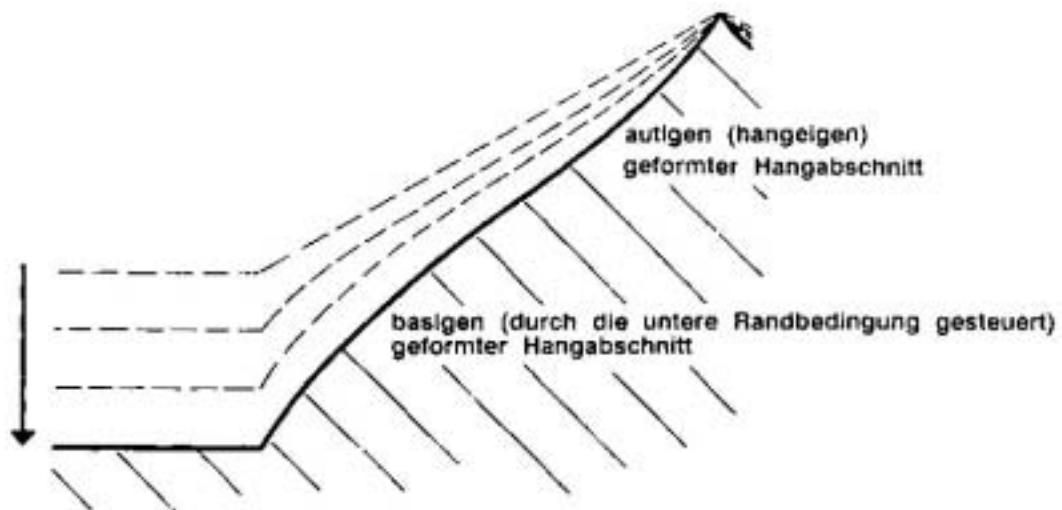


Ausarbeitung

Theoretische Konzepte der Hangentwicklung



von Tanja Credner

im Seminar Geomorphologie und GIS
bei Dr. Kai-William Boldt

Sommersemester 2001

Inhaltsverzeichnis – Gliederung:

0. Vorbemerkungen
1. Modelle der Hangformung durch Massenbewegung
 - 1.1. Formung eines Hanges allein durch solifludiale Massenbewegung
 - 1.2. Formung bei fehlender Materialzufuhr am oberen Ende des Hanges
 - 1.2.1. vollständiger Materialabtransport am Hangfuß
 - 1.2.2. übermäßiger Materialabtransport am Hangfuß
 - 1.2.3. kein oder wenig Materialabtransport am Hangfuß
 - 1.3. Realistisches Modell – Kombination von Randbedingungen
2. Modelle der Hangformung durch fluviale Abtragung
 - 2.1. Modellbetrachtungen der Auswirkung der Hanglänge
 - 2.1.1. Formung bei $E = 1$
 - 2.1.2. Formung bei $E = 0$
 - 2.1.3. Formung bei $0 < E < 1$
 - 2.1.4. Formung bei $E > 1$
 - 2.2. Untere Randbedingungen
 - 2.2.1. Hangformung bei $F = H$
 - 2.2.2. Hangformung bei $F > H$
 - 2.2.3. Hangformung bei $F < H$
 - 2.3. Entwicklungsbedingte Hangformung – Wechsel der F/H-Verhältnisse am Beispiel
3. Pedimenttreppen und Pediplanation
4. Literaturangaben

0. Vorbemerkungen:

Hier sollen die Modelle der Hangformung durch Massenbewegung und fluviale Abtragung – also der Überformung durch abfließendes Regenwasser – aufgezeigt werden. Da es sich um Modelle handelt, werden verschiedene Prozesse abstrahiert und auch Vorgänge getrennt betrachtet, die eigentlich parallel wirken. Dies ist zum Verständnis der teilweise komplexen Abläufe leider notwendig.

Vorab ist es weiterhin nötig, einen kurzen Blick auf den Prozeß der Solifluktion zu werfen, da dies der entscheidende Vorgang bei der in Kapitel 1 betrachteten Hangformung durch Massenbewegung ist.

Bei der Solifluktion – im Deutschen auch sehr treffend „Bodenfließen“ oder „Erdfließen“ genannt – bewegen sich die Bodenpartikel auf geneigten Bereichen hangabwärts. Dies geschieht insbesondere in Gebieten, in denen der Boden mit Wasser übersättigt ist, beispielsweise in Kaltgebieten, wenn der bereits aufgetaute Boden über noch gefrorenen und damit wasserundurchlässigen tieferen Schichten in Bewegung gerät. Die Solifluktion kann sich bis zur Bildung regelrechter Schuttströme verstärken.

1. Modelle der Hangformung durch Massenbewegung

Um diese Vorgänge zu betrachten, müssen wir verschiedene Annahmen für die Startsituation des Hanges treffen.

Dafür gehen wir davon aus, daß das **Material** (welches hinreichend aufbereitet und damit gelockert ist), die **Durchfeuchtung** des Untergrundes, die **Vegetation** (welche die Massenbewegung nicht zu stark hemmen darf), die **Neigung** und das **Klima** über die ganz Länge des Hanges gleich sind.

Solche Vorgaben sind nötig, damit die Solifluktion für unser Modell gleichmäßig abläuft und die Hangüberformung nicht gestört wird.

1.1. Formung eines Hanges allein durch solifludiale Massenbewegung

Wenn wir in unserer Modellvorstellung einen geraden Hang betrachten, der ohne besondere Betrachtung der äußeren Umstände allein durch Solifluktion überformt wird, muß die Massenbewegung für jedem Punkt des Hanges exakt gleich groß sein.

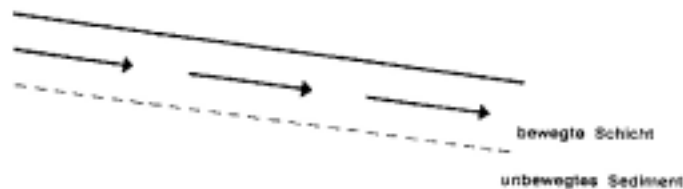


Abbildung 1

In diesem sehr primitiven Modell gibt es zwar Bewegung, aber keine Abtragung der Oberfläche, da die Massenbilanz für jeden Punkt ausgeglichen. Dies bedeutet, daß alles abrutschende Material sofort durch von oben nachkommendes ersetzt wird.

Diese Situation ist - zumindest auf einen vollständigen Hang bezogen - recht unrealistisch. Deshalb betrachten wir nun eine Kammsituation am oberen Ende unseres Hanges:

1.2. Formung bei fehlender Materialzufuhr am oberen Ende des Hanges

Wir wissen sofort, daß am oberen Ende des Hanges eine Erniedrigung der Oberfläche erfolgen wird, da dort die Massenbilanz negativ sein muß – womit sollte das abrutschende Material auch ersetzt werden, wenn keine Materialzufuhr herrscht ?

Um die entstehende Überformung genauer beschreiben zu können, ist es wichtig die Situation am unteren Ende des Hanges mit in die Betrachtung einzubeziehen:

1.2.1. vollständiger Materialabtransport am Hangfuß



Abbildung 2

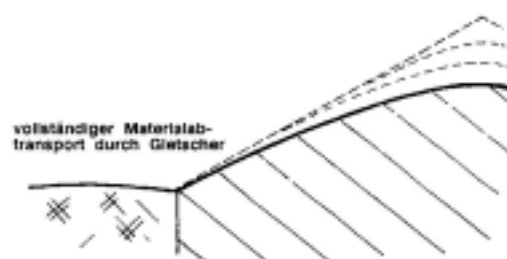


Abbildung 3

Diese Situation könnte zum Beispiel durch einen Gletscher am Hangfuß realisiert werden, der alles dort ankommende Material aufnimmt und forttransportiert. Im Laufe der Zeit wird die Neigung im oberen Hangbereich geringer, die Bewegungsgeschwindigkeit nimmt ab (beachten sie die Pfeillänge in Abbildung 2).

Damit ergibt sich die Situation, daß auch weniger Material in den tieferen Bereichen ankommt, also beginnt auch hier eine Abtragung einzusetzen. Am Ende beobachten wir also Konvexität und Abtragung über den ganzen Hang.

1.2.2. übermäßiger Materialabtransport am Hangfuß

Diese Situation könnte durch ein sich verlagerndes oder eintiefendes Flußbett realisiert werden.

Zusätzlich zu der in 1.2.1. beschriebenen Situation kommt es dann auch zu einer Konvexität und Abtragung vom unteren Ende des Hanges aufwärts.

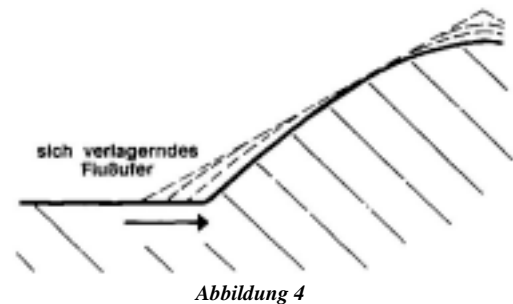


Abbildung 4

2.2.1. kein oder wenig Materialabtransport am Hangfuß

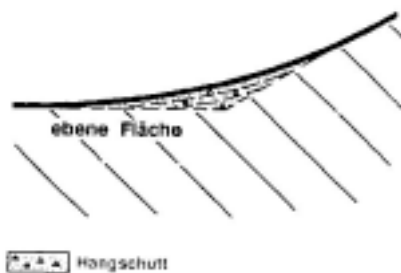


Abbildung 5

Eine derartige Situation könnte durch verschiedene Situationen am Hang ausgelöst werden. Beispielsweise durch eine Ebene am Hangfuß (Abbildung 5), ein sich vom Hang wegwärts verlagerndes Flußbett (Abbildung 6) oder ein sich eintiefendes Flußbett (Abbildung 7).

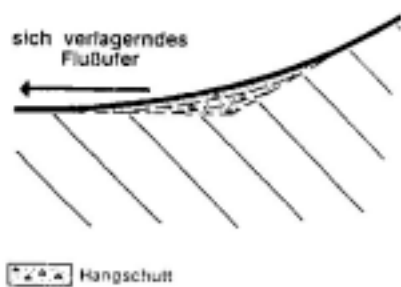


Abbildung 6

In jedem Fall führt der Zustand der ungenügenden Materialabfuhr aber am unteren Hangende zu einer Materialansammlung und Neigungsverringering.

Die Neigung und damit die Bewegungsgeschwindigkeit nimmt im Laufe der Zeit ab. Der Akkumulationsbereich dehnt sich also immer weiter hangaufwärts aus. Am Hangfuß entsteht eine konkave Form, wobei die stärkste Konkavität am ehemaligen Hangfußpunkt zu beobachten sein wird.

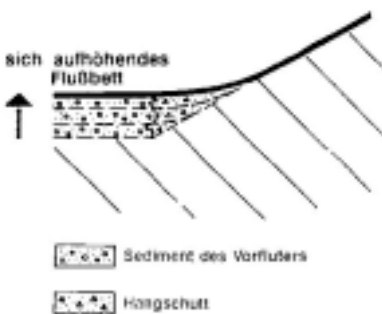


Abbildung 7

Wenn wir Abbildung 7 betrachten, stellen wir fest, daß sich in dieser Situation zusätzlich die Sedimente vom Hang und von Fluß verzahnen werden.

Unter diesen Bedingungen gibt es eine sehr gute Möglichkeit das Verständnis zu verbessern, durch die Betrachtung des „Punktes der ausgeglichenen Massebilanz“. Mathematisch gesehen, könnte man ihn als Wendepunkt betrachten.

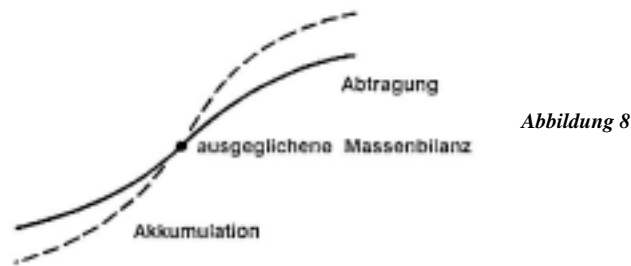


Abbildung 8

Er ist dort, wo sich die Ablagerungs- und die Aufschüttungsbereiche treffen. Je nach Ausprägung von Zu- und Abfuhr liegt er an verschiedenen Stellen des Hanges. An ihm selber ist, wie der Name schon sagt, zu einem bestimmten Zeitpunkt, weder Abtragung noch Aufschüttung zu beobachten. Im Laufe der Zeit allerdings wird sich der Punkt der ausgeglichenen Massebilanz hangabwärts verschieben. Wenn dies geschieht, wird irgendwann auch der ehemalige Akkumulationsbereich abgetragen (temporäre Sedimente). Der Hang wird früher oder später immer mehr verflachen und schließlich aufgezehrt werden.

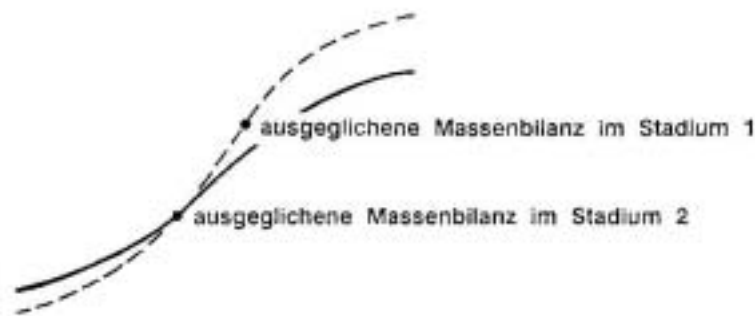


Abbildung 9

1.3. Realistisches Modell – Kombination von Randbedingungen

Wie wir schon zu Beginn von Kapitel 1.2 bemerkt haben, wird es in der Natur keinen **vollständigen** Hang geben, bei dem am oberen Ende (Wasserscheide) eine Materialzufuhr auftritt. Wenn also im folgenden von authigenen (hangeigenen) Formungen gesprochen wird, so wird eine fehlende Materialzufuhr am oberen Hangende als Bedingung mit vorausgesetzt.

Damit bleibt als einziger vollständiger, charakteristischer Formungstyp durch Massenbewegung der nach unten abnehmende, konvexe Abtragungshang, bei dem je nach unterer Randbedingung die genaue Ausprägung variiert (Kapitel 1.2 mit Unterpunkten). Andere Abweichungen können durch ein noch nicht vollständig umgeformtes Ausgangsrelief erklärt werden (entwicklungsbedingte Form – hier zeigen sich außerdem noch vorangegangene Prozesse).

Zusammenfassend kann man über Hangentwicklung durch Massenbewegung folgendes sagen:

Wir unterscheiden bis zu drei Bereiche – den authigenen Abschnitt (entwickelt sich konvex), den durch die untere Randbedingung geformten Abschnitt und entwicklungsbedingte Abschnitte.

2. Modelle der Hangformung durch fluviale Abtragung

Nun betrachten wir die Hangformung durch abfließendes Regenwasser. Natürlich brauchen wir, ebenso wie bei der Hangformung durch Massenbewegung, wieder einige Annahmen für die Startsituation der Modelle, um geeignete Vorstellungen entwickeln zu können. Wir gehen also im folgenden wieder davon aus, daß das **Substrat**, die **Durchfeuchtung**, die die Massenbewegung nicht hemmenden **Vegetationsverhältnisse** und die **Niederschlagsstärke** über den ganzen Hang gleich sind.

Damit haben wir für unsere Betrachtungen gleiche Verhältnisse der Wasseraufnahmefähigkeit und Oberflächenrauigkeit über den gesamten Hang.

Außerdem gehen wir – nicht ganz realistisch, aber für unser Modell notwendig – davon aus, daß das Material, welches unter abgespülten Bereichen zum Vorschein kommt, wieder die selben Eigenschaften besitzt.

Um weitere Vereinfachungen zu treffen, werden im folgenden alle Kräfte, die für den Transport des Materials von erodierten Material benötigt werden, vernachlässigt. Wir werden also nur die zur Erosion notwendigen betrachten.

Weiterhin ist wichtig im voraus zu erkennen, daß die abfließende Wassermenge nach unten hin zunimmt. Es ergeben sich demzufolge steigende Abflußgeschwindigkeit, wodurch die Erosionskraft in Richtung Hangfuß vergrößert wird.

2.1. Modellbetrachtungen der Auswirkung der Hanglänge

Was in diesem Kapitel und seinen Unterpunkten betrachtet wird, ist die **hangeigene Formung** bei fluvialer Abtragung. Untere Randbedingungen werden zunächst völlig außer acht gelassen. Zunächst sind nur drei Faktoren wichtig:

Das ist zum ersten die Distanz eines Punktes des Hanges zur Wasserscheide. Dieses werden wir im folgenden mit „**D**“ bezeichnen.

Zum zweiten benötigen wir noch einen Exponenten, der die Einflußgrößenkombination – also die genaue Situation von Substrat, Durchfeuchtung, Vegetation etc.) an einem speziellen Hang beschreibt. Dies wird durch „**E**“ realisiert, welches als Exponent zu D in die Betrachtung eingeht und meist Werte zwischen 0 und 1 aufweist.

Als drittes und letztes ist weiterhin natürlich die aktuelle Neigung an einem Hangpunkt bestimmend.

Diese Bezeichnungen gehen übrigens auf Wischmeier und Smith zurück, die sich im Jahre 1960 diesem Thema widmeten und die im folgenden beschriebenen Zusammenhänge auf empirischen Wege zeigten.

Man könnte also diese Situationen als mathematische Gleichung betrachten, die wie folgt lauten könnte:

$$\text{Abtragung} = D^E \cdot \text{Neigung}$$

Im folgenden werden wir uns aber darauf beschränken, den Einfluß des Exponenten „**E**“ auf die Hangentwicklung herauszustellen.

2.1.1. Formung bei $E = 1$

Erosionskraft wächst linear mit der Distanz, denn es gilt $D^1 = D$.

Es entsteht also ein stets gerader Hang dessen Neigung mit der Zeit zunimmt.

Die Wasserscheide selber wird nicht abgetragen, denn dort gilt $D = 0$, und $0^1 = 0$.

Dieser Prozeß kann nicht zeitlich unbegrenzt ablaufen – irgendwann wird z.B. die Erdanziehung entgegenwirken.



Abbildung 10

2.1.2. Formung bei $E = 0$

In diesem Fall bleibt E einflußlos denn $D^0 = 1$ für alle D .

Damit ist hier für die Abtragung nicht mehr die Distanz zur Wasserscheide, sondern nur die Neigung wichtig.

Also wird der Hang im Laufe der Zeit parallel zu sich selber tiefergelegt.

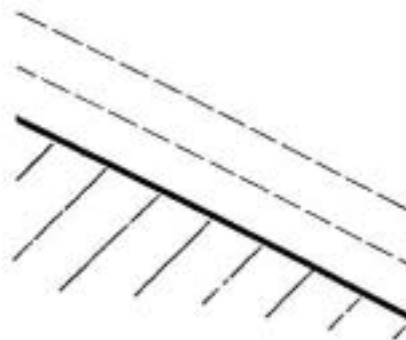


Abbildung 11

2.1.3. Formung bei $0 < E < 1$

Dies ist die weitaus häufigste Formung durch Oberflächenabfluß.

Es bildet sich hier ein gestreckt konkaver Hang, der mit der Zeit für jedem Punkt eine wachsende Neigung aufweist, und sich als degressiv fallende Kurve beschreiben läßt.

Der genaue Wert von E betrifft nur den Grad der Konkavität in der Zeit.

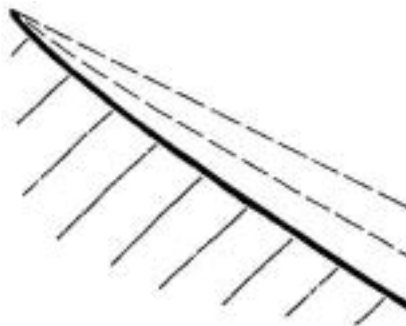


Abbildung 12

2.1.4. Formung bei $E > 1$

Dies ist ein sehr seltener Fall. Dabei entwickelt sich ein konvexer Hang mit in der Zeit an jedem Punkt wachsender Neigung.

Die entstehende Form läßt sich als progressiv fallende Kurve beschreiben.

Bei einer Formanalyse ist in diesem Fall nicht immer der Unterschied zur Formung durch Massenbewegung zu zeigen, was dem erforschenden Geographen unter Umständen viel Aufmerksamkeit abverlangen kann.



Abbildung 13

2.2. Untere Randbedingungen

Da wir jetzt über die hangeigene Entwicklung bei fluvialer Überformung informiert sind, betrachten wir nun die verschiedenen Möglichkeiten für untere Randbedingungen.

Als weitere Vereinfachung führen wir ein, daß der betrachtete Hang in unserem Modell immer von einem Fluß, dem Vorfluter nach unten begrenzt wird.

Nun können wir wieder einige Variablen einführen:

Die Tieferlegungsgeschwindigkeit des Flusses am Hangfuß wird ab sofort mit „ F “ bezeichnet. Die authigene (hangeigene) Hangtieferlegung – also die verschiedenen Entwicklungen, die wir im Abschnitt 2.1. als Abtragung kennengelernt haben – erhält den Buchstaben „ H “ zugewiesen. Die Hangtieferlegung messen wir in der Vertikalen.

2.2.1 Hangformung bei $F = H$

Wenn dies auftritt, nimmt der Vorfluter keinen Einfluß auf die Entwicklung des Hanges, er verhält sich quasi neutral. In diesem Fall wird der Hang also auf seiner ganzen Länge nur hangeigene Entwicklung zeigen.

Eine solche Situation kann in der Natur allerdings nur sehr kurzzeitig auftreten, da sich das Verhalten von Flüssen bekanntlich oft verändert. Beispielsweise würde bereits eine kurze Trockenzeit das $F = H$ zu einem $F < H$ verändern.

2.2.2. Hangformung bei $F > H$

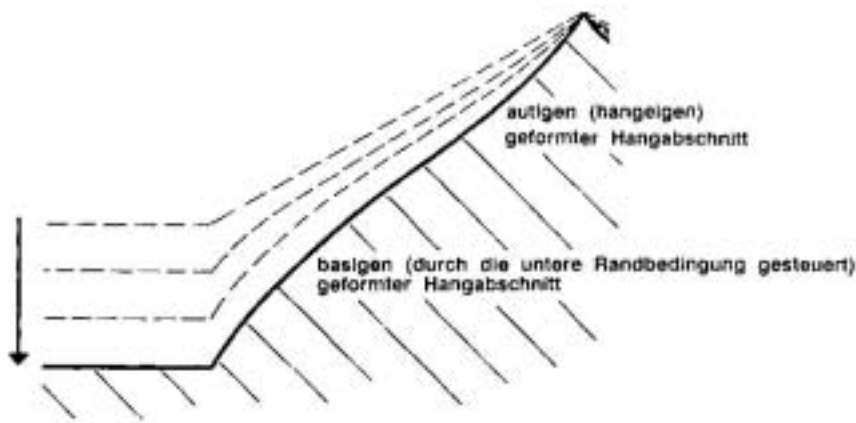


Abbildung 14

Hier zeigt der Hang eine geringere Tieferlegung als der Fluß. Derartiges kann sich sowohl durch Tiefen- als auch durch Seitenerosion des Flusses ergeben.

In einem solchen Fall wird der untere Bereich des Hanges konvex versteilt, während der obere Bereich hangeigen (2.1.) geformt wird.

2.2.3. Hangformung bei $F < H$

Der im folgenden beschriebene Vorgang wird „Pedimentation“ oder auch „Pedimentierung“ genannt.

Das $F < H$ kann immer dann zustandekommen, wenn sich der Fluß entweder sehr langsam oder kaum eintieft (siehe Abbildung 15), oder aber sein Bett vom Hangfuß wegverlagert (siehe Abbildung 16). Im letzteren Fall wird unser F übrigens negativ sein.

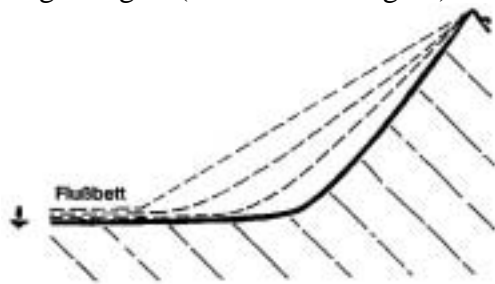


Abbildung 15

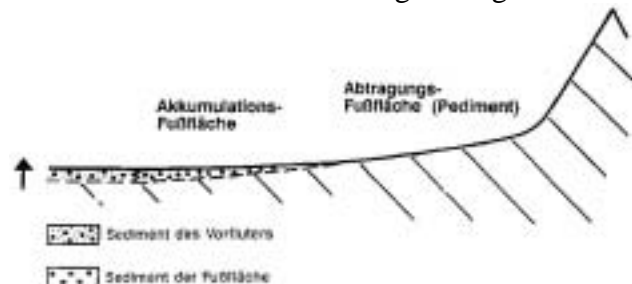


Abbildung 16

Nun wollen wir den genauen Vorgang bei diesen unteren Randbedingungen betrachten. Der sogenannte Basisstau, der sich im unteren Bereich des Hanges bildet, bewirkt die Entstehung eines konkaven unteren Hangabschnittes, dessen Neigung im Laufe der Zeit für jeden Punkt abnimmt.

Weiterhin formen sich natürlich auch die oberen Hangabschnitte konkav, allerdings entwickeln diese eine zunehmende Neigung. Durch diese gegensätzlichen Entwicklungen (man beachte wieder Abbildung 15) entsteht ein immer stärkerer Gefällesprung, der sogenannte Hangknick. Dieser Vorgang kann nur so lange andauern, bis am oberen Hangbereich wieder andere Prozesse wirksam werden, beispielsweise die Gravitation.

Schauen wir nun aber noch auf die Abweichungen von diesem Vorgang, wenn sich das Flussbett aufhört, also die Situation aus Abbildung 16. Die Entwicklungsprozesse gleichen generell den eben beschriebenen, allerdings wird der Hangknick nicht so stark ausgeprägt werden, sondern die Form eher durchgehend konkav werden.

Abschließend ist es noch wichtig, zwei Begriffe einzuführen, die wir auf den folgenden Seiten benötigen werden. Zum ersten ist dies das „Pediment“, womit die Abtragungsfußfläche bezeichnet wird, zum zweiten die „Pedimentationsstufe“, womit der im Laufe der Zeit zurückweichende Steilhang gemeint ist.

2.3. Entwicklungsbedingte Hangformung – Wechsel der F/H-Verhältnisse am Beispiel

Um uns eine bessere Vorstellung von dem Zusammen- und Wechselspiel der Hangformungsprozesse zu machen, verlassen wir ein wenig unsere Idealisierung und setzen nun ein gegliedertes Relief voraus.

Wir betrachten beispielhaft ein gering geneigtes Plateau, das über einen steilen Hang an den Fluß grenzt. Eine derartige Situation wird in der Natur nicht selten vorkommen, so daß sich daran gut eine Vorstellung über Entstehung und Weiterentwicklung proben läßt.

Betrachten wir zunächst, wie sich eine solche Situation entwickeln kann.

Das Plateau wurde vermutlich bei $F < H$ gebildet, wahrscheinlich war es eine frühere Akkumulationsfläche. Der Steilhang allerdings zeugt von einer Formung bei $F > H$.

Wenn sich anschließend ein Pediment bzw. entwickelt, kann dies nur bei $F < H$ erfolgen.

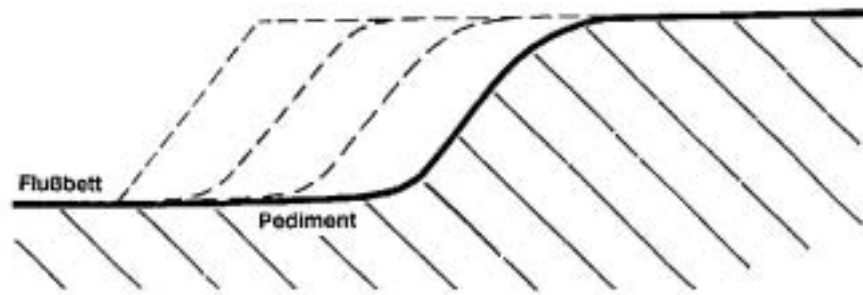


Abbildung 17

Es wird auf dem Plateau nämlich infolge der geringen Neigung kaum Abtragung erfolgen, der Steilhang aber wird durch die großen Wassermassen, die zwangsläufig von Plateau abfließen, überformt – er verlegt sich parallel zu sich selbst zurück, so daß wir hier von einer Pedimentstufe sprechen können.

Anhand dieser Überlegungen wird deutlich, daß die F / H – Verhältnisse in der Natur entgegen unseren Annahmen in Kapitel 2.2 keineswegs statisch sind, sondern sich kontinuierlich ändern.

Jede aktuelle Situation zeugt von vorausgegangenen Entwicklungen und ist ihrerseits auch keineswegs endgültig.

3. Pedimenttreppen und Pediplanation

Betrachtet man Pedimentstufen auf globaleren Niveau, so liegt die **Pedimenttreppe** nicht mehr fern. Diese entsteht, wenn der in 2.3. beschriebene Zyklus mehrere gleichzeitig zurückwandernde Stufen entstehen läßt. Dann ist es so, daß jede Stufe an ihrem Fuß ein Pediment zurückläßt und gleichzeitig höher gelegene Pedimente aufzehrt.

Nun stellt sich noch die Frage: Was geschieht, wenn eine Pedimentstufe die Wasserscheide erreicht ?

Wir können davon ausgehen, daß sich auf der anderen Seite der Wasserscheide ebenfalls ein Fluß befindet, ebenso wie eigene Pedimentationsstufen. Da die Pedimentationsstufen sich auf beiden Seiten des Hanges in Richtung Wasserscheide bewegen, werden sich zwangsläufig im Laufe der Zeit das Plateau völlig aufzehren.

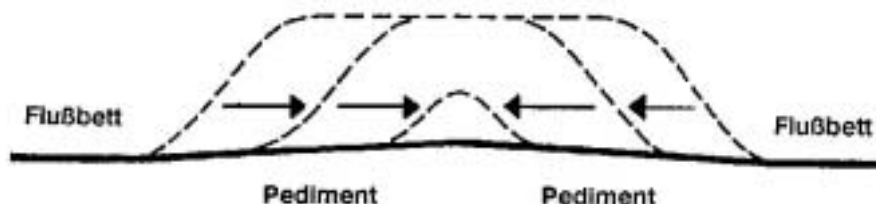


Abbildung 18

Wir sprechen dann von der **Pediplanation**, beziehungsweise von der Verschneidung von Pedimenten. Es entsteht dann ein weites Flachrelief, das Pediplain.

In dem Pediplain stehen Relief und Vorfluterverhalten in Übereinstimmung, alle verändernd wirkenden Impulse sind abgeklungen.

Unter diesen Voraussetzungen könnte man meinen, ein entstandenes Pediplain würde eine Ruheform der Reliefentwicklung darstellen. Dies ist allerdings nicht der Fall.

Natürlich wird sich nach einiger Zeit aus einem alten Pediplain wieder eine neue Abtragungslandschaft bilden.

Alle Reliefentwicklungen sind also zwangsläufig zyklisch, der Betrachtung genügend großer Zeiträume gibt es keinen Stillstand.

4. Literaturangaben

- Dalchow, Claus. *Vorlesungsauswertungen Heinrich Rohdenburg: Geoökologie – Geomorphologie* (1989). Catena-Verlag. Kapitel 5-7
- Gossmann, Hermann. *Theorien zur Hangentwicklung in verschiedenen Klimazonen*. Würzburgen Geographische Arbeiten. 1970
- Murawski, Hans. *Geologisches Wörterbuch* (1992), 9.Auflage

alle Abbildungen aus:

- Dalchow, Claus. *Vorlesungsauswertungen Heinrich Rohdenburg: Geoökologie – Geomorphologie* (1989). Catena-Verlag. Kapitel 5-7
(Abbildungen teilweise leicht verändert)