DIE NATURWISSENSCHAFTEN

1. Jahrgang.

17. Januar 1913.

Heft 3.

Kalischers Dressurmethode zur physiologischen Erforschung der Sinnesempfindungen.

Von Prof. R. du Bois-Reymond, Berlin.

Die Physiologie als Lehre von den Lebenserscheinungen hat auch solche Vorgänge zu erforschen, die sich nicht exakt nachweisen lassen, sondern in Gebiete hinüberreichen, von denen man nur durch innere eigene Erfahrung sichere Kenntnis hat. Ein solcher Vorgang ist jegliche Sinnesempfindung. Wenn ein Lichtstrahl in die Pupille fällt, so kann er eine Lichtwahrnehmung hervorrufen, wenn nämlich alle Teile des Sehorgans leistungsfähig sind. Ob eine Lichtwahrnehmung entsteht, oder nicht, kann aber nur das betreffende Individuum selbst angeben.

Bei Untersuchungen auf dem Gebiete der Sinnesphysiologie kommt es nun oft darauf an, feststellen zu können, ob ein Sinneseindruck stattgefunden hat, oder nicht. In diesen Fällen entsteht für den Untersucher die Schwierigkeit, daß er sich entweder auf Beobachtungen am Menschen beschränken muß, der ihm über seine Wahrnehmungen Rede stehen kann, oder, wenn er seine Studien an Tieren macht, darauf angewiesen ist, aus dem Verhalten der Tiere zu schließen, ob sie seine Empfindung gehabt haben oder nicht.

Wenn es nun z. B. gilt, festzustellen, welche Teile des Gehirns beim Zustandekommen einer Gesichtswahrnehmung tätig sind, so kann man diese Frage beantworten, indem man Menschen, die an bestimmten Stellen des Gehirns Verletzungen erlitten haben, auf ihre Gesichtseindrücke prüft. Dabei muß man natürlich mit solchen seltenen Fällen vorlieb nehmen, die gerade für die Untersuchung geeignet sind, und kann überdies nur ausnahmsweise den Ort der Verletzung am Gehirn genau genug bestimmen, um ein sicheres Ergebnis zu erhalten. Erst durch sehr umfassende Beobachtungsreihen wird also auf diese Weise Aufschluß gewonnen werden können. Demgegenüber bietet der Tierversuch den Vorteil, daß man durch Operation ganz bestimmte Hirnteile ausschalten kann, aber hier tritt der Nachteil ein, daß die etwa entstehenden Sehstörungen am Tiere sehr schwer nachzuweisen sind.

Aus diesem Beispiel wird ersichtlich sein, welchen Wert für die Physiologie ein Verfahren haben muß, das den Zweck erfüllt, von einem Versuchstier eine deutliche und bestimmte Angabe über seine Sinnesempfindungen zu erhalten. Das Verdienst, ein solches Verfahren erdacht, es in voller Erkenntnis seiner mannigfachen Anwendbarkeit ausgebildet und erprobt, und endlich es schon zur Beantwortung einer Reihe von Fragen benutzt zu haben, gebührt Prof. Dr. Otto Kalischer in Berlin. Es ist allerdings nicht ganz leicht, mit wenigen Worten anzu-

geben, worin das Neue von Kalischers Erfindung der „Dressurmethode“ liegt. Wie so häufig bei Erfindungen ist nicht der Grundgedanke das eigentlich Wertvolle, sondern die Tat des Erfinders liegt darin, die Verwertbarkeit eines an sich einfachen und nicht einmal neuen Gedankens richtig eingeschätzt zu haben.

Die Physiologen haben von jeher in einzelnen Fällen Tiere dressiert, um nachher zu beobachten, wie unter veränderten Bedingungen die angelernte Tätigkeit abgeändert werde. Tierseelenforscher haben ebenfalls Tiere dressiert, um über geistige Fähigkeiten, Erinnerungsvermögen und anderes mehr Aufschluß zu erlangen. In allen diesen Fällen aber war die Dressur auf einen ganz bestimmten Zweck zugeschnitten und forderte von dem Tier eine unnatürliche, oft sogar recht verwickelte Tätigkeit, die meist erst nach verhältnismäßig langer Mühe erlernt werden konnte. Daher war auch niemals von einer ausgedehnten allgemeinen Anwendung solcher Dressuren zum Zwecke physiologischer Untersuchungen die Rede.

Freilich ist ungefähr gleichzeitig mit Kalischers ersten Angaben über seine Methode aus Pawlows berühmtem Laboratorium in Petersburg ein Verfahren angegeben worden, das dem von Kalischer nahesteht. Pawlow und seine Schüler hatten gefunden, daß, da Hunde ihre Wunden zu lecken pflegen, beim Hunde Speichelfluß eintritt, wenn die Haut oberflächlich verletzt wird, ja, daß schon die Vorbereitung zu einem solchen Experiment, oder die Vorbereitung zur Fütterung Speichelfluß herbeiführte. Sie fanden ferner, daß sich, wenn man irgendeine äußere Bedingung längere Zeit hindurch regelmäßig zugleich mit der Fütterung einwirken läßt, ein sogenannter „bedingter Reflex“ ausbildet, eine maschinenmäßige Verkettung zwischen der Erregung des Nervensystems, die jene äußere Bedingung verursacht, und der Erregung der Speicheldrüsen. Ein Hund, der regelmäßig sein Futter beim Ertönen einer bestimmten Glocke erhält, bekommt Speichelfluß, sobald die Glocke ertönt, auch ohne daß ihm Futter gereicht wird. Pawlow hatte auch sogleich erkannt, daß diese Tatsache für mannigfache Untersuchungen nutzbar gemacht werden könne, weil sie ein deutliches Zeichen gewährt, daß das Tier eine bestimmte Sinnesempfindung gehabt habe. In der Theorie ist auch zwischen Pawlows Methode und der von Kalischer weder ein grundsätzlicher Unterschied noch ein wesentlicher Vorzug zugunsten Kalischers zu finden. In der praktischen Ausführung dagegen dürfte Kalischers Verfahren gegenüber dem Pawlowschen sehr viele Vorteile darbieten.

Kalischer ging von dem Plane aus, das Tier zu einer bestimmten Antwort auf ein gegebenes Zeichen zu erziehen, und wählte, zielbewußt, als einfachste solche Antwort eine Tätigkeit, die den

Tieren unter allen vielleicht die geläufigste ist, nämlich das Ergreifen dargebotenen Futters. Er dressierte zunächst Hunde so, daß er auf einem Harmonium einen bestimmten Ton angab, und dabei dem neben ihm stehenden Tiere Fleischstücke vorlegte. Nur während der Ton gehalten wurde, durfte der Hund fressen. Dann schritt er dazu fort, verschiedene Töne anzuschlagen, und auch dabei das Tier nur bei dem einen bestimmten Tone die dargebotenen Fleischstücke nehmen zu lassen. Schon nach wenigen solchen Sitzungen kamen die Hunde dahin, bei dem bestimmten Tone eifrig zuzugreifen, während sie bei allen anderen Tönen mit der Gebärde, als wollten sie einer Versuchung entgehen, den Kopf abwendeten.

Schon diese ersten Versuche führten zu einem erstaunlichen Ergebnis: Es zeigte sich, daß die Hunde Intervalle von nur einem halben Ton erkannten, daß sie den bekannten Ton wochenlang im Gedächtnis behielten, und daß sie ihn aus einem beliebigen Gemisch verschiedener Töne heraushören konnten. In diesem Punkte ging die Leistung der Hunde über die der besten Musiker hinaus, denen dies Kunststück nur in mittleren Tonlagen möglich ist, während es den Hunden auch in den tieferen Tonlagen gelang.

Selbstverständlich fehlte es diesem Ergebnis gegenüber nicht an Einwendungen, zumal da kurz vorher Herr v. Osten mit seinem „klugen Hans“ aufgetreten war. Zwischen dem Falle des „klugen Hans“ und dem der Hunde von Kalischer ist aber der große Unterschied, daß alle die Proben, die zur ernsthaften Prüfung des Pferdes vorgeschlagen wurden und schließlich auch zur „Entlarvung“ geführt haben, von Kalischer selbst in sehr verschärftem Grade im voraus ausgeführt worden waren. So hatte er die Hunde mit verbundenen Augen oder sogar ganz geblendet geprüft, sie von anderen Personen prüfen lassen, und, was am meisten ins Gewicht fällt, er hatte gezeigt, daß die Hunde, sobald sie taub gemacht wurden, vollkommen versagten. Hier sei auf einen Hauptvorteil von Kalischers Verfahren hingewiesen, daß er nämlich imstande war, ganze Reihen von Tieren zu solchen Gegenproben zu benutzen, weil seine Dressur verhältnismäßig so schnell und leicht ist. Wäre, wie nach Pawlows Verfahren, monatelange Gewöhnung nötig, um die erforderliche Sicherheit in der Dressur zu erlangen, so könnte der Untersucher sich nicht so leicht zu einer Gegenprobe, wie die durch Taubmachen des dressierten Tieres ent-schließen, weil dabei die ganze auf die Dressur verwendete Mühe geopfert wird.

Übrigens hat sich Kalischer nicht begnügt, diesen überraschenden Grad von Tonunterscheidung bei Hunden festgestellt zu haben, sondern er hat dieselbe Fähigkeit, wenn auch in geringerem Grade bei einem Esel und bei Katzen und Affen nachgewiesen.

Um sein Verfahren auch auf die Prüfung des Geruchssinnes anzuwenden, ließ sich Kalischer eine Anzahl Gefäße mit Siebeinsatz machen, in den Brocken von Hundekuchen gelegt wurden, während auf den Boden des Gefäßes ein Stück Filtrierpapier getan wurde, das mit riechender Flüssigkeit be-

feuchtet war. Die Hunde wurden darauf dressiert, nur aus Gefäßen zu fressen, die einen bestimmten Riechstoff enthielten, und die mit anderen Riechstoffen beschickten Gefäße abzulehnen. Die Dressur gelang ebenso leicht wie die Tondressur, und es zeigte sich, wie nach dem bekannten Spürvermögen der Hundenase zu erwarten war, daß die Hunde die Gefäße, an denen die menschliche Nase keine Spur eines Geruches wahrnehmen konnte, mit Sicherheit zu unterscheiden vermochten. Da die Gefäße alle gleich waren, so daß Kalischer selbst während seiner Versuche oft selbst nicht wußte, welchen Geruch er dem Hunde darbot, bildet diese Versuchsreihe zugleich einen auch für die anderen Versuche gültigen Beweis, daß die Hunde sich wirklich nach dem Geruchssinn, und nicht etwa nach irgendwelchen Anzeichen in dem Verhalten des Untersuchenden richteten. Die Hunde zeigten sich auch darin dem Menschen weit überlegen, daß sie einen bestimmten Geruch aus einer Mischung verschiedener Gerüche herausfinden konnten, selbst wenn er für menschliche Nasen durch viel stärkere Düfte vollständig verdeckt war. Sogar in einer Mischung von natürlichem und künstlichem Moschus vermochte ein auf natürlichen Moschus dressierter Hund die Gegenwart des natürlichen Moschus zu erkennen, während er künstlichen Moschus zurückwies. Die Dressur auf Gerüche schien besser als andere im Gedächtnis zu haften, so daß einer der Hunde noch nach fünfmonatlicher Unterbrechung der Prüfungen die Probe bestand.

Im Gebiete der Temperaturempfindung gestaltete Kalischer seine Methode so, daß er eine Pfote des Hundes in kaltes oder warmes Wasser tauchte, und das Tier gewöhnte, nur im einen oder anderen Falle die dargebotenen Fleischstücke anzunehmen. Bemerkenswert ist, daß die so dressierten Tiere alsbald auch richtig reagierten, wenn statt die Pfote einzutauchen, das kalte oder warme Gefäß an beliebige Körperstellen gehalten wurde. Diese Dressur wurde für eine Untersuchung über die Bahnen der Temperaturempfindung im Zentralnervensystem verwendet, auf die unten näher eingegangen werden soll.

Eine weitere Anwendung des Verfahrens betraf das sogenannte „Lagegefühl“. Der Hund wurde darauf dressiert, nur zu fressen, wenn der Untersucher einem der Fußgelenke des Tieres eine bestimmte Stellung gab. Um hierbei die Mitwirkung anderer Gefühlseindrücke auszuschalten, wurden während der Proben allerlei verschiedene Bewegungen in den anderen Gelenken des betreffenden Beines vorgenommen. Auch hierbei zeigte sich, daß die Hunde, bei denen die Dressur an einem Beine vollendet war, sogleich richtig reagierten, wenn die Probe an dem anderen Beine gemacht wurde. Auch diese Dressur war zum Zwecke besonderer sinnesphysiologischer Untersuchungen ausgeführt worden.

Endlich hat Kalischer sein Verfahren auch der Beantwortung der vielumstrittenen Frage nach dem Farbenunterscheidungsvermögen der Tiere dienstbar gemacht. Es lagen hierüber nur wenige Untersuchungen vor, die überdies zu entgegengesetzten

Ergebnissen geführt hatten. *Kalischer* bediente sich eines Schirmes aus Mattglas, der von dahinterstehenden Glühlampen mit verschiedenfarbigem Licht beleuchtet werden konnte. Hunde oder Affen wurden dressiert, nur bei Beleuchtung mit Licht von einer bestimmten Farbe zuzugreifen. Es ließ sich auf diese Weise zunächst mit Bestimmtheit erweisen, daß die Hunde verschiedene Farben unterscheiden können. Hunde, die auf rotes Licht dressiert waren, wichen bei blauem Licht unfehlbar von dem dargebotenen Futter zurück. Weniger sicher war die Unterscheidung von grünem, gelbem, violetterm Lichte. Daß dabei die Helligkeitsunterschiede keine Rolle spielten, konnte dadurch gezeigt werden, daß verschieden helle Lampen von verschiedenen Farben in beliebig wechselnder Weise angewendet wurden.

Die vorliegenden Angaben dürften genügen, zu zeigen, wie außerordentlich fruchtbar die *Kalischer*sche Dressurmethode für die Erforschung der Sinneseindrücke von Tieren sein kann. Ihr Nutzen ist aber nicht darauf allein beschränkt, über das Wahrnehmungsvermögen der Tiere Aufschluß zu geben, sondern indem sie dies leistet, gewährt sie zugleich ein Mittel, die Art und Weise zu erforschen, wie eine Sinneswahrnehmung zustande kommt.

Es ist bekannt, daß die Sinnesorgane des Menschen und der Tiere so gebaut sind, daß sie durch gewisse äußere Vorgänge erregt werden, und daß die Erregung sich durch die Sinnesnerven gewissen Teilen des Gehirns mitteilt. Für viele Sinnesempfindungen, unter anderen die Temperaturempfindung ist nun die Bahn, der die Erregung im Zentralorgan folgt, unbekannt. *Kalischer* konnte nun zeigen, daß, wenn den Hunden, die er auf Wärme und Kälte dressiert hatte, das Rückenmark von einer Seite aus halb durchschnitten wurde, der Erfolg der Dressur für das Hinterbein der verletzten Seite bestehen blieb, dagegen auf der anderen Seite stark beeinträchtigt war. Dies ist ein Beweis, daß die Bahnen, die die Temperaturempfindung leiten, vorwiegend „gekreuzt“, das heißt in der entgegengesetzten Körperhälfte verlaufen.

Diejenigen Gehirnteile, die zu den einzelnen Sinnesorganen in Beziehung stehen, hat man dadurch zu ermitteln gesucht, daß man die Sinnesorgane beobachtete, und bei elektrischer Erregung bestimmter Hirnteile Bewegungen an den Sinnesorganen wahrnahm. Ergänzt wurden diese Untersuchungen dadurch, daß man die betreffenden Hirnteile operativ entfernte und aus dem Verhalten des Tieres Störungen im Gebiete des betreffenden Sinnes erkannte. Auf diese Weise hat der kürzlich verstorbene Physiologe *Hermann Munk* eine Anzahl verschiedener Gebiete auf der Oberfläche des Gehirns abgegrenzt, die er als „Sinnes-Sphären“ für das Gesicht, das Gehör, den Geruch und das Gefühl bezeichnete. Die Dressurmethode bietet ein Mittel, die Leistungsfähigkeit der Sinnesorgane in manchen Beziehungen viel schärfer zu prüfen, als es bisher möglich war, wie dies zum Beispiel für den Gehörsinn aus dem, was oben über die Tondressur mitgeteilt ist, sehr deutlich ersichtlich wird. Nun

hatte man gefunden, daß nach Entfernung der „Hörsphäre“ des Gehirns Hunde sich vollkommen taub erwiesen, und glaubte ferner festgestellt zu haben, daß, wenn der vordere Teil der Hörsphäre entfernt worden war, der Hund für hohe Töne taub war, wenn der hintere Teil der Hörsphäre entfernt worden war, für tiefe Töne. Diese Angaben prüfte *Kalischer* mit seiner Dressurmethode nach, indem er Hunden, die auf verschiedene Töne dressiert waren, die Hörsphäre ganz oder zum Teil ausschitt. Es zeigte sich, daß selbst nach völliger Entfernung der Hörsphäre die Tondressur unverändert erhalten blieb, ja, daß die operierten Hunde instande waren, eine neue Dressur auf andere Töne anzunehmen. Dies Ergebnis beweist, daß sich entweder die Verknüpfung zwischen Tonempfindung und Freßfähigkeit in den unteren Teilen des Gehirns ohne Zutun des Bewußtseins vollzieht, oder daß auch die Funktionen dieser unteren Teile mit Bewußtseinsvorgängen verknüpft sind. In beiden Fällen sind für die Anschauung, die man sich von dem Zusammenhang zwischen Gehirntätigkeit und Bewußtsein zu machen sucht, neue bisher ungeahnte Grundlagen gegeben.

Auch in die Lehre von der Tätigkeit der Sinnesorgane selbst haben *Kalischer*s Versuche mit seiner neuen Methode einen ganz unerwarteten Aufschluß gebracht, indem die von *Helmholtz* aufgestellte Theorie des Gehörorgans, die sogenannte Resonanztheorie, als unhaltbar erwiesen worden ist. Das Cortische Organ im inneren Ohr besteht aus einer Membrane, die von Tausenden nebeneinander wie Klaviersaiten ausgespannter Fäden durchzogen ist. Diese Saiten sind, ganz wie im Klavier, an einem Ende der Membrane länger, am anderen kürzer. Auf je einigen Saiten ruhen „Cortische Bögen“, die auf besondere Weise mit den Hörzellen, in denen die einzelnen Fasern des Hörnerven endigen, in Verbindung stehen. Die Deutung, die *Helmholtz* diesem Befunde gegeben hat, daß nämlich die Saiten je nach ihrer Länge mit Tönen von verschiedener Höhe mitschwingen, so daß jeder außen erklingende Ton von gegebener Höhe immer nur eine bestimmte Faser des Hörnerven erregt, und daß dadurch das Cortische Organ das Organ der Tonunterscheidung sei, scheint so einleuchtend, daß sie gar nicht angezweifelt werden kann, und sie ist so allgemein angenommen worden, daß sie selbst in die elementarsten Lehrbücher der Physik aufgenommen worden ist. Physiologen und Ohrenärzte aber, die mit den Einzelheiten des Baues der betreffenden Teile und mit deren Leistung genauer vertraut waren, haben nicht ohne Ausnahme der Resonanztheorie zugestimmt. Die Probe auf das Exempel ist offenbar, zuzusehen, ob nach Zerstörung eines Teiles des Cortischen Organs die Gehörsphäre für einen entsprechenden Teil der Tonleiter aufgehoben ist. Solche Versuche sind angestellt worden und haben angeblich die Resonanztheorie bestätigt, doch war das Ergebnis wegen der Unsicherheit der Hörprüfung bei Tieren nicht recht sicher. *Kalischer*s Tondressur gibt nun für diesen Versuch die allergünstigsten Bedingungen: Man braucht nur einige Hunde auf verschiedene Töne

zu dressieren, alsdann ihre Cortischen Organe zu verletzen, und zuzusehen, ob die Verletzung sie hindert, die bekannten Töne wahrzunehmen. Dies hat nun *Kalischer* nicht einmal, sondern oft wiederholt ausgeführt, und sich durch mikroskopische Untersuchung des Cortischen Organs vergewissert, welche Teile davon wirklich zerstört worden waren. Er fand, daß, solange überhaupt nur ein Teil des Cortischen Organs erhalten war, die Hunde alle Töne der Tonleiter zu unterscheiden vermochten. Die Helmholtzsche Resonanztheorie ist durch diese Versuche widerlegt.

Manche werden vielleicht geneigt sein, zu sagen: Wenn Herr *Kalischer* bei Hunden, denen die Hörsphäre entfernt ist, Gehörs wahrnehmungen, bei Hunden, denen fast das ganze Cortische Organ fehlt, Tonunterscheidung findet und deshalb bisher anerkannte Lehren umstürzen will, so ist im Gegenteil zu schließen, daß Herr *Kalischer* sich täuscht, und daß — denn dieser Einwand kehrt immer wieder — die ganze Sache nur ein Seitenstück zum „klugen Hans“ darstellt. Dieser Auffassung sei hier nochmals mit der Bemerkung entgegengetreten, daß die Hunde nach gänzlicher Zerstörung des Cortischen Organs die Tondressur verloren, daß aber erst die mikroskopische Untersuchung, die Monate später stattfand, über diesen Punkt Entscheidung brachte. Es lag also bis dahin eine gänzlich objektive Prüfung vor. Wäre es gewesen wie beim klugen Hans, so hätten die Hunde auch ganz ohne Cortisches Organ die Tondressur gezeigt.

Literatur.

Über *Pawlows* „Methode der bedingten Reflexe“ vergleiche:

Otto Cohnheim. Die Innervation der Verdauung. Münchener Medicin. Wochenschr., Jg. 49 (1902), S. 2173, woselbst weitere Lit. angegeben.

Ferner:

Zeliony. Contribution à l'analyse des excitants complexes des réflexes conditionnels. Ib. p. 437.

Über *O. Kalischer's* Versuche siehe:

O. Kalischer. Zur Funktion des Schläfenlappens des Großhirns. Sitzungsber. d. Berl. Akad. 21. Febr. 1907.

O. Kalischer. Weitere Mitteilung über die Ergebnisse der Dressur als physiologische Untersuchungsmethode auf den Gebieten des Gehör-, Geruchs- und Farbensinns. Arch. f. Physiol. 1910. S. 303.

Die Täler des Taurus und die Linie der Bagdadbahn.

Von Professor Dr. F. Frech, Breslau,
Direktor des Geologischen Instituts der Universität.

Die Talbildung in Anatolien.

Der Gegensatz der alten, durch Jahrtausende abflußlos gebliebenen Zentralmasse Anatoliens und der durch junge Brüche gebildeten Küsten prägt sich vor allem in der Talbildung aus. Auch gegenwärtig ist im ganzen Innern des Landes westlich vom Halys der Jahresniederschlag nicht ausreichend, um Flußläufe mit dauernder Wasserführung zu

schaffen. Andererseits befinden sich an den vor geologisch kurzer Zeit gebildeten Küsten die Täler in fortwährendem raschen Einschnitten und die Flußdeltas in unausgesetztem Wachstum. An der Nordküste schieben Halys und Iris ihre Ablagerungen unausgesetzt in das Schwarze Meer vor und die ganze kilikische Ebene ist im Grunde genommen nur das gewaltige Delta des Seihun, Dschihan und ihrer Nebenflüsse. Während hier ein allerdings durch Fieber beeinträchtigtes, fruchtbares Alluvialland unausgesetzt wächst, haben an der Westküste der Halbinsel die jungen Flußanschwellungen die berühmten Häfen des Altertums ausnahmslos verschüttet. Ephesos und Milet gehören als Häfen und als Städte der Vergangenheit an, während uns von dem kilikischen Tarsus nur noch die Ueberlieferung die ehemalige Lage am Meere berichtet. Dagegen beruht die Blüte des Handels-Emporiums Smyrna darauf, daß ebenso wie auf den griechischen Inselhäfen Flüsse mit ihren verderblichen Schotter- und Sandmassen fehlen. Der Bosphorus und der Hafen von Konstantinopel stellt ein „ertrunkenes“, d. h. vom Meere ausgefülltes ehemaliges Tal dar, und zwar ist der Bosphorus das Tal eines tertiären Hauptstromes, das Goldene Horn das unter Wasser gesetzte Bett eines Nebenbaches. Die allgemeine Senkung hat hier wie bei Hamburg, London und New York gesicherte und ausgedehnte Ankerplätze geschaffen. Nun ist bei den genannten drei Welthandelsplätzen das Meer einfach in die vom Flusse ausgespülte Hohlform hineingeflossen. Am Bosphorus ist der ganze Ober- und Unterlauf des Stromes als Pontus und Propontis unter das Meeressniveau gesunken und die zwischen beiden Senkungsgebieten als Horst stehende gebliebene bithynische Halbinsel wird von dem Ueberrest des Mittellaufes durchzogen, der sich dann zu einer Meerenge umgewandelt hat.

Das Studium der Talbildung ist somit für den Geologen und Ingenieur ebenso wichtig wie für den Nationalökonom. Den Erdbeben — den Bewegungen des anatolischen Felsgerüsts — entsprechen die katastrophalen Umgestaltungen, während das fließende Wasser noch vor unseren Augen dauernd und gleichmäßig gewaltige Leistungen beginnt und vollendet.

Die verschiedensten Formen der Talbildung finden sich in Anatolien nebeneinander. Ueberall am Marmara-Meer wie an der ägäischen Küste schneiden tiefe Einbrüche zwischen zwei Brüchen in östlicher Richtung in das Felsgefüge der Halbinsel ein. Aber nur an der Westküste folgen der Hermos (Sarabad-tschai) und der Mäander (Büyükmendere) den durch den Gebirgsbau vorgezeichneten Linien. Von der Propontis aus schneiden die Meerbusen von Ismid und Mudania mit ihren Fortsetzungen, den Landseen von Sabandja und Isnik (Nikaea) in östlicher Richtung in das Land, ohne daß Flußläufe diesen Tiefenlinien folgten. Vielmehr durchbricht der Sakaria in tief eingerissenen Erosionsschluchten, deren südlicher die anatolische Bahn folgt, das aufragende westpontische Gebirge. Der wunderbar regellose Lauf des Halys und des Sakaria läßt erkennen, daß die rückwärts arbeitende