

32. *Sekiguti, T.*, Climatic divisions of Japan according to the Köppens classification. (Japan) 1949.

33. *Semmelhacke, W.*, Physiologische Klimakarte von Kamerun und den Nachbargebieten. Mitt. d. Gruppe Dtsch. Kolonialwirtsch. Unternehmungen 5, 1942.

34. *Wißmann, H. v.*, Die Klimate und Vegetationsgebiete Eurasiens. Z. Ges. f. Erdk. 3—14, 1939.

ZUR FRAGE DER RÜCKSCHREITENDEN DENUDATION UND DES DYNAMISCHEN GLEICHGEWICHTS BEI MORPHOLOGISCHEN VORGÄNGEN

Frank Ahnert

Mit 2 Abbildungen

The problem of regressive denudation on slopes and dynamic equilibrium during morphological processes

Summary: This paper investigates whether and to what extent there is a general regression of denudational processes on slopes following laws similar to those governing the recession of a nick point on a river. Using the example of slope development during a period of down cutting the author shows that the resulting changes in the slope gradient, as well as the changes in the velocity of mass movement, recede from the bottom of the slope regressively upwards. This recession from the bottom of the slope plays a decisive rôle in scarplands by determining the intensity of denudation on the slopes of the "Zeugenberge" (residual outliers, literally: witness mountains) situated far away from the river courses. These mass movements show a tendency towards an equilibrium between removal and supply of rock waste.

Die Lehre von der rückschreitenden Erosion hat in der Morphologie vielfältige Früchte getragen; das Aufwärtswandern von Gefällsbrüchen im Flußbett, der Stufenbau der Alpentäler und manches andere werden mit ihr zwanglos erklärt. Nach rückwärts fortschreitend verlängert sich auch das Aufschüttungsgebiet des Flusses. Sein Mittellauf, die Schutttransportstrecke, in der sich Erosion und Aufschüttung die Waage halten, wandert flufaufwärts, den Oberlauf, die Strecke vorwiegender Erosion, allmählich aufzehrend. Im Hinstreben des Flusses zur Erosionsterminante gilt das Gesetz des Rückschreitens also nicht nur für die Erosion, sondern sinngemäß auch für fluviatilen Massentransport und fluviale Sedimentation.

Hier soll nun untersucht werden, inwieweit die Vorgänge der Denudation, die doch ebenfalls aus Abtragung, Massentransport und Aufschüttung bestehen, dem gleichen Gesetz unterliegen. Schon in der Begriffsbildung gibt es eine gewisse Parallelität: „Rückschreitende Verwitterung“¹⁾, „Denudationsbasis“ und „Denudationsterminante“²⁾, die identisch ist mit dem „Grenz- oder Mindestgefälle“³⁾ *Tricarts*³⁾. *Davis*⁴⁾ deutete darüber hinaus ein paralleles Verhalten von

Wasser- und Schuttströmen an; einen konkreten Beweis für die enge Verwandtschaft von denudativer mit erosiver Abtragung lieferte schließlich *Büdel*⁵⁾, der die Entstehung von Ursprungs„tälichen“ durch von der Erosionsbasis aus rückschreitende Korrosion erkannte.

Für die Denudation im Grundgebirge und in Gesteinen einheitlicher morphologischer Widerstandsfähigkeit gilt ohne Einschränkung der Satz *Philippson*⁶⁾: „Die Flüsse sind die Regulatoren der Denudation“. Sie schneiden sich ein, und gleichzeitig verflachen sich die Hänge, einen Böschungswinkel — die Denudationsterminante — anstrebend, bei dem die Hangabtragung aufhört. Erreicht wird dieses je nach Gestein, Wasserführung des Hangschutts und Klima unterschiedliche Mindestgefälle jedoch nur dann, wenn der Fluß seine Erosionsarbeit einstellt, d. h. es kann auch in einem Sohlental nur an den Stellen auftreten, wo die Hänge nicht durch Seitenerosion unterbrochen werden. An Gleithängen ist sogar eine Unterschreitung des Grenzgefälles möglich, da sie weniger von denudativen Vorgängen als durch das seitliche Abgleiten von Flußbiegungen geformt werden.

Nach *Philippson*⁷⁾ soll die Verflachung von unten nach oben fortschreiten, das normale Hangprofil also konkav sein, „weil die größere Wassermasse unten schneller arbeitet und eine flachere Terminante erzielt als die kleinere Wassermasse oben“. Dieser Auffassung kann man nicht beipflichten, denn erstens entspricht der größeren Wassermasse unten auch eine größere wegzuführende Schuttmasse, da das Schutt-einzugsgebiet der unteren Hangteile größer ist als das der oberen, und zweitens würde eine Gefällsverminderung durch stärkere Abtragung im unteren Hangteil gegenüber dem langsameren Zurückweichen des oberen Hangteils eine Gefällsverstärkung des letzteren hervorrufen. Eine solche Unterschneidung des oberen Hangteils durch denudative Abtragung des unteren Hangteils aber ist in einheitlichem Gestein nicht möglich. Im übrigen muß bei der Verflachung eines Hangs stets oben mehr abgetragen werden als unten, da, um die Verflachung zu erreichen, jeder höhere Hangpunkt schneller zurückweichen muß als der nächsttiefere⁸⁾.

Inwiefern aber können diese Denudationsvorgänge „rückschreitend“ genannt werden? Ein einfaches Beispiel: In einem Tal mit schuttüberkleideten Hängen (s. Abb. 1 a) beginnt der Fluß nach einer Ruhepause erneut in die Tiefe zu erodieren. Mit der Bildung der jungen Kerbe entsteht unterhalb des während der Ruhepause abgeflachten Hangs ein neuer, steilerer Hangteil. Die Reliefenergie wird erhöht, die Ge-

⁵⁾ Eiszeitmorphologie im gletscherfreien Gebiet, Geol. Rdsch. 1944, S. 505.

⁶⁾ A. a. O., S. 62.

⁷⁾ A. a. O., S. 41.

⁸⁾ Nur bei der Hangversetzung (*Behrmann*, Morphologische Formengruppen, Die Erde, 1949/50, S. 249), bei welcher der Hang unter Beibehaltung seines Neigungswinkels zurückweicht, kann die Abtragungsintensität in allen Hangteilen gleich groß sein, und nur bei einer Hangversteilung (durch seitenerosive Unterschneidung, Quell- oder Sickerwasseruntergrabung) ist sie unten größer als oben.

¹⁾ *Davis-Rühl*, Die erklärende Beschreibung der Landformen, Leipzig u. Berlin 1912, S. 62.

²⁾ *Philippson*, Grundzüge der Allgemeinen Geographie, Bd. II, 2, 2. Aufl. 1931, S. 41.

³⁾ Die Entstehungsbedingungen des Schichtstufenreliefs im Pariser Becken, Pet. Mitt. 1951, S. 102.

⁴⁾ A. a. O., S. 66.

schwindigkeit des am Hang zum Fluß hinabwandernden Schutts wächst. Aber sie wächst zunächst nur im unteren, steilen Hangteil (s. Abb. 1b). Das raschere Abwandern des Schutts am Hangfuß führt zu einer Verteilung der Schuttoberfläche, die anfangs flacher geneigt war als die Hangfläche im Anstehenden unter dem Schutt. Die Verteilung und damit die größere Schuttgeschwindigkeit erfährt allmählich immer

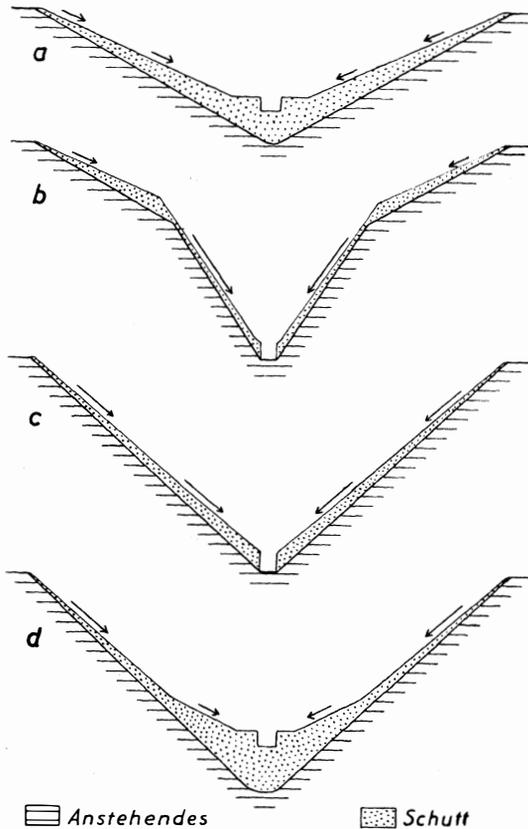


Abb. 1a-d: Stadien der Hangentwicklung (schematisch)

Die Länge der Pfeile soll die jeweilige Wandergeschwindigkeit des Schutts verdeutlichen. a: Vor Beginn der Tiefenerosion. b: Durch Tiefenerosion gestörtes Gleichgewicht, Hänge in zwei Bereiche verschieden starker Abtragung aufgeteilt. c: Spätere Erosionsphase; einheitliches Gleichgewicht auf dem ganzen Hang wiederhergestellt. d: Nach der Erosion; Schuttstau am Hangfuß, erneute Störung des Gleichgewichts.

höhere Hangteile, d. h. beides, die Änderung der Form und die Änderung der Bewegung, pflanzt sich von unten nach oben rückschreitend fort. Infolge der größeren Geschwindigkeit des Schutts wird seine korrodierende Wirkung auf die Unterlage verstärkt, infolge der abnehmenden Schuttmächtigkeit vollzieht sich die Verwitterung des Anstehenden schneller und tiefgründiger — die Abtragung wird beschleunigt. Vor allem der vorspringende Knick zwischen dem oberen, älteren, flacheren Hangteil und dem unteren, jüngeren, steileren Hangteil wird allmählich in einen flach konvexen Bogen verwandelt und später viel-

leicht ganz verschwinden. Jedoch hat die Beschleunigung der Abtragung ihre Grenzen. Denn aus der verstärkten Korrosion und aus der tieferen Verwitterung des Anstehenden erhält die Schuttdecke mehr Material als vorher, die Zunahme der Schuttlieferung sucht die Zunahme der Schuttabfuhr zu kompensieren und ein dynamisches Gleichgewicht zwischen beiden herzustellen (s. Abb. 1c). Da die Änderung der Lieferung hinter der der Abfuhr nachhinkt, stellt sich dieses Gleichgewicht erst im Laufe des verstärkten Abtragungsprozesses ein. Nur bei wachsender Tiefenerosion kann es nicht erreicht werden, weil dann die Zunahme der Schuttabfuhr dem Zuwachs an geliefertem Schutt ständig vorausseilt.

Es verdient festgehalten zu werden, daß auch die Vorgänge im Flußbett und im Talgrund ein dynamisches Gleichgewicht anstreben. Die aus Gefälle und Wassermasse resultierende lebendige Kraft des Flusses wird aufgebraucht durch das bloße Fließen, durch die Erosion und durch den Materialtransport. Verstärkte Erosion bedingt einen größeren Anfall erodierten Materials und außerdem ein rascheres Wandern des Hangschutts zum Flußbett hin, der ebenfalls weggeführt werden muß; der zum Materialtransport benötigte größere Kraftanteil geht der Erosion verloren. Die damit verbundene Verminderung der Erosion führt aber wiederum zu einer Verminderung der anfallenden Schuttmenge, also auch zu einer Verminderung der für die Schuttabfuhr nötigen Kraft zugunsten der Erosion, welche nun wieder stärker werden kann, bis das Spiel von neuem beginnt. Erosion und Materialtransport pendeln sich somit auf einen Gleichgewichtszustand ein.

Verkleinert sich die lebendige Kraft des Flusses selbst durch Gefällsverringerung oder Verkleinerung der Wassermenge, so schläft zunächst die Erosion ein; damit fällt die vorher von der Erosion an der hier betrachteten Talstelle gelieferte Materialkomponente weg, der vom Fluß wegtransportierte Schutt setzt sich zusammen aus von flußaufwärts herangeführtem Material und aus der Zufuhr von den Talhängen, der Fluß gewinnt Mittellaufcharakter. Kann er auch diese reine Transportaufgabe nicht mehr bewältigen, so bleibt ein Teil des Materials liegen — sei es, daß der Fluß eine Sohle aufzuschütten beginnt, sei es, daß der Hangschutt sich am Fuße des Hanges aufstaut. In der Regel geht beides Hand in Hand.

Der Schuttstau am Hangfuß vermindert den Böschungswinkel der Schuttoberfläche und damit die Geschwindigkeit der Schuttbewegung, bis dem Fluß nur noch so viel Schutt zuwandert, wie er wegführen kann. Während aber dieser Gleichgewichtszustand vorher zwischen dem ganzen Hang als Schuttlieferanten und dem abtransportierenden Fluß bestand, reicht er jetzt nur bis zur Obergrenze der am Hangfuß gestauten Schuttmasse hangaufwärts. Auf den steileren Hangteilen darüber vollziehen sich Schuttproduktion und Schuttwandern noch mit der alten Geschwindigkeit — für den Hang als Ganzes ist also das dynamische Gleichgewicht gestört, er ist aufgeteilt in zwei Bereiche mit voneinander verschiedenen Gleichgewichtszuständen, einen oberen mit rascherer und einen unteren mit langsamerer Schuttbewegung. Ein konkaver

Hangknick über der Stauungszone ist das morphographische Kennzeichen dieser Disharmonie (siehe Abb. 1 d).

Infolge der stärkeren Schutzzufuhr aus den oberen Hangteilen nimmt die gestaute Schuttmasse zu, ihre Obergrenze wandert rückschreitend hangaufwärts, bis sie die obere Hangkante erreicht hat und der neue Gleichgewichtszustand auf dem ganzen Hang hergestellt ist — falls nicht eine Neubelebung der Erosion diese Entwicklung rückgängig macht.

Die gleichen Überlegungen zur Hangentwicklung, die hier am Beispiel einer Periode der Tiefenerosion in Gestein von morphologisch einheitlicher Widerstandsfähigkeit angestellt wurden, gelten mutatis mutandis auch für die Hangentwicklung bei der Mitwirkung unterschneidender Seitenerosion. Auch diese Vorgänge werden von dem Prinzip der rückschreitenden Denudation und dem Streben nach einem dynamischen Gleichgewicht in der Schuttbewegung beherrscht — nur braucht sich hierbei nicht die Höhe des Hangs zu ändern.

Die rückwärts gerichtete Steuerung des Denudationsprozesses durch den Fluß erfaßt nicht nur den

unmittelbaren Talhang, sondern — wenn auch in weit schwächerem Maße — auch das darüber anschließende Gebiet bis zur Wasserscheide, sofern hier nur das nötige Mindestgefälle vorhanden ist bzw. überschritten wird. Diese Fernwirkung gewinnt besondere Bedeutung im Schichtstufenland. Im Dahner Felsenland in der südlichen Haardt⁹⁾ z. B. sind die Gewässer größtenteils in die Landterrasse des unteren Buntsandsteines eingesenkt. Auf dieser Landterrasse erheben sich, häufig weit von den Tälern entfernt, die Zeugenberge des Hauptbuntsandsteins. Sie werden durch die hangversteilende Quell- und Sickerwasseruntergrabung an der Schichtgrenze zwischen dem unteren Buntsandstein und dem Hauptbuntsandstein abgetragen, ihre Abtragung erscheint also unabhängig von der Arbeit der fernab fließenden Gewässer. Jedoch kann sie nur andauern, wenn der anfallende Schutt weggeräumt wird. Im Diluvium übernahmen die Dellen auf der Landterrasse die Schuttabfuhr vom Fuß der Zeugen-

⁹⁾ Die im folgenden geschilderten Vorgänge sind ausführlich bei *Abmert*, Die Oberflächenformen des Dahner Felsenlandes in der südl. Haardt, Masch.-Schr. Diss. Heidelberg 1952, dargelegt worden.

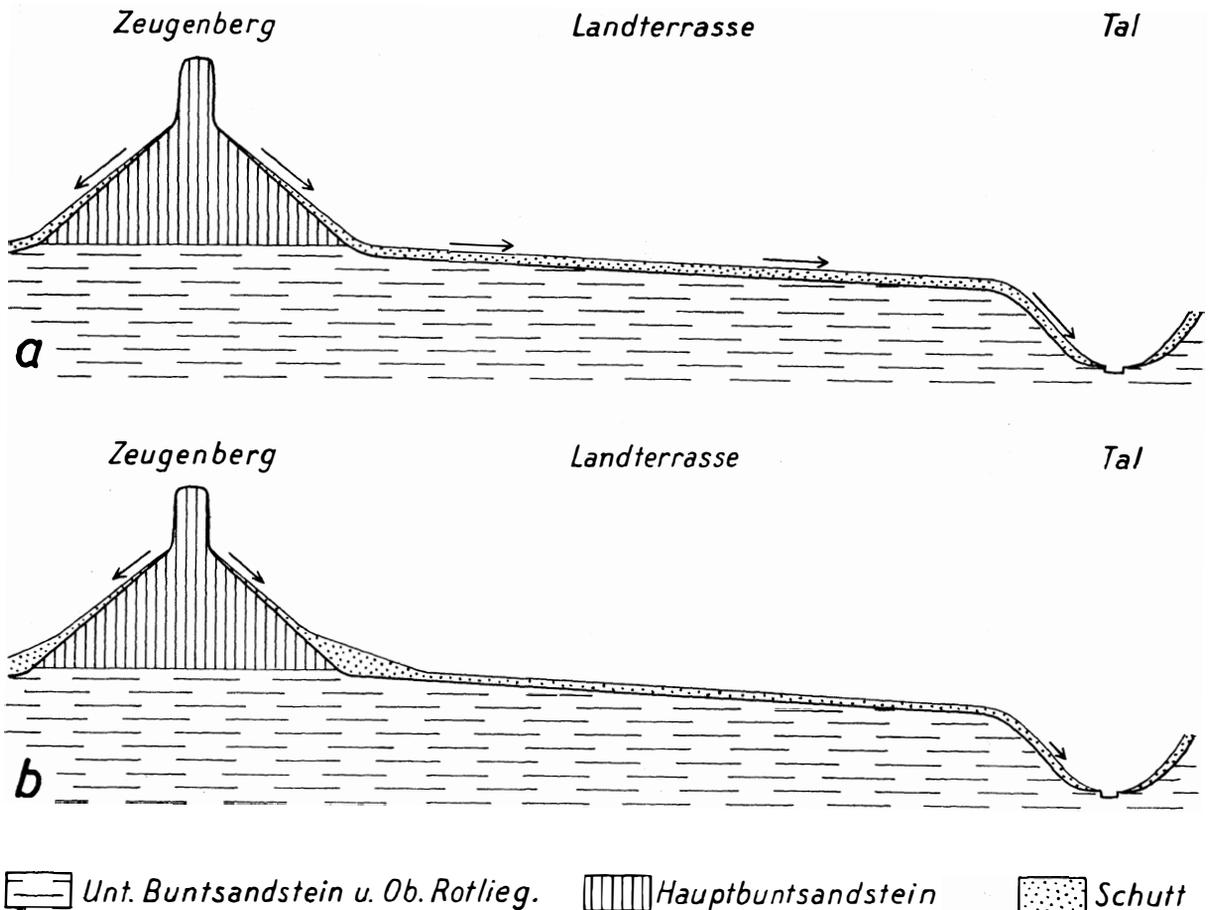


Abb. 2a—b: Schuttbewegungen im Dahner Felsenland (schematisch)
a: im Diluvialklima b: in der Gegenwart

berge zu den Tälern mittels Solifluktion (s. Abb. 2a). Der weiche, tonige untere Buntsandstein bot hierfür sehr günstige Voraussetzungen, und der „Schuttsoꝰ“ am Fuß der Zeugenberge war so groß, daß pro Zeiteinheit mehr Schutt abtransportiert wurde als aus dem anstehenden Hauptbuntsandstein nachgeliefert werden konnte. Da das Schutteinzugsgebiet einer Hangstelle und damit die an dieser Hangstelle anfallende Schuttmenge um so kleiner ist, je höher am Hang die Stelle liegt, führte der hangaufwärts rückschreitende Schuttsoꝰ in den oberen Hangteilen zur Entblößung des Anstehenden (Hangskelettierung) und schließlich zur Bildung der bizarren roten Sandsteinfelsen, die dem Gebiet seinen Namen gaben. Felsflächen unterliegen stärkerer Abtragung als das Anstehende unter dem Schutt; die Entblößung des Anstehenden griff daher so weit hangabwärts, bis die erhöhte Schuttlieferung von den Felsen den Überschuß der Schuttabfuhr am Hangfuß ausglich, d. h. das dynamische Gleichgewicht erreicht war¹⁰⁾. Der hangaufwärts rückschreitende Schuttsoꝰ führte hier also zu einer hangabwärts fortschreitenden Formänderung; in diesem Fall weicht der Denudationsprozeß klar von der eingangs erwähnten Parallelität zwischen Erosion und Denudation ab.

Heute ruht die Abtragung auf der Landterrasse — von geringfügigen Abspülungen, die wahrscheinlich überhaupt erst seit der Rodung des Waldes auftreten, abgesehen. Die diluvialen Wanderschuttdecken liegen fest, die Schuttabfuhr von den Zeugenbergen zu den Bächen ist unterbunden. Neubildung von Felsen ist deshalb nicht mehr möglich, die Felsen des Dahner Landes sind diluviale Vorzeitformen. Die Hänge der abseits vom Gewässernetz liegenden Zeugenberge bieten das gleiche Bild des gestörten Gleichgewichtszustandes, das für Talhänge entworfen wurde, an deren Fuß der Bach den anfallenden Schutt nicht mehr abtransportieren kann. Während über dem Hang noch Felsen stehen, die intensiv abgetragen werden, und der Schutt auf den steilen oberen und mittleren Hangteilen noch abwärts wandert, liegt am Hangfuß mit wesentlich größerer Schuttmächtigkeit und flacherer Böschung die Stauzone (s. Abb. 2b). Die Bauern haben diese meist blockarme Schuttanhäufung in zahlreichen Sandgruben aufgeschlossen. Wie während der diluvialen Zeit der Felsbildung der Schuttsoꝰ, dehnt sich gegenwärtig der Schuttstau allmählich hangaufwärts rückschreitend aus. Wenn die postglaziale Ruhezeit der Abtragung auf der Landterrasse genügend lange andauert, wird der Stau schließlich den ganzen Hang erfassen und auch die Felsen zudecken — soweit sie nicht sowieso bis dahin abgetragen sind. Diese Deutung deckt sich mit der von *Morawetz*¹¹⁾ in den Alpen gemachten Feststellung, daß Halden, die nicht an einem Wasserlauf oder über einem Steilhang enden, in ständigem Wachsen begriffen sind, weil der Ausgleich zwischen Schuttlieferung und Abtransport fehlt. Eine Untersuchung

der Flächen am Haldenfuß würde vermutlich ergeben, daß auch hier früher eine stärkere Abtragung als heute am Werke war.

Neben den hier geschilderten eindeutig rückschreitenden Denudationsvorgängen gibt es aber auch solche, die von oben her ausgelöst werden: Bergstürze, Erdbeben, wie z. B. die von *Stiny*¹²⁾ beschriebenen, Rasenwälen u. ä. Sie scheinen der Regel zu widersprechen; in Wirklichkeit sind sie aber sekundär, meist episodische Folgeerscheinungen der rückschreitenden Denudation; denn von dieser hängt es ab, ob das jeweils erforderliche Mindestgefälle erreicht bzw. überschritten wird.

Die Regel vom Rückschreiten der Denudationsvorgänge und vom Hinstreben zu dynamischen Gleichgewichtszuständen gilt nur für die Massenbewegungen, welche durch die Schwerkraft bedingt sind und eventuell durch spülendes oder sickerndes Wasser verstärkt werden. Völlig unabhängig davon vollzieht sich die äolische Abtragung, da der Wind der Schwerkraft entgegenwirken kann.

Die Kenntnis der rückschreitenden Denudation und des dynamischen Gleichgewichts ist an sich nicht neu, aber sie hat m. E. in neueren morphologischen Arbeiten zu wenig Beachtung gefunden, obwohl sie zu Erkenntnissen hinführen kann, die mit anderen Methoden nicht gewonnen werden können. Der vorliegende Aufsatz verfolgt den Zweck, auf diese Regeln aufmerksam zu machen und ihre weitere Erforschung anzuregen. Erst wenn sie in vielen Gebieten nachgeprüft worden sind, werden genauere Aussagen über ihren Geltungsbereich und über ihre durch örtliche Faktoren bedingte Variationsbreite möglich sein.

¹²⁾ Z. f. Geomorph. Bd. I, 1925/26.

WANDLUNGEN IM AGRARLANDSCHAFTS- BILD RHEINHESENS 1577—1950

Günther Ketzner

Mit 4 Abbildungen

*Changes in the agricultural landscape of Rhine-Hesse,
1577—1950*

Summary: Using the oldest to the most recent maps indicating land use the author sketches the history of the agricultural landscape of the town of Gau-Algesheim on the Rhine during the past four hundred years. The development of the land used for agriculture in this borough from medieval conditions to the present day, with problems of planning for the future use, is typical of the vine growing and market gardening districts of the Rhine.

In den Jahren 1576/77 fertigte ein Zeichner namens *Maskopp*, der durch einen aus gleicher Zeit stammenden außerordentlich genauen perspektivischen Stadtplan von Mainz bekannt ist, Stadt- und Gemarkungspläne von Dörfern und Städten der Ämter Bingen, Olm und Gau-Algesheim für die erzbischöfliche Verwaltung in Mainz an, dem die genannten Bezirke schon vor 1225 unterstanden haben. Das Kartenwerk, ein mehrere Dutzend Seiten starker Atlas von

¹⁰⁾ Vgl. *Hettner*, Gebirgsbau und Oberflächengestaltung der Sächsischen Schweiz, Fschgen. z. deutschen Landes- u. Volkskunde, Bd. 2, 1887, S. 302, der diese Beziehung als erster erkannte.

¹¹⁾ Beobachtungen an Schutthalden, Schuttkegeln und Schuttflücken, Z. f. Geomorph. Bd. VII, 1932/33, S. 27 f.