

Beiträge zur Kenntnis der Verstümmelungs- und Regenerationsvorgänge am Lacertilierschwanze.

Von

BENNO SLOTOPOLSKY.

(Als Manuskript eingegangen am 28. Juli 1920.)

Die folgenden Mitteilungen sind ein Auszug aus einer auf Anregung und unter Leitung von Herrn Professor Dr. K. Hescheler ausgeführten Dissertation, die in den „Zoologischen Jahrbüchern“ erscheinen wird. Den Herren Professoren Dr. K. Hescheler und Dr. J. Strohl, sowie Fräulein Privatdozent Dr. M. Daiber möchte ich auch an dieser Stelle für ihr Interesse und ihre Unterstützung meinen ergebensten Dank aussprechen, ebenso dem Leiter des Röntgeninstitutes am hiesigen Kantonsspital, Herrn Dr. med. H. R. Schinz, für die Anfertigung der zahlreichen Röntgenaufnahmen, die einen integrierenden Bestandteil meiner Arbeit bilden.

Die unter natürlichen Verhältnissen so häufige Schwanzruptur bei am Schwanze ergriffenen Eidechsen und Blindschleichen gilt als Schulfall der im Tierreich weit verbreiteten Selbstverstümmelung oder Autotomie, aber mit Unrecht, denn gerade dieses Verstümmelungsphänomen ist trotz einer Reihe bisher darüber gemachter, interessanter Untersuchungen einer gründlichen Abklärung noch recht bedürftig. Der Grund liegt in der Vielheit der Bedingungen, unter denen der Schwanzverlust bei den Lacertiliern in der Natur zustande kommt, und deren sorgfältige Isolation und Variation notwendig ist, um die wahre Natur des Vorgangs zu erfassen. Wenn ein lediglich auf die Handfläche gelegter — an keinem Punkte seines Körpers festgehaltener — Regenwurm aus „Unbehagen“ ein Stück seines Leibes abschnürt¹⁾, wenn ein auf den Tisch gelegter Seestern einen Arm verliert — ebenfalls, ohne dass dieser irgendwie hätte fixiert werden müssen²⁾ — dann ist der Charakter dieser Verstümmelung als einer

¹⁾ K. Hescheler, Über Regenerationsvorgänge bei Lumbriciden. Jen. Zeitschr. f. Naturwiss. 1896.

²⁾ E. Riggenbach, Die Selbstverstümmelung der Tiere. Erg. d. Anat. u. Entwicklungsgesch. Bd. 12. 1902.

Selbstverstümmelung evident. Hier genügt die blosse Beobachtung zur richtigen Erfassung des Vorgangs. Anders ist es bei der natürlichen Schwanzruptur der Lacertilier. Diese kann nur eintreten, wenn der Schwanz an irgend einer Stelle festgehalten wird, wie das z. B. der Fall ist, wenn man in der Verfolgung einer fliehenden Eidechse sie mit den Fingern am Schwanze packt. Hier erhebt sich sogleich die Frage: Ist der Eidechse der Schwanz — durch den Druck der zupackenden Finger und den Zug, den sie enteilend selbst auf den festgehaltenen Schwanz ausübte — ausgerissen worden, oder hat sie ihn durch eine aktive, eigens darauf gerichtete Kontraktion ihrer Schwanzmuskulatur abgeworfen, liegt passive Verstümmelung oder liegt Autotomie vor?

Diese Frage muss durch das Experiment beantwortet werden.

In erster Linie ist der Druck auf den Schwanz, der beim Zupacken erfolgt, auszuschalten; zu diesem Zwecke wird, nach dem Vorgang von *Fredericq*, die Eidechse mittels eines durch ein Pflaster am Schwanze befestigten Fadens gefesselt, an dem wir das Tier nun festhalten. Wenn jetzt eine Schwanzruptur erfolgt, so kommen als bewirkende Faktoren nur noch der Zug des zerrenden Tieres, oder aber eine besondere Kontraktion der Schwanzmuskulatur in Betracht. Wir müssen einen Weg suchen, um zwischen diesen beiden Möglichkeiten entscheiden zu können.

In der beschriebenen Pflasterfesselung tritt nun nach *Fredericq* und *Contejean* eine Schwanzruptur nie ohne vorausgegangene direkte Reizung des Schwanzes ein. Ich habe im Gegensatz dazu feststellen können, dass gelegentlich eine Schwanzruptur in der Pflasterfesselung auch erfolgt, ohne dass das Tier überhaupt besonders gereizt worden wäre; bezw. nach Reizung¹⁾ auch an Rumpf oder Extremitäten. In solchen Fällen ist nun die Frage: Autotomie oder passive Verstümmelung?²⁾ ohne weiteres gar nicht zu entscheiden. Wir müssen dazu wissen, ob die maximale Zugkraft, deren das Tier fähig ist, und die es ja bei dem Versuche sicherlich entfaltet, ausreicht, um die passive Zerreißung — um das „Abreißen“ im Gegensatz zum „Abwerfen“ — des Schwanzes zu bewirken. Demgemäss haben wir die Kraft zu messen, die beim toten Tiere eine Zerreißung des Schwanzes bewirkt, und andererseits die maximale Zugkraft, deren das lebende Tier fähig ist.

¹⁾ In allen massgebenden Versuchen reizte ich rein thermisch mit der Flamme eines Streichholzes, um jeden Druck oder Zug auf das Tier, der im Sinne einer passiven Schwanzruptur hätte wirken können, zu vermeiden.

²⁾ Anders in den Fällen, in denen erst bei Reizung am Schwanze die Ruptur erfolgt. Diese Fälle werden wir später diskutieren.

Das Erste ist einfach, das Zweite stösst auf so viele Schwierigkeiten, dass eine exakte Ausführung dieser Aufgabe nicht möglich ist.

Der zur passiven Zerreißung des Schwanzes erwachsener Mauereidechsen auf seiner mittleren Höhe notwendige Zug beträgt nach meinen Versuchen durchschnittlich 150—200 gr. Die maximale Zugkraft lebender Mauereidechsen, die in der Fredericq'schen Pflasterfesselung ohne direkte Reizung des Schwanzes — also entweder ohne besondere Reizung überhaupt oder auf Reize an Rumpf oder Extremitäten — die Schwanzruptur erleiden, muss kleiner sein, wenn wir eine Autotomie annehmen sollen. Zur Messung der Zugkraft von Eidechsen verwandte ich eine von zwei hohen Glasplatten begrenzte schmale, steinerne Laufbahn, an deren einem Ende eine Rolle sich befindet. In diese Laufbahn wurden frischgefangene — also nicht durch Transport und Gefangenschaft geschwächte — erwachsene Mauereidechsen gesetzt und mittels Faden und Heftpflaster am Rücken gefesselt; der Faden wurde sodann über die Rolle geführt und mit einer Gewichtsschale verbunden. Nunmehr war durch Auflegen von Gewichten auf diese der maximale Zug, dem das Tier in der Laufbahn noch das Gleichgewicht halten konnte, zu ermitteln. Aber, wie gesagt, eine exakte Durchführung dieser Aufgabe war nicht möglich, hauptsächlich deshalb, weil die Eidechse sich nicht immer gleich gut an den Boden der Laufbahn anklammert, so dass man mit einunddemselben Tier in dem gleichen Versuch manchmal beträchtlich schwankende Werte erhält. So konnte nur approximativ festgestellt werden, dass die maximale Zugkraft frischgefangener Mauereidechsen etwa 55—110 gr, mithin weniger beträgt, als der zur passiven Zerreißung ihres Schwanzes nötige Zug.

Den exakten Nachweis des Selbstverstümmelungsvermögens der Lacertilier müssen wir in anderer Weise zu führen versuchen. Wir haben oben gesagt, dass in einer Reihe von Fällen der Pflasterfesselungsversuch tatsächlich in der von Fredericq und Contejean angegebenen Weise verläuft, d. h. dass in diesen Fällen das am Schwanz gefesselte Tier ohne besondere Reizung trotz selbstverständlich heftigen Zerrens und selbst nach starker Reizung an Rumpf oder Extremitäten trotz doch nunmehr gewiss heftigsten Zerrens sich nicht zu befreien vermag; der Schwanz bricht nicht, der äusserste Zug, dessen das betreffende Tier zur Zeit fähig ist, genügt also offenbar nicht, um die Schwanzruptur zu bewirken, und doch erfolgt diese, sobald man in der gleichen Versuchsanordnung bei dem gleichen Tiere den Schwanz selber reizt; sie kann folglich da nur durch eine besondere Aktion der Schwanzmuskulatur zustande gekommen, muss also Autotomie gewesen sein.

Neben dem experimentellen Nachweis des Vorkommens einer Autotomie bei den Eidechsen scheint mir auch jene mehr subjektive Beobachtung der Beachtung nicht unwert, dass die am Schwanze gepackte Eidechse diesen, ohne dass ein merkbarer Zug ausgeübt würde, förmlich spielend verliert. Denn wer dieses erlebt hat, wird gewiss auch ohne einen exakten, objektiven Beweis schon davon überzeugt sein, dass die Eidechse ihren Schwanz abwarf, dass sie also selbst sich verstümmelte. Die gleiche Erfahrung hat Frenzel an *Iguana* gemacht, und auch bei der Blindschleiche ist sie sehr eindrucksvoll. Hier ist im übrigen der exaktere Nachweis der Autotomie auf einen Versuch zu basieren, bei dem das mittels Pflasterfesselung am Schwanze aufgehängte Tier auf einen raschen, scharfen Scherenschnitt, der die Schwanzspitze abträgt, unter Schwanzruptur zu Boden fällt. Der Umstand, dass das Körpergewicht der Blindschleiche nur den 25. Teil des zur passiven Zerreißung ihres Schwanzes erforderlichen Zuges ausmacht und in der hängenden Lage eine Verstärkung des Zuges durch die Bewegungen des Tieres auf das 25-fache wohl nicht anzunehmen ist, lässt die Schwanzruptur in diesem Falle als Autotomie erscheinen.

Diesen Versuch mit der Blindschleiche hat übrigens schon Fredericq gemacht, ohne jedoch die obige Argumentation auf ihm aufzubauen, wie überhaupt die früheren Autoren auf diesem Gebiete sowohl für Saurier mit, wie ohne Extremitäten im wesentlichen sich zum Autotomiebeweis einer ganz anderen Argumentation bedienten, die ich grundsätzlich bekämpfen möchte. Diese Forscher nämlich bestimmten allein die am toten Tiere für eine passive Zerreißung des Schwanzes notwendige Zugkraft und setzten sie höchstens noch mit dem Körpergewichte des betreffenden Tieres in Relation.¹⁾ Es kommt aber für den Autotomienachweis natürlich auf dieses gar nicht an, sondern vielmehr auf die Zugkraft des Tieres. In jedem experimentellen Autotomiebeweis muss die maximale Zugkraft des Tieres, sei's direkt bestimmt, sei's indirekt erschlossen, figurieren. Auf diese Weise und im Verein mit den subjektiven Beobachtungen beim Schwanzverlust an diesem Organ gepackter Lacertillier, lässt sich das Selbstverstümmelungsvermögen dieser Tiere zur Gewissheit machen.

Ich sage ausdrücklich Selbstverstümmelungsvermögen. Denn unsere einheimischen Saurier jedenfalls können nicht nur durch Autotomie in der Natur ihren Schwanz einbüßen; auch passive

¹⁾ Frenzel allerdings nähert sich in einem Teil seiner Ausführungen der meiner Ansicht nach richtigen Problemstellung an.

Verstümmelung ist hier möglich und kommt jedenfalls immer dann vor, wenn ein zur Autotomie nicht fähiges Individuum (ein gut Teil auch der frischgefangenen Tiere erweist sich als überhaupt selbst-amputationsunfähig) von einem Schlangen- oder Katzenmaul oder dem eines Art- oder Gattungsgenossen oder einer Menschenhand mit grösserer Kraft am Schwanze gepackt wird, oder wenn ein Stein auf seinen Schwanz herabfällt, oder durch ähnliche Veranlassungen. Denn die Brüchigkeit des Schwanzes unserer einheimischen Saurier, ganz besonders der Eidechsen, ist so gross, dass eine passive Verstümmelung durch Zug und ganz besonders durch Druck nur geringe Schwierigkeiten bietet. Nichts ist einfacher, als einer Eidechse, ob lebend oder tot, ein Stück ihres Schwanzes abzuquetschen. Wir können darum der bisherigen Anschauung nicht beipflichten, dass jeder Schwanzverlust einer Eidechse in der Natur Autotomie ist. Wenn Faussek nach Schilderung der Schwanzverstümmelung einer von einer Katze angegriffenen Eidechse sagt: „Dabei glaubt der Zuschauer gewöhnlich, die Katze habe mit ihren Krallen und Zähnen den Eidechsen Schwanz abgerissen. In Wirklichkeit ist es aber ganz anders. Es ist nicht die Katze, welche der Eidechse den Schwanz nimmt, sondern diese selbst ist es, welche ein Stück ihres Schwanzes abbricht . . .“, so ist das eine voreilige Annahme. Es kommt ganz darauf an, ob die betreffende Eidechse autotomiefähig war, oder nicht. Im letzteren Falle würde sie ihren Schwanz sicherlich leicht durch passive Ruptur verloren haben.

Diese grosse Zerbrechlichkeit des Saurierschwanzes, die der Blindschleiche den so treffenden Namen *Anguis fragilis* eingetragen hat, findet eine anatomische Grundlage in dem Vorhandensein einer präformierten Bruchstelle in jedem Schwanzwirbel mit Ausnahme der 4—6 vordersten. Diese Bruchstellen bilden den locus minoris resistentiae sowohl für Druck und Zug, wie für Biegung, also sowohl für die passive Verstümmelung, wie für die Autotomie. (Diese kommt durch s-förmige Krümmung des Schwanzes zustande.)

Ich habe die präformierten Bruchstellen topographisch und histologisch näher untersucht. Es handelt sich nicht, wie die Lehrbücher in Anlehnung an Hyrtls Darstellung angeben, um eine Knorpelscheibe, die den Wirbel quer durchsetzt, sondern um einen Spalt. Allerdings durchsetzt dieser Spalt, der den Wirbel in einen längeren kaudalen und kürzeren kranialen Abschnitt teilt, nicht die ganze Dicke des Wirbels; die Spalthälften werden nicht nur durch das Periost, sondern auch noch durch einen peripheren Ring, ja sogar bisweilen ausserdem durch unregelmässige, diffuse, mehr zentral gelegene Brücken verbunden. Von diesen Brücken abgesehen, hängen die beiden Wirbel-

abschnitte so miteinander zusammen, wie zwei mit ihren Konkavitäten aufeinandergelegte Teller. Besonders bemerkenswert ist, dass der periphere Ring (und, wo sie vorhanden sind, die zentralen Brücken) aus Knorpelgewebe bestehen. Es wird so bei jeder Ruptur Knorpel verletzt werden müssen.

An den quergeteilten Schwanzwirbeln sind auch die Querfortsätze gespalten und der Wirbelbogen erhebt sich an der Teilungsstelle zu einem sog. sekundären Dornfortsatz, der ebenfalls an der Spaltung Anteil nimmt. Vom 7. bis 10. Schwanzwirbel ab kaudalwärts ist die kaudale Zacke des Querfortsatzes stark verkümmert, so dass dieser hier einfach zu sein scheint. Die Ruptur geht jeweils zwischen den beiden Zacken der Querfortsätze und des sekundären Dornfortsatzes hindurch.

Die beschriebene Querteilung beginnt bei unseren einheimischen Eidechsen nicht, wie man bisher annahm, konstant am 7. Schwanzwirbel. Die Verhältnisse variieren vielmehr, sie variieren sogar individuell. Ja, die Regel scheint ein Beginn am 6. Schwanzwirbel zu sein; es kommt aber auch vor, dass schon der 5. die Spaltung aufweist. So locker die beiden Abschnitte eines jeden quergeteilten Schwanzwirbels verbunden sind, so fest ist die Verknüpfung der einzelnen Wirbel miteinander. Die Schwanzwirbelkörper unserer Eidechsen sind nicht gelenkig, sondern durch Synchondrose verbunden. Diese Eigentümlichkeit beschrieb bereits 1864 H. Müller, und belegte seine Angabe durch eine vorzügliche Abbildung — meines Wissens übrigens bisher die einzige Abbildung eines Sagittalschnittes durch Eidechsen-schwanzwirbel. Diese Erkenntnis scheint aber dann wieder in Vergessenheit geraten zu sein; nichtsdestoweniger ist sie für das Verständnis des Verstümmelungsmechanismus ziemlich wichtig. Die kompakte Verbindung der einzelnen Wirbel untereinander erhöht die Bedeutung der Wirbelspalte als *locus minoris resistentiae*. Der embryonale kontinuierliche Intervertebralknorpel persistiert also im Schwanz unserer Eidechsen zeitlebens. Immerhin lassen sich an ihm eine einem Gelenkkopf, eine einer Gelenkpfanne entsprechende und eine dazwischenliegende Partie, der Intervertebralknorpel i. e. S. unterscheiden, die durch die Orientierung ihrer Zellen und ihr Verhalten zu Farbstoffen ausgezeichnet sind. Die mitgeteilten anatomischen Resultate verdanke ich der Kombination dreier Untersuchungsmethoden, der Zerlegung in Schnittserien, der Röntgenphotographie und dem

¹⁾ W. Spalteholz, Über das Durchsichtigmachen menschlicher und tierischer Präparate, 2. Aufl. Leipzig 1914.

Aufhellungs- und Färbungsverfahren von Spalteholz¹⁾, auf dessen Fruchtbarkeit ich noch besonders hinweisen möchte.

Das Zustandekommen einer Schwanzautotomie hat zwei Voraussetzungen, eine mechanische und eine nervöse. Die mechanische besteht darin, dass der Schwanz, um abgeworfen werden zu können, an zwei Punkten fixiert sein muss. Ein Fixpunkt ist natürlich mit der Befestigung am Becken gegeben. Der andere muss jeweils geschaffen werden. Autotomie an frei flottierenden Schwanzenden ist unmöglich. Sie kann nur durch s-förmige Krümmungen des Schwanzes zwischen zwei fixen Punkten zustande kommen. Ich konnte hierfür sowohl für Eidechsen, wie für Blindschleichen den Beweis erbringen.

Eine Blindschleiche wird auf den Tisch gelegt, am Schwanze gefasst, und, indem das Tier festgehalten bleibt, wird eine Weile gewartet. Es erfolgt keine Verstümmelung.

Das wird einige Male wiederholt, immer mit dem gleichen Resultat, woraus hervorgeht, dass bei dem vorliegenden Individuum blosses Festhalten am Schwanze die Autotomie nicht auszulösen vermag, dass also diese Manipulation hier nur die Bedeutung hat, einen zweiten Fixpunkt zu schaffen, und nichts weiter.

Nunmehr wird dem unausgesetzt am Schwanze festgehaltenen Tiere durch einen scharfen Scherenschnitt das Schwanzende amputiert. Im Verlauf weniger Sekunden erfolgt unter s-förmigen Krümmungen Autotomie. Das Tier ist also selbstamputationsfähig.

Es wird ein weiterer Scherenschnitt gemacht, dann aber der festgehaltene Schwanz rasch losgelassen: es erfolgt keine Ruptur.

Die Ursache hierfür muss darin erblickt werden, dass diesmal der zweite Fixpunkt fehlte.

Dass die Autotomie dabei nicht etwa infolge eingetretener Schwächung des Tieres unterblieb, beweist ein weiterer Scherenschnitt bei festgehaltenem Schwanz, der wiederum die Selbstverstümmelung zur Folge hat.

Der Satz, dass für die Autotomie bei der *Anguis fragilis* zwei fixe Punkte Bedingung sind, ist also evident.

Auch für die Eidechsen ist der Beweis leicht. Reizt man in der Pflasterfesselung distal von der Fesselungsstelle rein thermisch, so erfolgt die Ruptur dennoch proximal von der Fesselungsstelle, zwischen ihr und dem Becken; reizt man aber distal von der Fesselungsstelle durch Kneifen und schafft so einen weitem Fixpunkt, so bricht der Schwanz auch distal von der Fesselungsstelle unmittelbar vor der Reizstelle.

Die mechanische Vorbedingung haben wir kennen gelernt. Die nervöse liegt in der erhaltenen vollen Vitalität des Tieres.

Nach Dawydoff hängt das Selbstamputationsvermögen stark von der Temperatur ab; dass Gefangenschaft es beeinträchtigt, ja aufhebt, wird allgemein angegeben und kann ich durchaus bestätigen.

Sind die Vorbedingungen erfüllt, dann muss ein Reiz die Eidechse

treffen, um die Autotomie auszulösen. Wenn man eine flüchtende Eidechse am Schwanz ergreift, so schafft man die mechanische Vorbedingung und meist gleichzeitig den Reiz. Im Experiment kann man das trennen.

Ist nun die Reaktion, die in der Selbstverstümmelung liegt, eine willkürliche oder eine reflektorische? Dass die Autotomie als reiner Reflex verlaufen kann, scheint durch die Versuche Fredericqs und namentlich Contejeans bewiesen, nach dem sogar an des ganzen Vorderkörpers beraubten „Eidechsen“ die Selbstamputation noch auszulösen ist. Ich selbst habe diese Ergebnisse trotz aller möglichen Kautelen nicht bestätigen können, aber ich kann meine negativen Resultate selbstverständlich nicht gegen diese positiven und bestimmten Angaben ins Feld führen.

Hingegen ist es sehr zweifelhaft, ob nur direkte Reizung des Schwanzes den Autotomiereflex auszulösen vermag, wie Fredericq und Contejean meinen. In all den Fällen, in denen ich die Eidechse in der Pflasterfesselung sich ohne direkte Reizung des Schwanzes durch Schwanzruptur befreien sah, kann ja möglicherweise die Autotomie (deren Vorliegen wir ja auch in diesen Fällen mit gutem Grund vermuten) durch einen durch das zerrende Tier selbst auf den Schwanz produzierten Zugreiz zustandegekommen sein, es kann sich aber auch ebensogut um einen psychogenen Reflex, ausgelöst durch rein affektive Reize, oder, sofern an Rumpf oder Extremitäten besonders gereizt wurde, durch Schmerzreize gehandelt haben.

Ob und inwieweit nun vollends noch der Wille des Tieres bei der Autotomie mitzuspielen vermag, ist experimentell nicht zu eruieren. Fredericqs Argumentation gegen einen Einfluss des Willens auf die Autotomie ist ebensowenig stichhaltig, wie die Dawydoffs dafür. Zu dieser Frage können wir meiner Ansicht nach nur mit einem „Ignoramus“ Stellung nehmen.

Über die Selbstverstümmelung bei Eidechsen mit regeneriertem Schwanz herrschten bisher recht unklare Vorstellungen. Die Dinge liegen aber ziemlich einfach; der Versuch bestätigt, was man aus den Bauverhältnissen schon deduzieren kann. Im Bereich eines Regenerates, das statt der quergeteilten Wirbel ein einheitliches kompaktes Knorpelrohr besitzt, ist eine Autotomie unmöglich, wohl aber können auch am Regenerat applizierte Reize eine solche auslösen, sofern nur der normale Schwanzabschnitt, an den das Regenerat ansetzt, noch präformierte Bruchstellen enthält. Eine Eidechse kann also mehrmals im Leben autotomieren. Sie ist übrigens auch imstande, mehrmals hintereinander zu autotomieren. Man kann eine gut disponierte

Eidechse oder Blindschleiche, indem man sie von der Schwanzspitze kranialwärts aufsteigend immer wieder durch Fassen am Schwanze zur Selbstamputation reizt, im Verlauf weniger Sekunden ihren ganzen Schwanz abwerfen lassen, bis auf das nicht autotomierbare kranialste Stück, das die ersten 4—6 ungeteilten Schwanzwirbel enthält.

Nach erfolgter Schwanzautotomie ist das Schicksal der voneinander getrennten Teile ein sehr verschiedenes. Das Amputat stirbt natürlich in kürzester Zeit ab und verwest, der zurückgebliebene Stumpf aber lässt ein Regenerat aus sich hervorsprossen.

Jedoch beansprucht auch das Amputat noch unser Interesse. Es zeigt nämlich unmittelbar nach der Autotomie eine auffallende Erscheinung, indem es heftige schlängelnde Bewegungen ausführt — geeignet, die verfolgende Schlange oder Katze in Staunen oder Schrecken zu setzen —, die allmählich immer schwächer werdend, im Laufe von etwa 10 Minuten erlöschen. Aber damit ist noch nicht alles Leben aus dem Amputate gewichen, durch besondere Reizung können nun noch, wenn auch nur schwache Bewegungen ausgelöst werden, bis dann schliesslich nach etwa einer Stunde das animale Leben in dem Amputat vollständig aufgehört hat. Diese sämtlichen Bewegungen hat man bisher schlechthin als Reflexbewegungen aufgefasst. Mir scheint, das trifft nur für die durch besondere Reize provozierten Bewegungen zu. Die automatischen Bewegungen der ersten 10 Minuten hingegen sind wohl auf die vorangegangene ausserordentliche Reizung des bei der Autotomie durchtrennten Rückenmarkes zurückzuführen, das nun noch eine Zeitlang allmählich schwächer werdende motorische Impulse aussendet.

Da der Lacertilierschwanz sowohl bei der Autotomie, wie auch bei passiver Verstümmelung durch Druck oder Zug an den gleichen präformierten Stellen bricht, so dürfte in der Natur wohl überhaupt nur im Bereiche der Wirbelspalte eine Schwanzruptur erfolgen und dementsprechend auch eine Regeneration ebenso nur von solchen intravertebralen Bruchflächen aus. Ich konnte nun die interessante Feststellung machen, dass auch aus einer künstlich geschaffenen¹⁾ intervertebralen Bruchfläche ein Regenerat hervorsprosst. Des weiteren ist Regeneration auch zu konstatieren nach Amputation im Bereiche der ersten (ungespaltene) Kaudalwirbel¹⁾. Diese Tatsachen können vielleicht für die Auffassung der histogenetischen Vorgänge bei der Regeneration des Saurierschwanzes Bedeutung haben.

Die Zone der Regenerierbarkeit fällt also nicht mit der Zone der

¹⁾ Die Schnittführung in den betreffenden Versuchen wurde durch gewisse Beziehungen bestimmt, die zwischen Wirbel- und Schuppenwirbelzahl bestehen.

Autotomierbarkeit zusammen, sie erstreckt sich vielmehr über den ganzen Eidechschwanz. Nur will es scheinen, als ob das äusserste Schwanzende (Zone der letzten 6 Schwanzwirbel) nicht mehr regeneriert werden könne.

Mit der allgemeinen Theorie der Regeneration verknüpft ist ein von altersher viel diskutiertes Phänomen am Lacertilienschwanz: die Mehrfachbildungen. Die ursprüngliche teratologische Auffassung der Doppelschwänze wich anhand ihrer anatomischen Untersuchung der Erkenntnis, dass sie durch einen Regenerationsprozess zustande kommen. Weiterhin wurde die Vermutung aufgestellt, dass dieser Regenerationsprozess sich an eine partielle Schwanzruptur anschliesse. Vor allem Tornier lieferte hierzu die experimentelle Bestätigung. Er hält es aber für notwendig, dass der Schwanz nicht nur eingeknickt, sondern gleichzeitig auch seiner Spitze beraubt werde, indem das dann überschüssige Nährmaterial sich auf beide Wundflächen verteile und nur so ein einigermaßen ansehnlicher Doppelschwanz entstehen könne. Tornier hält also die Überernährung der Wundstelle für eine wesentliche Bedingung des Regenerationserfolges.

Mir gelang es nun, auch durch einen blossen Einschnitt eine ansehnliche überzählige Schwanzspitze zu erzeugen. Das könnte dafür sprechen, dass es auf eine Überernährung der Wundstelle für den Regenerationserfolg nicht ankommt. Es handelt sich aber um einen besonderen Fall, indem der Einschnitt an einem regenerierten Schwanz gemacht worden war, in welchem möglicherweise eine so starke Wachstumsenergie stecken könnte, dass hier — im Gegensatz zum normalen Schwanz — eine Überernährung der Wundstelle für eine erfolgreiche Regeneration nicht nötig wäre. An normalen Schwänzen nun vermochte ich bisher durch blossen seitlichen Einschnitt keine Doppelbildungen hervorzurufen; doch beweisen die betreffenden Versuche nichts; sie scheiterten von vorneherein daran, dass die abgекnickten Schwanzenden bei sämtlichen Individuen dieser Versuchsgruppe abfielen, wie ich überhaupt Torniers Angabe, dass nach zu starker Abknickung die betreffenden Stücke abfallen, nach ungenügender Abknickung die Wunde aber einfach verheilt, bestätigen kann.

Sicher ist, dass der Regenerationsprozess eine Skelettfraktur zur Voraussetzung hat, und es scheint, als ob diese eine vollkommene sein muss. Im übrigen gelang es mir, wie Tornier, von einem normalen Schwanz aus durch Amputation der Schwanzspitze und Einknickung des Stumpfes eine überzählige Schwanzspitze zu erzeugen.

Die Frage nach der Bedeutung der Überernährung der Wundstelle für den Regenerationserfolg bedarf noch weiterer Untersuchungen.