden Samenfäden scheinen sich nur mehr oder weniger mühsam fortbewegen zu können. In den folgenden Tagen macht sich der zunehmende Verfall der Bewegungsfähigkeit der Spermatozoen dahin bemerkbar, daß die sich geradlinig fortbewegenden Samenfäden immer seltener werden; ein Teil der noch lebenden Samenfäden schlägt mit dem Schwanze nur mehr nach einer Seite und dreht sich dadurch im engen Kreis herum, der andere Teil rudert an Ort und Stelle und erinnert in der Bewegungsart an im fließenden Wasser stehende Fische. Am 10. Tage sieht man an keinem der sich noch schlängelnden Spermatozoen eine Fortbewegung mehr, alle, die sich überhaupt noch bewegen, rühren sich nicht von ihrem Platze, bis mit dem 12. Tage das Sterben der Samenfäden so um sich gegriffen hat, daß nur vereinzelte davon verschont geblieben sind, die in zuckenden Bewegungen noch Leben äußern. Nach diesem Tage gibt es nur mehr ausgestreckt daliegende, tote Spermatozoen.

Dieses allmähliche Schwinden der Bewegungsfähigkeit der Spermatozoen im cryptorchiden Nebenhoden ist in seinem Tempo und Umfange abhängig von der Anzahl der vorangegangenen Ejaculationen: je geringer die Zahl der seit der Isolierung und Verlagerung des Nebenhodens in die Bauchhöhle stattgehabten Samenentleerungen, desto größer ist die Zahl der überlebenden Spermatozoen und desto langsamer verlieren diese von ihrer Bewegungsintensität. Es scheint demnach die absolute Dichte der Spermatozoen im Nebenhodensekret den schädigenden Einfluß der Wärme auf die Samenfäden bis zu einem gewissen Grade verzögern zu können.

Während die Spermatozoen, wenn sie im Nebenhodenschweif der Bauchhöhlentemperatur ausgesetzt werden, spätestens nach 4 Tagen ihre Befruchtungsfähigkeit verlieren, können sie noch 8 Tage darüber hinaus deutlich wahrnehmbare Bewegungen ausführen. Die Beweglichkeit an sich ist demnach kein Zeichen der Befruchtungsfähigkeit der Spermatozoen. Nur die sehr lebhaft sich fortbewegenden Spermatozoen sind befruchtungsfähig. Die genaue Bestimmung der Geschwindigkeit, welche die Spermatozoen in ihrer Fortbewegung entwickeln müssen, um befruchtungsfähig zu sein, ist methodischen Arbeiten der Zukunft vorbehalten.

Um zu prüfen, wie sich der Einfluß der Bauchhöhlentemperatur auf die Befruchtungsfähigkeit und Beweglichkeit von Spermatozoen

geltend macht, die nicht nur aus dem Nebenhodenschweif, sondern auch aus den höheren Abschnitten der Hodenabführungswege, wie dem Nebenhodenkopf, den Ductuli efferentes, dem Rete testis, und vielleicht den Tubuli contorti entstammen, wurden die Testes mit intaktem Isthmus epididymidis in der angegebenen Weise in die Bauchhöhle verlagert und dort fixiert. Es hatten daher die Spermatozoen, die zur Zeit der Operation in den proximalen Partien der abführenden Hodenwege lagen, in den darauf folgenden Tagen noch die Möglichkeit, in den Nebenhodenschweif herabzuwandern. Die Ergebnisse dieser Untersuchungen, soweit sie die Dauer der Befruchtungsfähigkeit solcher Tiere betreffen, sind in Tabelle 4 zusammengefaßt.

Tabelle 4. *Dauer der Befruchtungsfähigkeit der Spermatozoen im cryptorchiden Hoden.*

Bezeichnung des Tieres	Tage nach der Operation, an denen das Tier gedeckt hat															
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16
B_1				+				0				0				0
B_2			+			+			0				0			0
B_3					+	0	0	0						0		
B_{16}						+	+							0		
B_{17}							0	0						0		

\+ Schwangerschaft, 0 Sterilität.

Aus ihr entnehmen wir, daß unter diesen Versuchsbedingungen die Potentia generandi solcher Kaninchen bis einschließlich 7. Tage post operationem erhalten bleiben kann, also um 3 Tage länger als nach Isolierung des Nebenhodenschweifes. Daraus können wir folgern, daß beim experimentellen Cryptorchimus die Spermatozoen des Hodens bzw. des höheren Abschnittes seiner Abführungswege längere Zeit ihre Befruchtungsfähigkeit bewahren als die Spermatozoen des Nebenhodenschweifes. In Übereinstimmung damit steht auch die längere Dauer der Beweglichkeit der Spermatozoen aus dem cryptorchiden Hoden und Nebenhodenkopf, wie dies aus Tabelle 5 ersichtlich wird.

Tabelle 5. *Dauer der Beweglichkeit der Spermatozoen im cryptorchiden Hoden.*

Bezeichnung des Tieres	Tage nach der Operation, an denen das Tier gedeckt hat															
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16
B_2			+			+			+				+			0
B_3					+	+	+	+						0		
B_{16}						+	+							0		
B_{17}							+	+						0		
B_{20}														+	0	
B_{23}															0	0

\+ beweglich, 0 tot.

Diese Spermatozoen erhalten aber nicht nur durch längere Zeit allein ihre Bewegungsfähigkeit, sondern sie bewahren auch, zumindest eine bestimmte Anzahl von ihnen, im gleichen Maße länger ihre maximale Bewegungsintensität und bleiben offenbar deshalb auch bis zum 7. Tage nach der Operation befruchtungsfähig. Es hat demnach den Anschein, als ob unter diesen Verhältnissen der Verbrauch ihrer Lebensenergie langsamer abliefe als unter den erst geschilderten Versuchsbedingungen. In Wirklichkeit aber besagt diese Tatsache, daß die aus den oberen Hodenabführungswegen stammenden, also jüngeren Spermatozoen gegenüber Wärme widerstandsfähiger sind als die älteren Nebenhodenschweifspermatozoen.

Was das frühzeitige Erlöschen der Befruchtungsfähigkeit der Spermatozoen aus allen Teilen des Hodens und Nebenhodens bei experimentellem Cryptorchismus anlangt, könnte man vermuten, daß sich das nahende Ende der Zeugungskraft der Samenfäden bereits in kleineren Würfen ankündigt. Diese Erscheinung konnte aber nicht mit Sicherheit beobachtet werden. Wohl war die Zahl der Jungen von Würfen, die von cryptorchiden Tieren am letzten Tage ihrer Befruchtungsfähigkeit gezeugt wurden, im allgemeinen gering; doch hin und wieder ereigneten sich auch nach solchen Sprüngen Würfe von normaler Größe.

Wie lange die Spermatozoen im cryptorchiden Hoden oder Nebenhoden noch nach dem Tode ihre morphologische Integrität behalten, hat bereits *Lawrence* am Meerschweinchen untersucht und hierfür einen Zeitraum von über 100 Tagen angegeben. Verfolgt man das morphologische Verhalten der Spermatozoen nach Verlagerung des Hodens in die Bauchhöhle beim Kaninchen, so kann man in den ersten 14 Tagen nach der Operation keine Änderung der Zellformen wahrnehmen. Nach diesem Zeitpunkte jedoch sieht man im Ausstriche des Ejaculates da und dort zerfallene Spermatozoen, bei denen der Schwanz unmittelbar am Kopfe abgebrochen ist, aber die überwiegende Mehrzahl der Samenfäden ist noch immer und bleibt auch in den folgenden Wochen intakt. Etwa in der 4. Woche beginnt der Kopf der Samenzelle etwas zu schrumpfen und weniger lichtdurchlässig zu werden, und sieht deshalb von da ab etwas kleiner und dunkler aus. In diesem Zustand bleiben die Spermatozoen Monate hindurch in den abführenden Hodenwegen erhalten; so waren in einem Falle sogar 8 Monate nach der Operation noch zahlreiche, vollkommen intakte Spermatozoen im Ejaculate nachweisbar. Nachdem die Spermatozoen im cryptorchiden Hoden bzw. Nebenhoden höchstens 14 Tage lang am Leben bleiben, besitzen also die toten Samenfäden noch eine auffallende Festigkeit ihres Zellgefüges, die schädigenden äußeren Einflüssen viele Monate lang erfolgreichen Widerstand leisten kann.

Wenn wir nun die Versuchsergebnisse aller angeführten Autoren mit den eigenen vergleichen, so tritt uns überall Übereinstimmung und gegenseitige Bestätigung entgegen. In erster Linie sprechen alle eindeutig

für die Ansicht von *Crew* und *Moore*, daß das Scrotum ein die Wärme lokal regulierendes Organ ist, das die Aufgabe hat, die Testes bei einer kühleren Temperatur als die Körperhöhlenwärme zu halten. Nachdem diese Untersuchungen bereits eine große Tierreihe, wie Maus, Ratte, Meerschweinchen, Kaninchen, Schaf, Ziege, Schwein, Hund, Stier und Pferd umfassen und an allen diesen Tieren immer wieder dieselbe Funktion des Scrotum aufgedeckt haben, so können wir heute mit Recht von einer großen Gruppe von Säugern mit Scrotalhoden sprechen, die fortpflanzungsphysiologisch eine Einheit darstellen. Sie alle unterliegen hinsichtlich Spermatogenese und Konservierung der Spermatozoen im Nebenhoden einem gemeinsamen Gesetz, das kühle Temperatur für die normale Funktion der männlichen Geschlechtsdrüse vorschreibt. Nach dieser Erkenntnis von der wahren Bedeutung des Scrotum können wir die bisher kompliziert scheinende topographische Anordnung von Hoden und Nebenhoden auch erst richtig verstehen; denn es war doch nicht ohne weiteres einzusehen, warum der Nebenhodenkopf dem oberen Pole, der Nebenhodenschweif dem unteren Pole des Hodens aufsitzt und das Vas deferens wieder an beiden vorbei von unten nach oben läuft. Heute aber ist uns der Zweck dieser Einrichtung, die für den ersten Blick eine unnütze Ableitung des Samens in anfänglich falscher Richtung zu sein scheint, völlig klar: durch die Vorlagerung des Nebenhodenschweifes in den tiefsten und daher kühlsten Raum des Scrotum wird der Erhaltung der Befruchtungsfähigkeit der Nebenhodenschweifspermatozoen, die nach den Untersuchungen von *Young* an Samenfäden in vitro und nach meinen Versuchen am cryptorchiden Kaninchen wärmeempfindlicher sind als die Nebenhodenkopfspermatozoen, weitestgehend Rechnung getragen.

Die große Bedeutung der kühleren Temperatur im Scrotum kommt durch den steilen Abfall in der Dauer der Befruchtungsfähigkeit der Spermatozoen des Nebenhodenschweifes, wenn dieser aus dem Scrotum in die Bauchhöhle verlagert wird, voll zur Geltung; es stehen da 40 nur 4 Tagen gegenüber. Die Erklärung für diesen die Befruchtungsfähigkeit der Spermatozoen so tief herabsetzenden Einfluß der Bauchhöhlentemperatur ist nach den heute vorliegenden Untersuchungen über die Physiologie der Samenfäden unschwer zu geben. Die vom Keimepithel einmal losgelösten Spermatozoen sind mit einer potentiellen Bewegungsenergie von bestimmtem Ausmaße aufgeladen. Die Umwandlung dieser potentiellen in kinetische Energie, die sich in Bewegungen des Zellschwanzes verbraucht, geht offenbar im Wege eines fermentativen Prozesses im Inneren der Zelle vor sich, dessen Ablauf von bestimmten äußeren thermischen und chemischen Bedingungen beherrscht wird. So lange die Spermatozoen in großer Dichte im Nebenhoden liegen, wo dessen spezifisches Sekret mit seiner hohen H-Ionenkonzentration und starken Pufferung, der Sauerstoffmangel und die große Kohlensäurespannung, und die kühle Temperatur des Scrotum auf sie einwirken, ist dieser fermentative Prozeß in minimalem Gange und daher die Spermatozoen selbst in geringster Bewegung. Fällt aber nur einer dieser den fermentativen Prozeß hemmenden Faktoren, z. B. die kühle Temperatur, aus, dann beginnt dieser chemische Prozeß im Verbindungsstück, dem Bewegungszentrum der Samenzelle, mehr oder weniger rasch zu laufen und bedingt, solange er läuft, mehr oder weniger starke Bewegungen des Zellschwanzes. Und je günstiger die Bedingungen für den Ablauf des fermentativen Prozesses in der Samenzelle sind, desto rascher läuft er ab und desto lebhafter, aber auch im gleichen Sinne schneller sich erschöpfend sind die Bewegungen der Spermatozoen; solche Verhältnisse liegen z. B. nach der Ejaculation des Samens in die Scheide vor. Im cryptorchiden Nebenhoden dagegen ist der Ablauf des fermentativen Prozesses in der Samenzelle durch das chemische Milieu gehemmt, durch die Bauchhöhlenwärme, das ist sein Temperaturoptimum, aber doch so weit gefördert, daß es zu einem etwa 10mal rascheren Energieverbrauch als bei der kühlen Temperatur im Scrotum kommt. Diese Förderung des fermentativen Prozesses allein nur durch die Bauchhöhlentemperatur macht sich in dem bereits erwähnten 90%igen Abfall der Dauer der Befruchtungsfähigkeit der Nebenhodenschweifspermatozoen geltend; die Hemmung durch die im Nebenhoden noch ungünstigen chemischen Verhältnisse und die dadurch bedingte Verzögerung im Verbrauche des Energievorrates kommt darin deutlich zum Ausdruck, daß die Samenfäden im cryptorchiden Nebenhodenschweif 4 Tage, im weiblichen Genitaltrakt dagegen, wo nach der Beimischung der alkalisch reagierenden Sekrete der akzessorischen männlichen Geschlechtsdrüsen gelegentlich der Ejaculation chemisch und thermisch optimale Bedingungen für den Energieumsatz, i. e. Bewegung, in der Samenzelle herrschen, nur 30 Stunden befruchtungsfähig bleiben. Daß, auch umgekehrt, bei gleichbleibend tiefer Temperatur die Änderung der chemischen Verhältnisse im Sinne einer Förderung des Ablaufes des fermentativen Prozesses in der Samenzelle die Dauer ihrer intensiven Bewegungsfähigkeit, i. e. Befruchtungsfähigkeit, kürzt, geht aus den vergleichenden Untersuchungen von *Hammond* und *Walton* an Spermatozoen mit und ohne Beimischung der Sekrete der akzessorischen Geschlechtsdrüsen hervor: die Spermatozoen, gewonnen aus dem in die Vagina entleerten Ejaculat, erhalten sich bei einer Temperatur von 10° C in vitro 4 Tage, die direkt aus dem Nebenhoden entnommenen Spermatozoen dagegen 7 Tage lang befruchtungsfähig. Die Erscheinung, daß nach Verlagerung des Hodens in die Bauchhöhle die älteren, das sind die Nebenhodenschweifspermatozoen, thermolabiler sind und daher ihre Befruchtungsfähigkeit früher verlieren als die jüngeren Spermatozoen aus den oberen Hodenabführungswegen, ist eine weitere Bestätigung für die Abhängigkeit der Intensität und Dauer der Bewegung

vom Energievorrat in der Samenzelle. Wie wir eingangs erfahren haben, gelangen die Spermatozoen bereits durch Eigenbewegungen aus den Hodenkanälchen durch den einige Meter langen Nebenhoden in den Samenleiter. Wenn diese Bewegungen auch schwach sind und durch die schon mehrmals charakterisierten Verhältnisse im Nebenhoden aufs äußerste unterdrückt werden, so zehren sie auf der langen Wanderung durch den Nebenhoden doch an der potentiellen Energie der Samenzelle. Aus diesen leichtverständlichen Gründen ist der Energievorrat der jüngeren Samenzelle größer als jener der älteren und liefert daher z. B. den Nebenhodenkopfspermatozoen längere Zeit die Kraft zu intensiver Eigenbewegung als dem der Erschöpfung bereits näheren Samenfaden des Nebenhodenschweifes.

Mit den vorliegenden Untersuchungen ist so weit Klarheit geschaffen, daß nur die Spermatozoen mit lebhafter Fortbewegung befruchtungsfähig sind. Warum es die Spermatozoen ohne diese extreme Bewegungsfähigkeit nicht mehr sind, ist, wenn man folgende Geschehnisse in Erwägung zieht, leicht zu verstehen. Erstens haben die Spermatozoen einen weiten Weg mit vielen Hindernissen von der Vagina bis zum ovariellen Ende der Tube zurückzulegen, ohne sich dabei erschöpfen zu dürfen. Denn hier haben sie, wenn sie ihre Befruchtungsfähigkeit beweisen wollen, eine zweite Kraftprobe zu bestehen. *Pincus* hat uns in einer schönen Arbeit gezeigt, daß die Imprägnation des Eies deshalb in den ersten Stunden nach der Ovulation erfolgen muß, weil sich bereits kurz nach dem Follikelsprung eine Eiweißhülle um die Eizelle zu legen beginnt, welche die Spermatozoen nicht mehr zu durchdringen vermögen. Es bleibt demnach für die Befruchtung nur jene Zeit übrig, wo die Eizelle noch im dichten Kranze der Follikelepithelzellen der Corona radiata eingeschlossen liegt. Dieser Umstand stellt aber an die Bewegungsfähigkeit der Samenzelle insofern große Anforderungen, als sie sich zwischen soundso vielen Granulosazellen hindurchzudrängen oder diese erst wegzupeitschen hat, um endlich an die Eizelle selbst heranzukommen und in sie eindringen zu können. Wir ersehen daraus, daß nur Spermatozoen, die nach dem schweren Hürdenlauf durch Uterus und Tuben noch mit einer großen Energiereserve an der Eizelle anlangen, für die Befruchtung geeignet sein können.

Nach allen diesen Feststellungen dürfte künftighin niemand mehr auf den Gedanken kommen, aus einer geringen Beweglichkeit der Spermatozoen trotz Vorliegen günstiger Bewegungsbedingungen oder gar aus der morphologischen Integrität derselben ihre Befruchtungsfähigkeit ableiten zu wollen. Es muß darauf besonders verwiesen werden, weil noch in jüngster Zeit *Batisweiler* nach Auffinden von toten, jedoch unversehrt scheinenden Spermatozoen im Uterus einer an Puerperalfieber verstorbenen Frau die Behauptung aufstellte, daß man daraus allein auf die Funktionsfähigkeit der Samenfäden schließen könnte,

die entsprechend seinen Erhebungen über den Zeitpunkt der letzten Kohabitation länger als 3 Wochen im Uterus am Leben blieben. Daß die morphologische Integrität absolut kein Kriterium für die Befruchtungsfähigkeit der Samenzelle darstellt, beweist die Tatsache, daß sich die bereits toten Spermatozoen im Nebenhoden viele Monate morphologisch intakt erhalten können. Aber nicht nur im Nebenhoden, sondern auch in der Vagina konservieren sich Spermatozoen, wovon ich mich wiederholte Male am Kaninchen überzeugen konnte, für mindestens 6 Wochen, ohne in einzelne Zellteile zu zerfallen.

Was die Dauer der Befruchtungsfähigkeit der Spermatozoen unter verschiedenen äußeren Bedingungen anlangt, liegen für das Kaninchen nunmehr aufschlußreiche Daten vor. So bleiben die Spermatozoen im isolierten Nebenhodenschweif, wenn dieser im Scrotum bei kühler Temperatur gehalten wird, 40 Tage, wenn dieser aber in die warme Bauchhöhle verlagert wird, dagegen nur 4 Tage befruchtungsfähig; und sind sie den Einflüssen der weiblichen Genitalorgane ausgesetzt, wie physiologischerweise nach der Ejaculation, so wird, wie *Hammond* und *Asdell* gezeigt haben, die Zeit ihrer Befruchtungsfähigkeit noch weiter reduziert und zwar auf 30 Stunden. Inwieweit diese letzte Reduktion in der Dauer der Befruchtungsfähigkeit der Spermatozoen im weiblichen Genitale durch chemische und thermische Milieuänderungen verursacht wird, wurde bereits oben auseinandergesetzt. Hinzu treten aber noch Abwehrmaßnahmen von seiten des weiblichen Organismus, der die Spermatozoen als störende Fremdkörper empfindet und auf diesen Reiz mit einer Mobilisierung von zahlreichen Leukocyten antwortet, welche die überwiegende Mehrzahl der in das Genitale eingedrungenen Samenfäden phagocytieren. Diese phagocytäre Aktivität der Leukocyten nimmt nach den Untersuchungen von *Popa* und *Marza* von der Vagina aufwärts ständig zu, so daß selbst bei einem reichlichen Ejaculat nur vereinzelte Spermatozoen dieser lebhaften Phagocytose entgehen und bis zum abdominellen Ende der Tube gelangen. Damit erklärt sich auch die von *Walton* aufgedeckte Tatsache, daß beim Kaninchen die Fertilität bereits abzunehmen beginnt, wenn der Spermatozoengehalt des Spermas auf 1 000 000 pro Kubikzentimeter sinkt, und daß diese bei 3 000 Spermatozoen pro Kubikzentimeter vollkommen erlischt. Es bedeutet demnach die erstaunlich leistungsfähige Spermatogenese keine Verschwendung von Keimzellen, sondern sie ist die unbedingte Voraussetzung für den Eintritt einer Befruchtung; denn nur Millionen und Millionen von Spermatozoen können den starken Abwehrkräften der Schleimhaut der weiblichen Genitalorgane erfolgreich trotzen und wenigen von ihnen das Erreichen ihres Zieles ermöglichen. Diese feindliche Abwehr des weiblichen Organismus gegenüber den Spermatozoen scheint nach den Angaben von *Yochem*, *Lotze* und *Schultz* zur Zeit der Ovulation geringer zu sein als in den übrigen Tagen des ovariellen Zyklus und so die

Aussichten auf eine rechtzeitige Begegnung der beiden Keimzellen zu erhöhen. In Übereinstimmung mit der maximal 30stündigen Befruchtungsfähigkeit und 48stündigen Beweglichkeit *(Höhne* und *Behne)* der Spermatozoen in den weiblichen Genitalwegen beim Kaninchen stehen die Mitteilungen über die Dauer der Bewegungsfähigkeit der Samenfäden in Uterus und Tuben bei anderen Säugern: *Sobotta* stellte diese für die Maus mit 9—10 Stunden, *Yochem* für die Ratte mit 12—16 Stunden und für das Meerschweinchen mit 41 Stunden, *Lewis* für das Schwein mit $41^1/_2$ Stunden und *Anderson* für das Pferd mit 48 Stunden fest. Diese Daten bedeuten aber nur annähernd die Zeitgrenzen für die Beweglichkeit der Spermatozoen; daß daher die Dauer ihrer Befruchtungsfähigkeit im weiblichen Genitale eine kürzere sein muß, ist nach dem gegenwärtigen Stand unserer Kenntnisse von den Beziehungen zwischen Bewegungs- und Befruchtungsfähigkeit der Spermatozoen völlig klar. Diesem übereinstimmenden Ergebnis der Untersuchungen über die Dauer der Befruchtungsfähigkeit der Spermatozoen, die bei allen diesen Tieren nur in Stunden und nicht in Tagen berechnet werden kann, könnte man, wie es *v. Franqué* vor wenigen Jahren noch getan hat, entgegenhalten, daß z.B. bei der Fledermaus die Spermatozoen im Uterus überwintern, also im weiblichen Genitale mehrere Monate verbleiben, ohne deshalb ihre Befruchtungsfähigkeit zu verlieren. Das Heranziehen der einzigartigen Verhältnisse bei der Fledermaus, um damit die zeitlich so eingeengte Befruchtungsfähigkeit der Spermatozoen in den weiblichen Genitalorganen der erwähnten Säuger zu wiederlegen, ist für diesen Fall als unerlaubter physiologischer Vergleich abzulehnen. Denn die Fledermaus ist zunächst einmal kein Säuger mit Scrotalhoden; bei ihr liegen die Testes, wie bei den Vögeln, in der Bauchhöhle und ertragen daher selbst, sowie ihre Produkte, die Spermatozoen, die Bauchhöhlentemperatur ohne Schaden. Außerdem verfallen die Fledermäuse bald nach der Begattung, die nach *Courrier* im Herbst erfolgt, in den Winterschlaf, während dessen die Körpertemperatur auf 14° C und noch tiefer herabsinkt. Ferner werden bei ihnen die Spermatozoen in den Uterus, ähnlich wie im Nebenhoden, in ungeheuren Massen abgelagert und nachher durch bindegewebigen Verschluß des Gebärmutterhalskanales in das Cavum uteri derart eingesargt, daß ein Samenabfluß nach der Scheide und ein Gasaustausch zwischen den uterinen und vaginalen Sekreten unmöglich werden. Mit diesen besonderen Einrichtungen, wie relativ sehr tiefe Temperatur, große Dichte der Spermatozoen und damit schlechte Sauerstoffversorgung, werden offensichtlich Bedingungen erreicht, unter denen sich die an die Bauchhöhlenwärme gewöhnten und morphologisch eigenartig gebauten Fledermausspermatozoen im Uterus monatelang befruchtungsfähig erhalten.

Die voranstehenden Untersuchungen haben zum Ziele gehabt, die Lebenseigentümlichkeiten der männlichen Keimzellen näher zu erforschen und die dabei sich ergebenden Gesetzmäßigkeiten auf ihre allgemein biologische Gültigkeit zu prüfen. Denn auf diesem Wege vergleichend physiologischer Forschung kommen wir endlich in die Lage, die Verhältnisse beim Menschen, wo uns das Experiment nicht zur Verfügung steht, annähernd richtig beurteilen zu können. Daß dieser Rückschluß auf den Menschen nicht den Stempel der Kritiklosigkeit trägt, rechtfertigen folgende Umstände: 1. ist der Mensch, wie die untersuchten Tiere, ein Säuger mit Scrotalhoden und 2. ist auch bei ihm der cryptorchide Hoden durch genau dieselben Veränderungen charakterisiert wie der Säugetier-Hoden bei angeborenem oder experimentellem Cryptorchismus. Wir haben demnach allen Grund anzunehmen, daß sich auch die Spermatozoen des Menschen im männlichen und weiblichen Organismus so verhalten wie bei den Säugern mit Scrotalhoden, d.h. daß die Dauer ihrer Befruchtungsfähigkeit in Uterus und Tuben unter 48 Stunden liegen muß. Es bleibt natürlich jedermann unbenommen, dieses Urteil über die Zeit der Befruchtungsfähigkeit der menschlichen Spermatozoen, das sich auf exakt erforschte biologische Gesetzte aufbaut, anzuerkennen oder unter Hinweis auf andere Ansichten abzulehnen, die aber Beobachtungen von zweifelhaftem Werte zur Unterlage haben. Die Behauptung, daß die Spermatozoen in den oberen Genitalwegen der Frau mehrere Wochen befruchtungsfähig bleiben können, wird von der einen Seite *(Dührssen, Nürnberger, Fränkel* u.a.) durch den Nachweis von beweglichen Spermatozoen in operativ gewonnenen Tuben und von der anderen Seite *(Prylll)* durch anamnestische Erhebungen über die zeitliche Differenz zwischen Kohabitations- und Ovulationstermin zu stützen gesucht. Daß die Begriffe Beweglichkeit und Befruchtungsfähigkeit der Spermatozoen auseinanderzuhalten sind, wurde hinlänglich hervorgehoben; außer dieser Schwäche, welche der Beweisführung der erstgenannten Autoren anhaftet, haben beide Untersuchungsverfahren noch eine gemeinsam: die Unverläßlichkeit der Aussagen über den Zeitpunkt der Kohabitation; wie wenig solche Mitteilungen der wissenschaftlichen Forschung dienen, geht besonders eindrucksvoll aus der Arbeit von *Pryll* hervor. Man beachte dort die Angaben über die Wartezeit der Spermatozoen und der unbefruchteten Eizelle, von der wir heute wissen, daß sie nur für wenige Stunden nach der Ovulation befruchtbar bleibt! Im Gegensatz zu diesen heute nicht mehr verfechtbaren Anschauungen von der Möglichkeit mehrwöchigen Verweilens befruchtungsfähiger Spermatozoen in den Genitalorganen der Frau haben *Höhne* und *Behne* nach biologisch richtigen Beobachtungen und Überlegungen schon vor nahezu 20 Jahren darauf hingewiesen, daß die Befruchtungsfähigkeit der Samenfäden in der gesunden Tube des geschlechtsreifen Weibes nicht über 3 Tage hinausgehen könnte; die vorliegenden Untersuchungsergebnisse und Ausführungen über die jüngsten Fortschritte in der Physiologie der männlichen Keimzellen bedeuten nicht nur eine volle

Bestätigung dieser Ansicht, sondern sprechen für eine noch weitere Herabsetzung der von *Höhne* und *Behne* möglich gehaltenen Zeitspanne auf weniger als 48 Stunden.

Zusammenfassung.

Der experimentelle Cryptorchismus mit und ohne Isolierung des Nebenhodenschweifes ermöglicht beim Kaninchen ein genaues Studium des Einflusses der Bauchhöhlenwärme auf die Befruchtungs- und Bewegungsfähigkeit der Spermatozoen in den proximalen und distalen Abführungswegen des Hodens und Nebenhodens.

Während die Spermatozoen im isolierten und im Scrotum liegenden Nebenhodenschweif 40 Tage lang befruchtungsfähig bleiben, verlieren sie, wenn sie durch die Verlagerung des Hodens und Nebenhodens in das Abdomen der Bauchhöhlenwärme ausgesetzt werden, schon nach 4 Tagen ihre Befruchtungsfähigkeit; sie bleiben aber unter denselben Bedingungen bis zu 12 Tagen beweglich.

Befruchtungsfähigkeit und Beweglichkeit der Spermatozoen sind demnach Begriffe, die im allgemeinen strenge auseinanderzuhalten sind. Die Befruchtungsfähigkeit kommt jedoch insoferne in der Beweglichkeit der Spermatozoen zum Ausdruck, als nur Spermatozoen mit rascher Fortbewegungsfähigkeit als fruchtbar anzusehen sind.

Das Scrotum ist ein die Wärme lokal regulierendes Organ, dem die Aufgabe zukommt, einer Erwärmung der Testes und der Spermatozoen bis zur Körpertemperatur entgegenzuarbeiten.

Steigende Wärme bis zur Körpertemperatur fördert die Beweglichkeit der Spermatozoen, führt aber im gleichen Maße zu rascherer Erschöpfung der Bewegungsfähigkeit. Kälte unterdrückt die Beweglichkeit, erhält aber die Bewegungsfähigkeit der Spermatozoen um so länger, je intensiver die Samenzellen in ihren Bewegungen gehemmt werden. Die Motilitätsprüfung der Spermatozoen muß demnach, wenn aus der Intensität ihrer Fortbewegung auf die Befruchtungsfähigkeit geschlossen werden soll, am frischen Ejaculat bei Körpertemperatur durchgeführt werden.

Wenn die Spermatozoen im Nebenhodenschweif, in dem ganz auf ihre Konservierung eingerichteten Organ, unter der Einwirkung der Bauchhöhlenwärme schon nach 4 Tagen ihre Befruchtungsfähigkeit verlieren, so müssen sie in den weiblichen Genitalorganen, wo außer der Bauchhöhlentemperatur noch andere erschöpfende und schädigende Einflüsse die Samenzellen treffen, um vieles früher befruchtungsunfähig werden; und in der Tat fällt die Dauer der Befruchtungsfähigkeit der Spermatozoen in den weiblichen Genitalorganen auf 30 Stunden ab.

Literaturverzeichnis.

Anderson: Kentucky Agricult. exper. Stat. Bull. **244** (1922). — *Batisweiler:* Zbl. Gynäk. **1931**, Nr 39. — *Benoit:* Archives d'Anat. **5** (1926). — *Bouin* et *Ancel:* C. r. Assoc. Anat., Réunion Strasbourg **1924**. — *Courrier:* C. r. Soc. Biol. Paris **83** (1920), **87** (1922) et **88** (1923). — *Crew:* J. of Anat. **56** (1922); Proc. roy. Soc. Edinburgh **46** (1926); Verh. internat. Kongr. Sex.forschg Berlin, Experimentalforschg u. Biol. **1** (1927). — *Dührssen:* Verh. dtsch. Ges. Gynäk. Berlin 1893; Z. Geburtsh. **27** (1893). — *Fränkel:* Berl. klin. Wschr. **1920**, Nr 1. — *v. Franqué:* Dtsch. Z. gerichtl. Med. **14** (1929). — *Fukui:* Jap. med. World **3** (1923); Acta Scholae med. Kioto **6** (1923). — *Hammond:* J. of exper. Biol. **7** (1930). — *Hammond* and *Asdell:* J. of exper. Biol. **4** (1926). — *Hart:* Pflügers Arch. **196** (1922). — *Heller:* Physiol. Zool. **2** (1929). — *Hirokawa:* Biochem. Z. **19** (1909). — *Höhne* u. *Behne:* Zbl. Gynäk. **1914**, Nr 1. — *Iwanoff:* C. r. Soc. Acad. Sci. Paris **183** (1926). *Knaus:* Klin. Wschr. **1932**, Nr 1 u. 46; Arch. di Sci. biol. (Internationaler Kongreß für Physiologie. Rom 1932). — *v. Lanz:* Anat. Anz. **58** (1924); Z. Anat. **74** (1924); Pflügers Arch. **222** (1929); Klin. Wschr. **1930**, Nr 41. — *Lawrence:* Biol. Bull. Mar. biol. Labor. Wood's Hole **51** (1926). — *Lewis:* Oklahoma Agricult. exper. Stat. Bull. **93** u. **96** (1911). — *Lotze* u. *Schultz:* Zbl. Gynäk. **1932**, Nr 12. — *Mettenleiter:* Arch. Gynäk. **126** (1925). — *Mönch:* Zbl. Gynäk. **1927**, Nr. 43; Studien zur Fertilität. Stuttgart: Ferdinand Enke 1931. — *Moore:* Science **59** (1924); Endocrinology 8 (1924); Amer. J. Anat. **34** (1924); Amer. J. Physiol. **57** (1926); Biol. Bull. Mar. biol. Labor. Wood's Hole **51** (1926); J. of exper. Zool. **50** (1928). — *Moore* and *Chase:* Proc. Soc. zool. Anat. Rec. **26** (1923). — *Moore* and *Oslund:* Amer. J. Physiol. **67** (1924). — *Moore* and *Quick:* Amer. J. Anat. **34** (1924); Amer. J. Physiol. **68** (1924). — *Nürnberger:* Mschr. Geburtsh. **53** (1920) .— *Oslund:* Anat. Rec. **25** (1923); Amer. J. Physiol. **67** (1924); J. amer. med. Assoc. **90** (1928). — *Pincus:* Proc. roy. Soc. Biol. **107** (1930). — *Popa* et *Marza:* C. r. Soc. Biol. Paris **101** (1929). — *Pryll:* Münch. med. Wschr. **1916**, Nr 45; Z. Geburtsh. **79** (1917). — *Redenz:* Arch. mikrosk. Anat. **103** (1924); Würzburg. Abh. **4** (1926); Z. Zellforschg **9** (1929). — *Rehfisch:* Dtsch. med. Wschr. **1924**, Nr 14. — *Römmele:* Zool. Jb. **44** (1928). — *Sobotta:* Arch. mikrosk. Anat. **45** (1895); Z. Morph. u. Anthrop. **13** (1910). — *Stieve:* Anat. Anz. **57** (1923). Z. mikrosk.-anat. Forschg **1** (1924). — *Stiegler:* Pflügers Arch. **171** (1918). — *Van der Stricht:* C. r. Soc. Biol. T. **45** (1893). — *Walker:* Arch. f. Anat. **5** (1899). — *Walton:* Proc. roy. Soc. Biol. **101** (1927); J. of exper. Biol. **7** (1930). — *Yochem:* Biol. Bull. Mar. biol. Labor. Wood's Hole **56** (1929); Anat. Rec. **45** (1930). — *Young:* J. of exper. Zool. **49** (1927); Physiol. Zool. **2** (1929); J. Morph. a. Physiol. **47** (1929); **48** (1929); Proc. Soc. exper. Biol. a. Med. **27** (1930).