

Gully-Erosion und Methoden der Bekämpfung in den wechselfeuchten Tropen und Subtropen

Christian Reinhardt



1. Einleitung

Bodendegradation und Bodenerosion zählen unbestritten zu den wichtigsten Problemen der Landnutzung in den wechselfeuchten Tropen und Subtropen. Ihre Folgen und Auswirkungen auf die Böden und ihr Nutzungspotential sind offensichtlich. Degradation und Erosion bewirken Einschränkungen in der Nutzbarkeit der betroffenen Flächen, die häufig die Existenzgrundlage der vor Ort wirtschaftenden Menschen bilden. Gully-Erosion ist dabei als extremste Form der Erosion zu sehen, bei der nicht nur das wertvolle, teils fruchtbare Bodenmaterial abgetragen, sondern selbst darunter liegendes Lockermaterial (im weitesten Sinne) tief erodiert wird. Eine Landschaft kann durch Gully-Bildung massiv in ihrem Erscheinungsbild verändert und geprägt werden.

Bemerkenswert ist, dass es sich hierbei nicht um ein lokales Problem der Tropen und Subtropen handelt. Zahlreiche Literaturquellen, darunter die umfangreichen Arbeiten von HANS- RUDOLPH BORK (z. B. Bork et al. 1998), belegen massive, teils landnutzungsbedingte Erosionsprobleme in Mitteleuropa von der Antike bis ins späte Mittelalter und die Neuzeit. Die Rolle der Gully-Erosion wird dabei anhand verschiedener Fallbeispiele, teils auch aus dem Raum Brandenburg, hervorgehoben.

Gully-Erosion ist demnach als weltweites Problem aufzufassen, dessen Ursachen, Verlauf und Probleme im folgenden genauer betrachtet werden sollen.

2. Gully-Erosion – Formen und Prozesse

2.1 Begriffsbestimmung (Definition)

Bevor eine umfassende Diskussion des Themas Gully-Erosion selbst erfolgen kann, ist

eine Abgrenzung der zu verwendenden Begriffe erforderlich. Das weltweite Auftreten des Phänomens hat zur Prägung einer großen Zahl verschiedener Lokalbezeichnungen geführt. Dazu gehören die Begriffe „lavaka“ auf Madagaskar oder „donga“ im südlichen Afrika (div. Autoren, zit. bei SELBY 1993: 236). Für spanische Gebiete mit Ausnahme der Kanarischen Inseln findet sich z.T. der Begriff „Barranco“, wobei die Abgrenzung zu kleineren Kerbtälern nicht eindeutig ist. Im deutschen Sprachgebrauch hat sich wiederum der englische Begriff „Gully“ bzw. „Gully-Erosion“ etabliert, wobei auch Synonyme wie „Grabenerosion“, „Schluchtenreißen“, sowie die unabhängig von einem Mindestquerschnitt verwendeten Begriffe „Tiefenlinienerosion“ oder „Talwegerosion“ Verwendung finden. Die Begriffe „Graben“ und „Schlucht“ werden somit hier synonym verwandt.

Die Definition für die vorliegende Arbeit orientiert sich u. a. an der Vorgabe von SELBY (1993: 236). Als Gully wird hierbei ein steilwandiger, tiefer¹ Entwässerungskanal bezeichnet, welcher in seiner Formung auf kurzzeitige (ephemere) Oberflächenabflüsse zurückgeht. Neben diesen Eigenschaften hat NORDSTRÖM (1988) aus verschiedenen Quellen weitere Eigenschaften zusammengestellt, darunter die Tatsachen, dass Gullies nicht permanent von Wasser durchflossen werden, sowie die extrem schnelle, d. h. kurzfristige Bildung.

In ihrer Eigenschaft als Erosionsrinnen können Gullies von ähnlichen Formen wie Rillen oder Rinnen anhand ihrer Abmessungen abgegrenzt werden. So überschreitet ihre Breite 30, ihre Tiefe 60 Zentimeter (SELBY 1993: 236).

¹ Die möglicherweise etwas unklare Bezeichnung „tief“ soll im weiteren Verlauf eine Präzisierung erfahren und somit an dieser Stelle unkommentiert bleiben.

Als Gully-Erosion wird der Vorgang bezeichnet, welcher zur Abtragung von Bodenmaterial sowie Sedimenten und zur Eintiefung der Erosionsrinnen bzw. -gräben resp. Gullies führt. Es erfolgt dabei die Verlagerung von Material vom Hang in dessen Fußbereiche, sowie u. U. bis in den Vorfluter. Gullies bilden häufig ein dendritisch verzweigtes (baumförmiges) Netz, welches als erheblicher Faktor bei der Abtragung von Böden und Lockergestein zu sehen ist. Entsprechend lassen sich dabei Probleme für die Landnutzung ableiten, die im weiteren Verlauf näher betrachtet werden sollen.

2.2 Entstehung von Gully-Systemen – Rahmenbedingungen, Ursachen und Wirkung

Die Entstehung von Gullies wird von einem System verschiedener Faktoren gesteuert. Hydrologische, klimatologische, geologische und pedologische, geomorphologische, biogene Eigenschaften sowie anthropogene Einflüsse wirken in einem komplexen Gefüge zusammen und beeinflussen die Abtragung von Bodenmaterial und Sedimenten. SELBY (1993: 236f) gibt einen Überblick über Rahmenbedingungen, welche zur Eintiefung von Gräben führen. Gullies bilden sich demnach bevorzugt im Bereich unkonsolidierter Lockersedimente, da diese leicht abgetragen werden können. Eine dichte Vegetationsdecke schützt das darunterliegende Material wirkungsvoll vor der Abtragung durch oberflächlich abfließendes Niederschlagswasser. Diese Schutzwirkung entfällt, wenn die Vegetation geschädigt bzw. im extremsten Fall sogar vollständig zerstört wird. Ursachen für eine derartige Zerstörung können klimatische Veränderungen mit Trockenheit und Dürre sowie insbesondere menschliche Aktivitäten (Brände, Ackerbau, Überweidung) sein.

Änderungen im hydrologischen Regime eines Gebietes mit dem plötzlichen Auftreten von Extremniederschlägen und daraus resultierenden hohen Abflüssen oder Änderungen der hydraulischen Eigenschaften z. B. durch Absenkung der Erosionsbasis zählen ebenso zu den Ursachen und Steuerfaktoren der Grabenbildung (OOSTWOUDE WIJDENES & BRYAN 1991). Eine hohe Hangneigung ist für die Bildung von Gullies nicht zwangsläufig erforderlich, da extreme Abflüsse bereits bei geringer Neigung ihre erosive Wirkung entfalten können.

Bereits diese einführende Betrachtung zeigt, dass Gully-Erosion nicht als Resultat einer landschaftstypischen Abtragung zu sehen ist. Zusätzlich legt die Bildung der Gräben innerhalb kürzester Zeit die Folgerung nahe, dass es sich dabei um Anzeichen für Störungen des Landschaftshaushaltes als Resultat massiver Umweltveränderungen handelt (SELBY 1993: 236). Gullies bilden sich demnach, wenn in einem vormals stabilen System Änderungen auftreten, wobei diese fast ausschließlich auf die Aktivität des wirtschaftenden Menschen zurückzuführen sind. Zum Verständnis dieses komplexen Systems ist eine Betrachtung der einzelnen Komponenten und ihres Zusammenspiels unerlässlich.

2.3 Die Rolle der Hydrologie bei der Genese von Gully-Systemen

a) Gullybildung durch Oberflächenabfluss (surface runoff)

Die wechselfeuchten Tropen und Subtropen zeigen große jahreszeitliche Schwankungen in den Niederschlagsmengen mit ausgeprägten Regenzeiten im Wechsel mit Trockenperioden. Hohe tägliche bis stündliche Niederschlagsmengen begünstigen die Bildung von

Oberflächenabfluss – Voraussetzung für eine fluviale Formung der Landschaft.

Die Gully-Bildung beginnt mit der Konzentration des Oberflächenabflusses in vorhandenen Entwässerungsbahnen im Hangbereich. Hangaufwärts können sich zunächst kleinere Rillen ausbilden, die hangabwärts in Gullies übergehen. Rillenerosion ist jedoch keine notwendige Voraussetzung zur Eintiefung, vielmehr finden sich Kopfenden der Gräben auch inmitten von Flächen ohne jegliche Anzeichen von linien- oder flächenhafter Erosion.

Ob und warum sich ein Gully neu bilden kann, hängt maßgeblich von der Menge des Abflusses und dem Infiltrationsvermögen der Böden ab. Extreme Niederschlagsereignisse, die bei geringer Infiltrationskapazität zu Sättigungs- oder Horton'schem Abfluss führen, fördern die initiale Bildung sowie die weitere Eintiefung des Gully-Systems. Neben den lokalen hydrologischen Verhältnissen wirkt die Größe des Einzugsgebietes ebenfalls als Einflussfaktor auf die Abflussmenge, d. h. die Abflüsse steigen mit zunehmender Gebietsgröße.

Weitere Bedeutung kommt der Konzentration von Suspensions- und Bodenfracht im abfließenden Wasser zu. Kopfenden (gully heads, Ansatzpunkte) können sich dabei unterhalb von Flächen mit dichterem Bewuchs bilden, wo der Wasserstrom nur geringe Mengen an Sediment führt und ein entsprechend hohes Erosionspotential aufweist (MOSS & WALKER 1978, zit. b. NORDSTRÖM 1988).

Die weitere Formung bereits angelegter Gullies durch den Oberflächenabfluss verläuft i. W. mittels dreier Mechanismen: 1.) Tiefenerosion an der Gully-Sohle, 2.) Unterschneidung der Gully-Wände und Nachstürzen von Material (Seitenerosion) sowie 3.) rückschreitende Erosion am Gully-Ansatz

(waterfall erosion) (NORDSTRÖM 1988). Auf die rückschreitende Erosion am Gully-Ansatz wirkt sich neben der Abflussmenge die Fallhöhe des Wassers aus, d. h. je höher die Kante am Gully-Kopf, desto größer die erosive Wirkung des fallenden Wassers.

Hangabwärts sinkt mit abnehmender Hangneigung und verringerter Fließgeschwindigkeit sowie steigender Sedimentfracht die erosive Wirkung des Wassers. Im Längsprofil können dabei Erosionsstrecken, reine Transportabschnitte und Akkumulationsbereiche unterschieden werden. Die Verteilung ist i. d. R. abhängig von der speziellen Morphologie der Gully-Sohle und entsprechend nicht vereinfacht darstellbar. Am Hangfuß, d. h. am Gully-Auslass erfolgt die Akkumulation der Sedimente als Schwemmfächer, der wiederum durch Extremabflüsse ebenfalls erodiert bzw. zerschnitten werden kann (NORDSTRÖM 1988).

b) Gully-Bildung durch unterirdischen Abfluss (subsurface runoff)

Dem unterirdischen, linearen Abfluss in permeablen Substraten (Interflow), aber auch entlang von Makroporen (Spalten, Grabgänge, Wurzelräume etc.) und dem damit verbundenen unterirdischen Materialtransport wird bei der initialen wie progressiven Formung des Gullies eine ebenfalls nicht unbedeutende Rolle zugeschrieben – ein Vorgang der als Piping oder Tunnelling bezeichnet wird. Decken der hierbei ausgeprägten Röhren (Pipes) können dabei kollabieren und neue Haupt- bzw.- Seitengräben schaffen. Die Relation von Pipegröße und Formung zeigt positive Rückkopplungseffekte, d.h. mit zunehmender Größe der Pipe vergrößert sich auch ihr („Mikro-“) Einzugsgebiet und damit die Menge des der Röhre zuströmenden Wassers (SELBY 1993).

Voraussetzung für die Bildung von Pipes sind zusätzlich zur Permeabilität des Bodensubstrats impermeable Zwischenlagen (z. B. Tonhorizonte, Krusten). Oberflächliche tonreiche Horizonte vermindern die Infiltration des Niederschlagswasser und fördern somit die Konzentration des Oberflächenabflusses. Infiltriert Wasser dennoch über häufig vorhandene Makroporen (Trockenrisse, Wurzelgänge etc.) und gelangt in durchlässigere Sedimente im Liegenden setzt unter Vorhandensein eines hydraulischen Gradienten eine laterale Wasserbewegung (Interflow) mit Materialverlagerung ein.

Scharfe Texturwechsel zu feinkörnigeren Sedimenten innerhalb eines Bodenprofils können als Stauhorizonte wirken, wobei Bodenwasser entlang dieser „Trennschicht“ abfließt und auch hier Piping-Prozesse einsetzen können. An Terrassenkanten, der head scarp oder am Rand eines Gullies fördert der dort vorliegende hydraulische Gradient ebenfalls die Bildung von Röhren. Piping ist neben dem Zusammenschluss von diskontinuierlichen Gullies (s. u.) ein bedeutender Faktor bei der Ausbildung von Seitenarmen und dendritischen Netzen.

2.4 Weitere Einflussfaktoren

Die natürlichen Charakteristika eines Einzugsgebietes bilden ein Prozessgefüge aus komplexen und vielschichtigen Wechselwirkungen, die hier im einzelnen nicht umfassend wiedergegeben werden können. Für über die behandelten Grundlagen hinausgehende Informationen sei wiederum die Arbeit von NORDSTRÖM (1988) empfohlen.

Die Morphologie des Einzugsgebietes wirkt nicht zuletzt über die Hangneigung und die damit verbundene Abflussbildung steuernd. Bodenbildungsprozesse können ebenso von topographischen bzw. morphologischen

Eigenschaften abhängig sein, wie die Temperatur oder die Art der Vegetation von der Höhenlage. In flachen Gebieten wird infolge geringerer Fließgeschwindigkeiten des Oberflächenabflusses mehr Ton akkumuliert als in steileren Lagen. Die Infiltration ist in tonreichen Böden grundsätzlich geringer, wobei Trockenrisse in oberflächlichen Tonschichten wiederum Infiltration begünstigen können.

Die geologischen Verhältnisse gelten als Grundlage der Bildung verschiedener Bodentypen. Unkonsolidierte Lockergesteine sind leicht erodierbar und damit potentiell anfällig für die Gully-Bildung. Zu dieser Gruppe von Gesteinen zählen alluviale und kolluviale Sedimente, Löss, pyroklastische Gesteine, Produkte von Massenbewegungen etc. Zusätzlich können Gräben auch in Festgesteinen mit geringer Erosionsresistenz eingetieft werden. Hierzu gehören u. a. Ton- und Siltsteine, Schiefertone (engl. Shale) sowie die schwach metamorphen Tonschiefer und Phyllite. Undurchlässige Schichten, wie anstehendes Festgestein, Tonhorizonte oder Kalkkrusten, fördern Piping, können aber auch die Eintiefung des Gullies begrenzen. Verschieden mächtige Kalkkrusten an der Oberfläche können die Infiltration des Niederschlagswasser stark beeinträchtigen, was ebenso wie das Vorhandensein von Tonhorizonten die Bildung von Oberflächenabfluss fördert. Die Rolle von undurchlässigen Schichten wurde bereits im Rahmen der Piping-Prozesse dargestellt. Die Austrocknung tonreicher Sedimente und die damit verbundene Trockenrissbildung führt zu einer Herabsetzung der Standfestigkeit und verstärkt somit die Gefahr von gravitativen Massenbewegung am Gully-Rand (Versturz). Die Einflüsse der Vegetationsdecke sind häufig gegensätzlich. Grundsätzlich schützt eine dichte Vegetation vor Abtragung durch

Erhöhung der Oberflächenrauigkeit und Verringerung der Fließgeschwindigkeit des Oberflächenabflusses. Dabei ist neben dem Bedeckungsgrad auch die Art der Vegetation, d. h. Gras-, Baum- oder Strauchvegetation, von Bedeutung. Untersuchungen von BLANDFORT (1981, zit. bei NORDSTRÖM 1988) belegen jedoch Fälle, in denen eine dichtere Vegetation die Gully-Bildung durch erhöhte Infiltration am Gully-Kopf und damit sehr hoher Bodenfeuchte und herabgesetzter Standfestigkeit (\Rightarrow gravitative Massenbewegungen) eher förderte.

Als Folge von Interzeption und Evapotranspiration ist die Bildung von Oberflächenabfluss unter dichtere Vegetation gering. Streuauflagen aus abgestorbenem Pflanzenmaterial wirken zusätzlich als Wasserspeicher und schützen artabhängig mehr oder weniger stark vor Splash-Erosion. Im Bereich intakter Waldökosysteme kann sich entsprechend nur sehr wenig bis gar kein Oberflächenabfluss bilden. Tropfenbildung an Blättern und Nadeln wirkt wiederum verstärkend auf die Splash-Erosion. Piping-Prozesse laufen durch die erhöhte Infiltration entlang von vegetationsbedingten Makroporen (Wurzeltgänge) sehr häufig unter Grasbedeckung ab.

Ist die Vegetation punktuell geschädigt, kann dies zur Ausbildung diskontinuierlicher Gullies führen, d. h. es bilden sich zunächst mehrere kleine aufeinanderfolgende Gräben, die sich im Verlauf ihrer weiteren Formung zu einem einzigen großen Kanal zusammenschließen können.

Der Einfluss menschlicher Aktivität bei der Gully-Bildung wird insbesondere anhand der Abflussstrukturen deutlich. So bilden sich lokal Gullies bevorzugt entlang anthropogener Landschaftselemente (z. B. Viehpfade, Wege u. ä.) und nur untergeordnet entlang natürlicher Strukturen (Geologie, Topographie).

Eine nicht nachhaltige Nutzung, welche die Tragfähigkeit der Landschaft überschreitet, führt zwangsläufig zur Degradation von Böden und Vegetation. Die Infiltrationskapazität der Böden wird durch Verdichtung infolge von Viehtritt herabgesetzt, Überweidung (Fraß) und die mechanische Einwirkungen (Tritt) zerstören die schützende Vegetationsdecke. Eine Folge der fehlenden Vegetation und der damit verbundenen verminderten Oberflächenrauigkeit ist dabei die höhere Fließgeschwindigkeit auf der ungeschützten Bodenoberfläche. Daraus ergeben sich wiederum Oberflächenabflüsse mit hohem Erosionspotential. Ackerbaulich genutztes Land ist insbesondere nach der Ernte exponiert und damit anfällig für Bodenerosion.

2.5 Geomorphologie von Gullies

Anhand ihrer Längs- sowie Querprofile können Gullies in verschiedene Gruppen eingeteilt werden. Bereits am Kopfende werden die Einflüsse des Substrats deutlich. Kohesive Substrate mit erosionsresistenten Schichten, wie Tonhorizonten oder Krusten, an der Oberfläche führen zur Bildung einer steilen Kante am Kopfende (head scarp). Bei geringerer Kohesion ist die head scarp entsprechend weniger deutlich ausgeprägt bzw. überhaupt nicht vorhanden.

JUNGERIUS & VAN DEN BRINK (1991) zeigen, dass Gullies im Längsprofil häufig eine deutliche Gliederung in Steilbereiche aufweisen, die durch einzelne Schwellen getrennt sind. Erosions-, Transport- und Sedimentationsprozesse wechseln entsprechend der Hangneigung. Die lokale Ausprägung ist dabei nicht zuletzt auch abhängig von der Stratigraphie, resp. der Mächtigkeit und Erodibilität der anstehenden Sedimente und Gesteine.

Wie die Gestalt im Längsprofil ist auch der Querschnitt abhängig von der Erosionsresistenz der jeweiligen Boden- und Gesteinschichten. Generell weisen Gullies U- und V-förmige Querschnitte auf, wobei nicht selten auch Misch- und abgewandelte Formen auftreten. Mehrphasige Formungen können zur Ausbildung kleinerer Gräben führen, die in die Sohle des bestehenden Gullies eingetieft sind.

Die großmaßstäblichen Aufnahmen von JUNGERIUS & VAN DEN BRINK (1991) zeigen auch, dass die Gully-Wand selbst noch einmal in eine Vielzahl von Prozessbereichen gegliedert werden kann.

Neben ihren morphologischen Eigenschaften sowie ihrer Genese können Gullies auch anhand ihrer Existenzdauer unterschieden werden. Der Begriff „ephemeral gully“ [z. B. DESMET et al. 1999 und VANDAELE et al. 1996) steht dabei für Gully-Systeme, welche auf ackerbaulich genutzten Flächen auftreten, bei der Bearbeitung jedoch wieder „zerstört“ werden. Der Einsatz größerer Maschinen ermöglicht dabei auch das Überpflügen tiefer Gräben.

3. Strategien zur Bekämpfung der Gully-Erosion

Hat sich erst einmal ein Gully gebildet, ist die weitere Formung nur schwer aufzuhalten. Die Eintiefung erfolgt bis zum Erreichen der lokalen Erosionsbasis bzw. des anstehenden Festgesteins im Untergrund. Im letzteren Fall erfolgt die weitere Formung ausschließlich durch Seitenerosion, d. h. die einzelnen Gräben werden zunehmend breiter.

Grundsätzlich gilt deshalb, dass sich präventive Erosionsschutzmaßnahmen als einfacher und wirkungsvoller erweisen, als der spätere Versuch, die einmal initiierte Gully-Bildung aufzuhalten und zu bekämpfen.

Beim Boden- und Erosionsschutz gelten neben technischen auch Maßnahmen zum Wieder-, Agrar- und Siedlungsmanagement als notwendig, da hierdurch eine nicht angepasste Nutzung vermieden werden kann. Zur Bekämpfung der Gully-Erosion werden weltweit, je nach zur Verfügung stehenden Mitteln, zahlreiche unterschiedliche Strategien verfolgt, die entsprechend mit mehr oder minder großem technischen Einsatz zu verwirklichen sind. Aus der Menge der Möglichkeiten können hier nur einige wenige herausgegriffen und beschrieben werden.

Die grundsätzlichen Anforderungen an Maßnahmen zur Bekämpfung der Gully-Erosion können wie folgt beschrieben werden: Verringerung von a) Abfluss und b) Gefälle sowie c) Erhöhung der Oberflächenrauigkeit. Mit der Errichtung von Dämmen quer zur Abflussrichtung, sog. check dams, kann die Herabsetzung des Gefälles an der Grabensohle und damit eine deutliche Verringerung der Fließgeschwindigkeit erreicht werden. Die hölzernen oder gemauerten Querbauwerke mit ihren Sedimentationsbecken sind jedoch anfällig gegenüber Verfall und Erosion und entsprechend aufwendig zu unterhalten. Indigene Maßnahmen sehen u. a. auch die Einpflanzung von Gehölzpflanzen vor, die entsprechend den check dams als Sedimentfallen dienen.

In erosionsgefährdeten Tiefenlinien kann durch Etablierung einer dichten Grasdecke die Oberflächenrauigkeit erhöht werden. Derartige grassed waterways können mit steigender Hangneigung durch Querbauwerke (grade control structures) ergänzt werden (HILLBORN & STONE 1988), welche eine zusätzliche Verringerung der Hangneigung bewirken. Die Ansiedlung von Vegetation an der Sohle eines Gullies ist besonders während der Formungsperioden mit großen Schwierigkeiten verbunden. Grassed water-

ways sind somit in Gebieten mit ausgeprägten Trockenperioden, in denen mit einem Absterben der Vegetation zu rechnen ist, nur bedingt einsetzbar. Bäume und Strauchwerk erweisen sich mit ihren teils tiefgreifenden Wurzeln gegenüber Gräsern möglicherweise als geeignetere Variante in den wechselfeuchten Tropen und Subtropen.

Durch Sammlung des Oberflächenabflusses oberhalb des Gully-Ansatzes und Leitung des Wassers durch angelegte Röhrensysteme (slope pipes) in den Vorfluter kann der weiteren Eintiefung eines Gullies entgegen gewirkt werden (HILLBORN & STONE 1988). Wird das Wasser nicht direkt in den Vorfluter, sondern in den Gully selbst geleitet (trickle flow pipes; CUMMINGS 1999), kann die Ausweitung durch rückschreitende Erosion begrenzt, nicht aber die Eintiefung aufgehalten werden, wodurch wiederum die Errichtung von check dams notwendig wird. Darüber hinaus kann der Gully-Kopf mit erosionsresistenten Materialien ausgekleidet werden („chutes“ im Sinne von CAREY et al. 2001), was jedoch nur mit entsprechendem baulichen und damit auch finanziellem Aufwand zu verwirklichen ist. Die Etablierung von Vegetation am Gully head ist dabei als weniger aufwendige Alternative zu sehen, wobei sehr steile Kanten zunächst künstlich abgeflacht werden sollten. Terrassierung des Hanges oberhalb des Gully-Kopfes kann ebenfalls die rückschreitende Erosion begrenzen.

Insbesondere bei ausgedehnten Einzugsgebieten mit stark verzweigtem Gully-Netz sind ausgedehnte bauliche Maßnahmen nur mit hohem finanziellen und technischen Aufwand zu verwirklichen, entsprechend muss ihr Sinn für größere Einzugsgebiete in Frage gestellt werden. Darüber hinaus können alle technischen Maßnahmen nur dann sinnvoll eingesetzt werden, wenn weitere Erosions-

und Bodenschutzmaßnahmen sowie ein gezieltes Agrar- und Siedlungsmanagement im Einzugsgebiet zur Anwendung kommen, wodurch die anthropogenen Ursachen für die Gully-Bildung reduziert werden. CAREY et al. (2001) haben einige Maßnahmen zur Verhinderung der Gully-Erosion zusammengestellt. Durch gezielte Untersuchungen können dabei die Nutzungskapazitäten einer Landschaft bzw. des Einzugsgebietes festgestellt und Übernutzungen verhindert werden. Bei der Anlage neuer Bauwerke in der Umgebung von Siedlungen ist bereits in der Planungsphase zu berücksichtigen, dass die Konzentration des Oberflächenabflusses entlang von Wegen, Straßen etc. so gering wie möglich ausfällt. Unversiegelte Flächen mit Gefahr der Bodenverdichtung sowie ohne Vegetationsbedeckung müssen möglichst gering gehalten bzw. vollständig vermieden werden.

Viehbestände sollten der Vegetationsdichte angepasst werden, d. h. ein nachhaltiges Weidemanagement sichert den Fortbestand der Vegetation und damit die Nutzbarkeit der Weideflächen über mehrere Jahre. Das Weidemanagement muss im speziellen Fall u.U. konsequent durchgesetzt werden, mit der Folge, dass erosionsgefährdete Bereiche vollständig aus der Nutzung herausgenommen werden.

Bereits existierende Gullies müssen, um das betroffene Land ebenfalls aus der Nutzung herauszunehmen, nicht zuletzt durch Zäune dem Zugriff des weidenden Viehs entzogen werden. Überweidung und damit verbundene Degradation von Böden und Vegetation können somit zumindest in der unmittelbaren Umgebung des Gullies eingeschränkt werden. Der Sinn des Einsatzes finanziell aufwendiger technischer Konstruktionen gegenüber einfachen Maßnahmen muss von Fall zu Fall neu entschieden werden. Grundsätzlich sollte dies

in Staaten, die nicht selbst über das benötigte technische Wissen und die finanziellen Mittel verfügen, kritisch überprüft werden. Neben dem Einsatz technischer/baulicher Maßnahmen zur Beseitigung der Auswirkungen müssen stets entsprechende Strategien zur Bekämpfung der Ursachen verfolgt werden, d. h. der nutzungsbedingte Eingriff des Menschen in den Landschaftshaushalt muss durch gezieltes Management reduziert werden.

Literatur

- BECKEDAHL, H. R. 2002: Bodenerosion in Afrika. – *Peterm. Geogr. Mitt.* **146** (3/2002): 18-25.
- BORK, H.-R.; BECKEDAHL, H. R.; DAHLKE, C.; GELDMACHER, K.; MIETH, A.; LI, Y. 2003: Die erdweite Explosion der Bodenerosionsraten im 20. Jh.: Das globale Bodenerosionsdrama – Geht unsere Ernährungsgrundlage verloren? – *Peterm. Geogr. Mitt.* **147** (3/2003): 16-25.
- BORK, H.-R.; BORK, H.; DALCHOW, C.; FAUST, B.; PIORR, H. P.; SCHATZ, T. 1998: *Landschaftsentwicklung in Mitteleuropa*. – 1. Aufl.: 1-328. Gotha: Klett-Perthes².
- BORK, H.R. & LI, Y. 2002: 3200 Jahre Reliefentwicklung im Lössplateau Nordchinas – Das Fallbeispiel Zhongzuimao. – *Peterm. Geogr. Mitt.* **146** (2/2002): 80-85.
- DESMET, P.J.J.; POESEN, J.; GOVERS, G.; VANDAELE, K. 1999: Importance of slope gradient and contributing area for optimal prediction of the initiation and trajectory of ephemeral gullies. – *Catena* **37**: 377-392.
- DONKER, N.H.W. & DAMEN, M.C.J. 1984: Gully system development and an assesment of gully initiation risk in Miocene deposits near Daroca – Spain. In: PISSART, A. & TERWINDT, J.H.T. (eds.): *Present day geomorphological processes*. – *Ztschr. f. Geomorph. Suppl.-Bd.* **49**: 1-12.
- JUNGERIUS, P. D. & VAN DEN BRINK, J. W. 1991: The geomorphology of a gully wall – an example of the application of geomorphological mapping to process research. In: BORK, H.-R.; DE PLOEY, J.; SCHICK, A. P. (eds.): *Erosion, transport and deposition processes – theories and models*. – *Catena Suppl.* **19**: 71-90.
- MENSCHING, H. G. & SEUFFERT, O. 2001: (Landschafts-)Degradation – Desertifikation: Erscheinungsformen, Entwicklung und Bekämpfung eines Umweltsyndroms. – *Peterm. Geogr. Mitt.* **145** (4/2001): 6-15.
- NORDSTRÖM, K. 1988: Gully erosion in the Lesotho lowlands. – *UNGI Rapport* **69**: 1-144.
- NYSSSEN, J.; MOEYERSONS, J.; DECKERS, J.; HAILE, M.; POESEN, J. 2000: Vertic movements and the development of stone covers and gullies, Tigray Highlands, Ethiopia. – *Ztschr. f. Geomorph.* **44**: 145-164.
- OOSTWOUW WIJDENES, D. J. & BRYAN, R. B. 1991: Gully development on the Njemp Flats, Baringo, Kenya. In: BORK, H.-R.; DE PLOEY, J.; SCHICK, A. P. (eds.): *Erosion, transport and deposition processes – theories and models*. – *Catena Suppl.* **19**: 71-90.
- OOSTWOUW WIJDENES, D.J.; POESEN, J.; VANDEKERCKHOVE, L.; GHESQUIERE, M. 2000: Spatial distribution of gully-head activity and sediment supply along an

² Das Werk ist zwar für das Thema Gully-Erosion in den Tropen und Subtropen nicht von Bedeutung, wird aber als weiterführender Literaturhinweis und zum Verständnis der globalen Bedeutung des Problems dennoch aufgeführt.

- ephemeral channel in a Mediterranean environment. –*Catena* **39**: 147-167
- POESEN, J. 1993: Gully typology and gully control measures in the European loess belt. –In: WICHEREK, S.: Farm land erosion in temperate plains environment and hills. 212-239. Elsevier.
- SELBY, M. J. 1993: Hillslope materials and processes. –2nd ed.: 1-451. Oxford Univ. Press.
- SHOUTEN, C.J. & RANG, M.C. 1984: Measurement of gully erosion and the effects of soil conservation techniques in Puketurua Experimental Basin (New Zealand). In: PISSART, A. & TERWINDT, J.H.T.: Present day geomorphological processes. –*Ztschr. f. Geomorph. Suppl.-Bd.* **49**: 1-12.
- VANDAELE, K.; POESEN, J.; GOVERS, G.; VAN WESEMAEL, B. 1996: Geomorphic threshold conditions for ephemeral gully incision. –*Geomorphology* **16**: 161-173.
- Internetressourcen**
- CAREY, B.; GRAY, J.; SEAGRAVE, C. 2001: Gully erosion. –Queensland Government, Dep. of Natural Resources and Mines Facts Sheet QNRM01193.
<http://www.nrm.qld.gov.au/factsheets/pdf/land/LM81w.pdf>
- CUMMINGS, D. 1999: Trickle flow pipes for gully erosion control. –Landcare Notes, State of Victoria, Department of Natural Resources and Environment.
[http://www.nre.vic.gov.au/web/root/domino/cm_da/nrecinf.nsf/0/0a24bbc7f5f48025ca256bcf000ad4ed/\\$FILE/ATTN2BX9/LC0068.pdf](http://www.nre.vic.gov.au/web/root/domino/cm_da/nrecinf.nsf/0/0a24bbc7f5f48025ca256bcf000ad4ed/$FILE/ATTN2BX9/LC0068.pdf)
- HILLBORN, D. & STONE, R.P. 1988: Gully erosion control. –Ontario Ministry of Agriculture and Food Factsheet 88-059.
<http://www.gov.on.ca/OMAFRA/english/crops/facts/88-059.htm>
- MILTON, L.E. 1971: A review of gully erosion and its control. 1-36.
http://www.nre.vic.gov.au/web/root/Domino/vro/vrosite.nsf/pages/lwm_land_deg_erosion
- UNITED STATES DEPARTMENT OF AGRICULTURE, NATURAL RESOURCES CONSERVATION SERVICE: NRCS Photo gallery.
<http://photogallery.nrcs.usda.gov/>