Arbeit am Antlitz der Erde : Selbstregulierung im Kräftespiel des Flusslaufes

Autor(en): **Stratil-Sauer, G.**

Objekttyp: **Article**

Zeitschrift: **Prisma : illustrierte Monatsschrift für Natur, Forschung und Technik**

Band (Jahr): **8 (1953)**

Heft 2

PDF erstellt am: **26.05.2024**

Persistenter Link: https://doi.org/10.5169/seals-653621

Nutzungsbedingungen

Die ETH-Bibliothek ist Anbieterin der digitalisierten Zeitschriften. Sie besitzt keine Urheberrechte an den Inhalten der Zeitschriften. Die Rechte liegen in der Regel bei den Herausgebern.
Die auf der Plattform e-periodica veröffentlichten Dokumente stehen für nicht-kommerzielle Zwecke in Lehre und Forschung sowie für die private Nutzung frei zur Verfügung. Einzelne Dateien oder Ausdrucke aus diesem Angebot können zusammen mit diesen Nutzungsbedingungen und den korrekten Herkunftsbezeichnungen weitergegeben werden.
Das Veröffentlichen von Bildern in Print- und Online-Publikationen ist nur mit vorheriger Genehmigung der Rechteinhaber erlaubt. Die systematische Speicherung von Teilen des elektronischen Angebots auf anderen Servern bedarf ebenfalls des schriftlichen Einverständnisses der Rechteinhaber.

Haftungsausschluss

Alle Angaben erfolgen ohne Gewähr für Vollständigkeit oder Richtigkeit. Es wird keine Haftung übernommen für Schäden durch die Verwendung von Informationen aus diesem Online-Angebot oder durch das Fehlen von Informationen. Dies gilt auch für Inhalte Dritter, die über dieses Angebot zugänglich sind.

Ein Dienst der *ETH-Bibliothek*
ETH Zürich, Rämistrasse 101, 8092 Zürich, Schweiz, www.library.ethz.ch

http://www.e-periodica.ch

ARBEIT AM ANTLITZ DER ERDE

Selbstregulierung im Kräftespiel des Flußlaufes

Von Priv.-Doz. Dr. G. Stratil-Sauer

DK 551.311.21

Noch heute gilt Galileis Satz, daß sich die Gesetze des gestirnten Himmels leichter ermitteln lassen als die des fließenden Wassers; denn während die Astronomie Vorausberechnungen für Gestirne spielend lösen kann, vermag kein Geograph, Geologe oder Techniker vorläufig die Entwicklung eines Flußlaufes mit Sicherheit vorherzubestimmen.

Der einem Wasserlauf durch seine Fließgeschwindigkeit gegebenen Kraft ist die doppelte

Abb. 1. Im Oberstlauf des Flusses, im Gebiet der „reinen Erosion", muß das Eintiefen und übermäßige Fördern von Geröll durch Einbau von Sperren verhindert werden
(Photo Lottersberger)

Aufgabe gestellt: Gesteinsstücke zu erodieren, d. h. in Bewegung zu setzen und zu transportieren, d. h. die aufgehobenen Bestandteile als Geröll in Bewegung zu halten. Kann sich diese Kraft bei hoher Sohlengeschwindigkeit voll entfalten — also im Oberstlauf des Flusses und zu Zeiten des Hochwassers —, so tritt stellenweise der Fall ein, daß überhaupt nur erodiert wird. Wir sprechen dabei von Strecken der „reinen Erosion".

Über die beginnende Bewegung von Geröllen sind wir durch zahlreiche Beobachtungen und vor allem durch Filmaufnahmen aus Flußlaboratorien hinreichend unterrichtet. Das Material, gewöhnlich so gelagert, daß es bei fester Auflage eine geringe Angriffsfläche bietet, fängt, sobald seine Erosionsgeschwindigkeit erreicht wird, an zu vibrieren, sich wie ein gewichtsloser Körper auf die hohe Kante zu stellen und dreht sich dann in die Strömungsrichtung, um endlich wie ein Geldstück auf dem Boden fortzurollen. Um ein einmal in Bewegung gesetztes Geröll weiterzutransportieren, braucht der Fluß einen viel geringeren Kraftaufwand. Er vermag z. B. bei 150 cm/sec Sohlengeschwindigkeit ein Stück von 25 mm Durchmesser noch zu befördern, während er keines über 15 mm Durchmesser mehr erodieren kann. Da aber im normalen Längsprofil mit der Verflachung der Gefällswinkel auch die Schnelligkeit des Fließens immer mehr nachläßt, wird der Punkt erreicht, wo die zur Verfügung stehende Kraft auch zum Weitertransport nicht mehr ausreicht. Das Geröll wird abgelagert oder sedimentiert. Es verlängert seine Wanderstrecke zwar dadurch, daß es sofort nach der Erosion während des Transportes durch Abrieb an Gewicht verliert, wobei die kleinen Abfallprodukte als Schweb zumeist von höheren Wasserschichten davongetragen werden. Endlich jedoch kommt es als Sedimentationsgeröll zur Ruhe. Strecken, wo der Fluß nichts als Ablagerung mehr zu leisten vermag, also Strecken der „reinen Sedimentation", finden wir im Unterstlauf und je nach Beschaffenheit des Profils bei Niedrigwasser vorübergehend auch weiter stromaufwärts.

Zwischen der reinen Erosion und der reinen Sedimentation breitet sich die lange Strecke, auf der gleichzeitig in Bewegung gesetzt, transportiert und abgelagert wird. Wir nennen sie die Strecke des Erosionstransportes. Hier vollzieht sich dauernd ein Austausch der Gerölle, indem nicht mehr Transportables als zu schwer ausgeschieden und dafür neues Erodierbares in Bewegung gesetzt wird. Wenn etwa ein Geröll von 15 mm Durchmesser bei einer Sohlengeschwindigkeit von 100 cm/sec abgelagert wurde, so kann es wieder transportiert werden, wenn die Geschwindigkeit auf 150 cm/sec ansteigt oder wenn es auf 8 mm Durchmesser abgeschliffen worden ist. Es tritt also ein Hiatus ein, nach dessen Ende für das abgelagerte Sediment eine neue Serie der Ortsveränderung mit Erosion, Transport und Sedimentation anhebt. Bis dahin wählt die Fließkraft andere ihr entsprechende Stücke aus der Lesedecke.

Innerhalb dieses hier nur in groben Zügen gegebenen Schemas entfaltet der Fluß ein Kräftespiel, dessen fast organisch sinnvolle Selbstregulierung erstaunlich ist.

Wir sind gewohnt, bei den auf einer schiefen Ebene abgleitenden Gegenständen eine Beschleunigung der Bewegung anzunehmen, beim Fluß jedoch finden wir eine solche nur an wenigen Stellen seines Oberlaufes und auf vereinzelten kurzen Konvexstrecken des Gefälles. Würde die Wucht des fließenden Wassers entsprechend den Gesetzen der schiefen Ebene anwachsen, so wäre ja ein Großteil unserer Erde von furchtbaren Überschwemmungskatastrophen heimgesucht. Die Fließgeschwindigkeit wird jedoch durch ihre eigene Arbeitsleistung am erodierten Gesteinsmaterial derart abgebremst, daß eine Beschleunigung verhindert wird. Die Kraft des Flusses und damit auch die Ausbildung seines Gefälles hängt also von dem gegebenen Widerstand ab. Wenn dieser in hartem Gestein stark ist, so finden wir ein Steilgefälle mit großer Energie ausgebildet, während sich in weichem Gestein ein flacheres Gefälle mit geringer Energie entwickelt. Damit stellt sich der Fluß uns als eine Idealmaschine dar, die jeweils so viel Kraft erzeugt, wie sie zur Bewältigung ihrer Aufgabe benötigt.

Daß die drei verschiedenen Leistungsstrecken eines Flußlaufes sich mit wechselnder Wasserführung verschieben, ist einsichtig. In Skizze a wird ein normales Flußprofil mit Konvexknick dargestellt, das bei normalem Wasserstand Sohlengeschwindigkeiten gemäß Skizze b führt. Eine zunehmende Fließgeschwindigkeit herrscht hier in der Oberststrecke und voraussetzungsgemäß im Konvexknick. In Skizze c werden die erodierten und die abgelagerten Gerölle in ihrer Größe kurvenmäßig dargestellt, wobei natürlich nur die Grenzwerte nach oben hin erfaßt sind. Augenfällig korrespondiert die Kurve der Erosionsgerölle mit der der Sohlengeschwindigkeit. Die der Ablagerungsgerölle ist zu Anfang

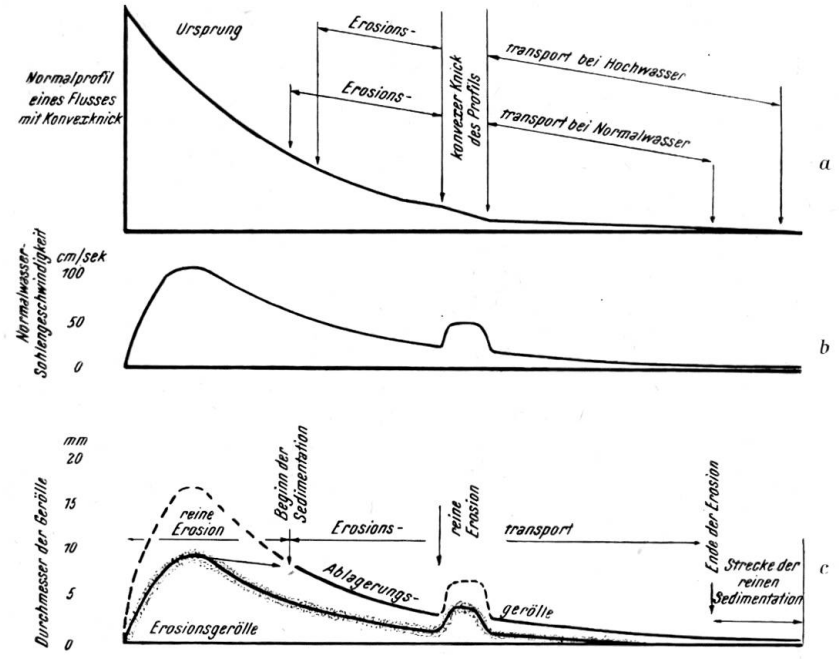

Abb. 2. Gliederung eines normalen Flußlängsprofiles durch die Erosions- und Ablagerungsgerölle

nur gestrichelt gegeben, d. h. nur theoretisch gemeint; denn solange die Sohlengeschwindigkeit ansteigt, bleiben ja alle in Bewegung gesetzten Gerölle transportabel. Unter Berücksichtigung des Abriebs beginnt die Sedimentation — was durch den schräg geneigten Pfeil versinnbildlicht wird — erst ein Stück hinter dem Punkt der höchsten Sohlengeschwindigkeit, nämlich wenn nach unserer Skizze die an der Klimax erodierten Gerölle von etwa 9,5 mm Durchmesser durch Abrieb 1 mm verloren haben und mit 8,5 mm Durchmesser zur Ruhe kommen.

Auch auf der ersten Hälfte der konvexen Gefällstrecke kann nicht sedimentiert werden, da hier die Sohlengeschwindigkeit bei steilerem Gefälle steigt. Alle zu schwer gewordenen Gerölle sind bereits vorher bei geringerer Geschwindigkeit niedergelegt worden. Wohl kann nach Skizze c ein Erosionsstück von etwa 4 mm Durchmesser durch das schnellere Fließen im Geröllstrom mitgeführt werden; doch erst am Ausgang des konvexen Knickes ist es in jene Grenzgeschwindigkeit des Transportes hineingewandert, bei der es abgelagert wird. So finden wir bei Normalwasser eine Strecke der reinen Erosionen beim Ursprung des Flusses und eine weitere beim Konvexknick, also in die Strecke des Erosionstransportes eingelegt.

Wenn sich bei Hochwasser die Sohlengeschwindigkeit steigert, verschieben sich die drei Hauptstrecken selbstverständlich. Der Beginn der Sedimentation rückt weit abwärts, weil jetzt einmal eine stärkere Fließkraft zum Abtransport der Gerölle gegeben ist, zum anderen aber auch, weil auf der verlängerten Wanderstrecke und bei der vermehrten Wandergeschwindigkeit die Gerölle auf ein kleineres Volumen zerrieben werden.

Die Arbeit des Gerölltransportes wird mit einer überraschenden Zweckmäßigkeit geleistet. Beobachtet man im Oberlauf eines Flusses, welche gewaltigen Mengen von Abraum, durch Heranschaffung auch von seitlichen Zuflüssen und Abrutschungen vom Ufer dauernd vermehrt, dem Transport übergeben werden, so fragt man sich staunend, wie der Fluß diese Aufgabe bewältigen kann, da doch bei verflachendem Gefälle und nachlassender Strömung seine Kraft mündungswärts abnimmt. Zwar kommt es ihm zustatten, daß normalerweise seine Unterlage sich stromab glättet und die Gerölle, deren Abriebstaub als Eilfracht im Schweb davongetragen wird, sich immer handlicher abschleifen; doch wiegt das den Energieverlust noch nicht auf. In einem fast sinnbewußt wirkenden Kräftehaushalt setzt hier eben der Austausch ein, der bei nachlassender Geschwindigkeit für das ausscheidende große Stück mehrere kleinere aufnimmt, so daß der Geröllstrom dauernd seine Struktur verändert. Was vorläufig liegenbleiben muß, gilt sozusagen als Reserve für Hochwasserzeiten und wird einstweilen durch Abschliff und chemische oder mechanische Einwirkungen für eine erneute Erosion präpariert.

Man kann sich den Sedimentierungsprozeß durch Siebe bildlich machen, die flußabwärts nacheinander aufgestellt sind und entsprechend der sinkenden Sohlengeschwindigkeit immer engere Maschen zeigen, so daß jedes die Stücke vom nächstkleineren Durchmesser zurückhält. Bei all diesen Sieben aber erweitern sich die Maschen bei steigendem und verengen sie sich bei sinkendem Wasser, wodurch es einsichtig wird, daß die Geröllablagerung bei stark anwachsender Sohlengeschwindigkeit (z. B. Katastrophenhochwasser) zeitweise überhaupt aussetzt.

Das Verhältnis zwischen Erosions- und Transportkräften gestaltet sich jeweils so, daß die optimale Beförderungsleistung erzielt werden

kann. Bei hohen Wassergeschwindigkeiten z. B. ist der Unterschied zwischen beiden bedeutend, so daß selbst bei Hochwasser im Oberstlauf nur relativ kleine Bestandteile erodiert werden können, die dafür aber weit getragen werden. Weiter stromab jedoch, wo die Wassergeschwindigkeit nachläßt, verringert sich dieser Unterschied so, daß immerhin noch ziemlich voluminöse Stücke in Bewegung gesetzt werden können. So tritt der anscheinend paradoxe Fall ein, daß die Menge des Erodierten bei geringem Gefällswinkel im Unterlauf normalerweise größer ist als bei hohen Gefällswinkeln im Oberlauf, zumal wenn der Fluß sich sein Material oben erst mühsam aus dem Fels herausarbeiten muß, während er mündungswärts immer mehr transportbereites vorfindet. Nur so kann mit abnehmender Kraft eine zunehmende Geröllmenge transportiert werden.

Zwar besagt das Hopkinssche Gesetz (eines der wenigen, das eine Beziehung in der sechsten Potenz anwendet), daß der Gerölltransport der wachsenden Wassergeschwindigkeit in der sechsten Potenz entspreche; doch gilt es eben nur dann, wenn auch wirklich genug beförderungsbereites Material vorliegt. Mit Unrecht gebraucht die amerikanische Terminologie den Ausdruck des „überladenen Flusses", da ein Zuviel an Last in der Selbstregulierung des Kräftespiels ja durch Niederlegen der schwersten Stücke vermieden wird. Viel eher wäre ein Zuwenig bei sperriger Unterlage vorstellbar.

Eigene Gesetze gelten für die Kleinstbestandteile, die bei den letzten geringsten Geschwindigkeiten aus dem Schweb absinken. Diese Kolloide von etwa 0,002 mm Durchmesser nämlich zeigen nach der Ablagerung eine so starke Adhäsion und Kohäsion, daß sie für eine erneute Erosion dieselbe Geschwindigkeit fordern wie ein Geröll von zehntausendmal so großem Durchmesser. Weil aber im Unterstlauf eine solche Geschwindigkeit nicht mehr vorherrscht,

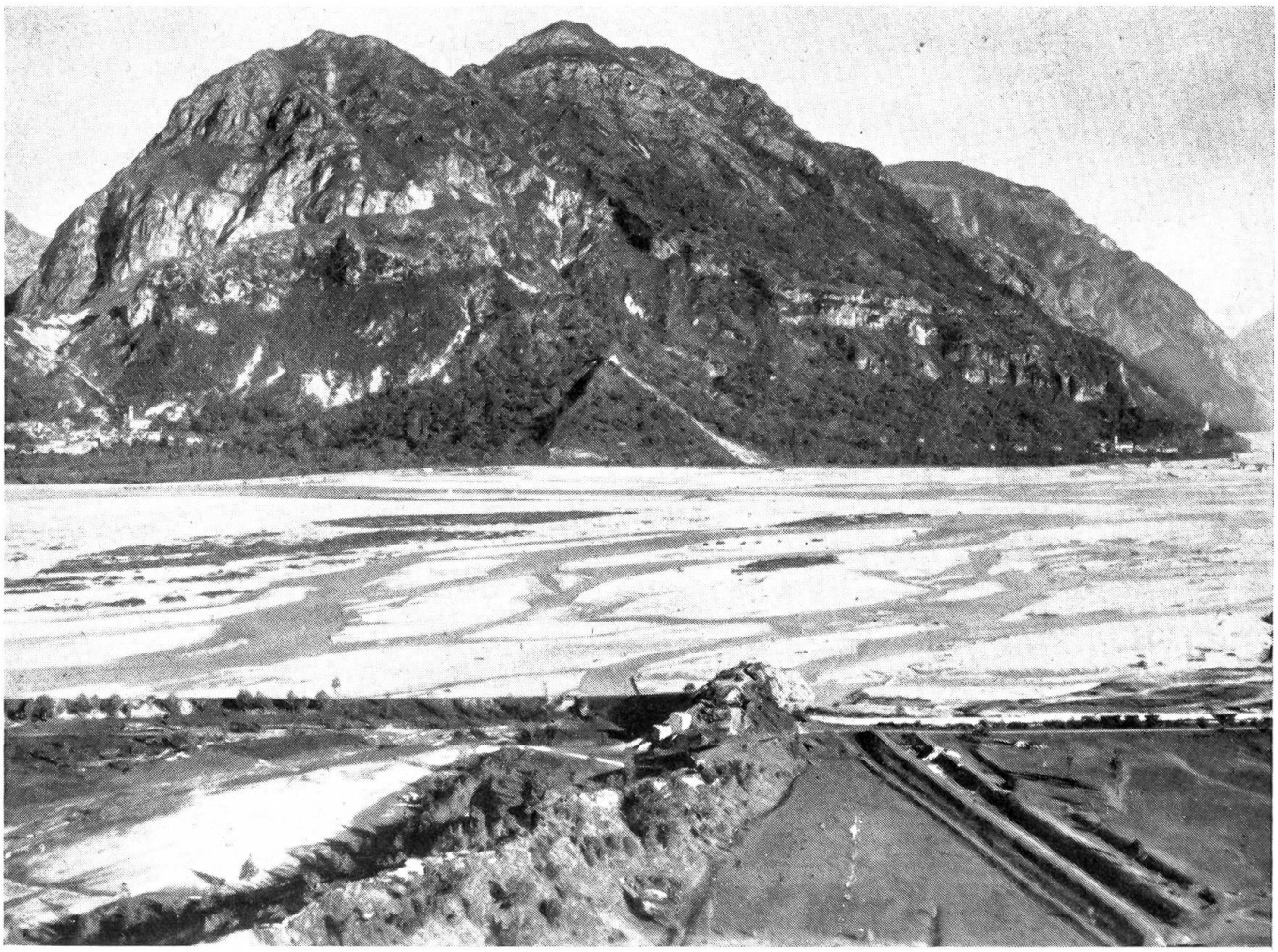

Abb. 3. Ablagerung und Erosion gleichzeitig charakterisieren die meisten Flußstrecken. Im Geröllaustausch werden grobe Gerölle abgelagert und kleinere durch die Erosion in Bewegung gesetzt (Photo aus dem Bildarchiv der Nationalbibliothek)

versteilt der Fluß sein Gefälle, so daß die Schnelligkeit des Fließens jene Grenze erreicht, wo dieser feinste Schwebniederschlag nicht mehr erfolgen kann. Ohne diese Gegenmaßnahme müßte ja im Unterlauf eine derartige Verflachung eintreten, daß die ärgsten Transportkrisen heraufbeschworen würden.

Eine solche automatische Geschwindigkeitsregulierung finden wir aber auch auf den anderen Strecken. Sobald die Kraft des Flusses zum Abtransport der Gerölle nicht mehr ausreicht, wird der Antransport und die Neuförderung von Material abgestoppt, wodurch sich wiederum der Gefällswinkel versteilt und die Geschwindigkeit für das Abtransportieren wächst. Steigt dagegen die Kraft des Flusses beschleunigt an, so darf das Wasser unbehindert erodieren; doch verringert sich damit der Gefällswinkel und dadurch wiederum die für den Abtransport benötigte Geschwindigkeit. So sind Kraft und Widerstand genau aufeinander eingespielt. Der normale Zustand der Ausgeglichenheit ist gegeben, wenn die Kraft des Fließens nur in dem Maße nachläßt, wie die Verfrachtung des Gerölls erleichtert wird.

Diese rationellen Einrichtungen scheinen von solch sinnvoller Vernunft und Einsicht zu zeugen, daß man von einer Entelechie des Materiellen oder von seiner höheren Lenkung sprechen möchte; doch ist gerade auf dem Gebiete der Erosion, obwohl seit dem erwähnten Ausspruch Galileis mehr als 300 Jahre verflossen sind, noch so viel mühsame Arbeit zu leisten, daß wir uns damit begnügen wollen, das Erforschliche zu erforschen und das Unerforschliche zu verehren.

ELEKTRONENBILDER DES WELTRAUMES

Das Elektronenteleskop verschiebt die Beobachtungsgrenze auf das Zehnfache

DK 522.2 : 535.215

Nachdem Einstein zu Beginn unseres Jahrhunderts die Gesetze des Photoeffektes entdeckt hatte, fehlte es nicht an Versuchen, Photronik und Elektronik auch der astronomischen Forschung dienstbar zu machen. Sie waren aber anfangs dadurch zum Scheitern verurteilt, daß noch keine genügend empfindlichen Photozellen zur Verfügung standen. Während um das Jahr 1923 von Rougier für die Sternwarte Straßburg das erste mit Photozelle arbeitende Photometer gebaut wurde, entwickelte Henroteau für das Observatorium von Ottawa einen elektronischen Spektrographen, der die photographische Aufnahme von Himmelskörper-Spektren so bedeutend verkürzte, daß die Lichtanalyse in zwei bis drei Minuten durchgeführt werden konnte. Henroteau beabsichtigte auch, für seine astronomischen Forschungen ein Televisionsgerät zu konstruieren; dies gelang ihm jedoch nicht, da die damals zur Verfügung stehenden Ikonoskope (Fernsehröhren) mit unzulänglicher Bildauflösung arbeiteten.

Das bedeutete für die Astronomie entweder die Weiterentwicklung und Verbesserung der elektronenoptischen Geräte abzuwarten oder aber — wie es die Amerikaner taten — Mammut-Spiegelteleskope zu bauen (Mount Palomar). Die Franzosen beschritten einen anderen Weg. André Danjon, Direktor der Straßburger Sternwarte, vertrat schon damals, bevor er die Nachfolge Eschangons auf dem Observatorium von Paris antrat, die Meinung, das Problem wäre durch Verbesserung der Lichtempfindlichkeit der photographischen Platte zu lösen. Diese Theorie und die Erfindung des Elektronenmikroskops waren der Anstoß zu den Forschungen seines Mitarbeiters André Lallemand, die zur Entwicklung seines Elektronenteleskops führten, da es nicht gelang, die Lichtempfindlichkeit der photographischen Platten wesentlich zu steigern.

Das Prinzip, nach dem das erste elektronische Gerät Lallemands arbeitete, ist folgendes: Das auf optischem Wege erhaltene Bild des Himmelskörpers wird auf die Kaliumkathode einer Vakuumröhre projiziert, an der eine, die infolge der Lichteinwirkung abgegebenen Elektronen beschleunigende Spannung von 48.000 Volt liegt. Die durch die Linseneinwirkung eines magnetischen Feldes gesammelten Elektronenstrahlen rufen auf einem Fluoreszenzschirm das der Beobachtung dienende Bild hervor. Wird der Fluoreszenzschirm durch eine photographische Platte ersetzt, so erhält man in einigen Sekunden eine außerordentlich lichtstarke Aufnahme, da die beschleunigten Elektronen eine etwa hundertmal so starke Wirkung auf die photographische Schicht der Platte ausüben als die Photonen des Lichts. Lallemand konnte auf diese Weise in Straßburg bereits vor dem Zweiten Weltkrieg mit einer Teleskopöffnung von 50 cm versuchsweise die Leistung des 200-Zoll-Teleskops von Mont Palomar erzielen.

Nach dem Krieg nahm Lallemand seine Arbeiten in Paris wieder auf. Indessen hatte die Erzeugung von Photokathoden gewaltige Fortschritte gemacht; die modernen Antimon-Cäsium-Kathoden sind um ein Vielfaches empfindlicher als die ursprünglichen Kaliumkathoden. Das nunmehr im Observatorium von Paris fertiggestellte Elektronenteleskop arbeitet mit einer Öffnung von nur 26 cm. Die Photokathode ist eine Scheibe von 25 cm Durchmesser. Abgesehen von den erstaunlichen, bisher unerreichten Aufnahmegeschwindigkeiten, verspricht das Elektronenteleskop von Lallemand der astronomischen Forschung insofern unschätzbare Dienste zu leisten, als auch sehr lichtschwache Himmelskörper photographisch erfaßt werden, so daß die Beobachtungsgrenze im Weltenraum auf die zehnfache Entfernung verschoben werden kann.