

# 9 Frequenz und Magnitude natürlicher Prozesse

Lothar Schrott und Thomas Glade

Frequenz • Magnitude • Naturgefahrenanalyse • Schwellenwerte • Nichtlinearität • Emergenz

In diesem konzeptionellen Kapitel werden die Grundlagen der Frequenz und Magnituden natürlicher Prozesse erläutert und in Bezug zu Anwendungen in den Erdwissenschaften und der Naturgefahrenforschung gestellt. Ein besonderer Fokus liegt auf der Darstellung der Datengrundlage und der daraus resultierenden Problematik in der Anwendbarkeit dieses Ansatzes. Es werden unterschiedliche Skalen des Auftretens von Prozessen dargelegt und in der Bedeutung für das Risikomanagement (z. B. seltenes Auftreten von Extremereignissen) erläutert. Themenkomplexe beinhalten auch die Auswirkungen der Nichtlinearität und Komplexität auf Berechnungen der Frequenz und Magnitude natürlicher Prozesse.

## 9.1 Einführung

In der Geographie und in den Geowissenschaften ist das **Frequenz-Magnituden-Konzept** seit dem klassischen Aufsatz von Wolman und Miller (1960) etabliert und wird immer wieder zur Erklärung von Prozessmustern, geomorphologischer Effektivität im Sinne der Veränderung von Reliefformen, oder auch in konzeptionellen Vorstellungen zur Reliefentwicklung herangezogen (Crozier und Mäusbacher 1999). Der ursprüngliche Gedanke von Wolman und Miller (1960) bestand darin, die tatsächlich geleistete geomorphologische Effektivität (Produkt aus transportiertem Material und der Veränderung der Oberflächenform) für fluviale Systeme mithilfe der Frequenz-Magnituden-Beziehung zu bestimmen. Interessanterweise zeigte die Auswertung vieler Studien, dass weder die hochfrequenten und mit

geringer Magnitude auftretenden Ereignisse noch die Prozesse mit hoher Magnitude und geringer Frequenz geomorphologisch effektiv sind, sondern die höchste Effektivität im Wesentlichen auf die Abflussereignisse mittlerer Frequenz und Magnitude zurückzuführen ist (Abb. 9.1).

Generell wird unter der Frequenz eines Ereignisses eine bestimmte Wiederholungsperiode verstanden, die mit der durchschnittlichen Länge zwischen zwei Ereignissen einer bestimmten Magnitude (Intensität) berechnet werden kann (Abb. 9.2). Hierbei gilt:

$$T = n + 1/m$$

mit  $T$  = Wiederholungsintervall,  $n$  = Anzahl der Aufzeichnungsjahre zwischen zwei Ereignissen und  $m$  = Magnitude des Ereignisses.

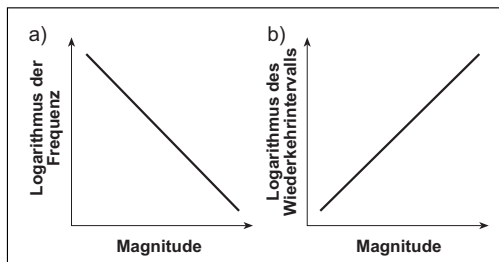
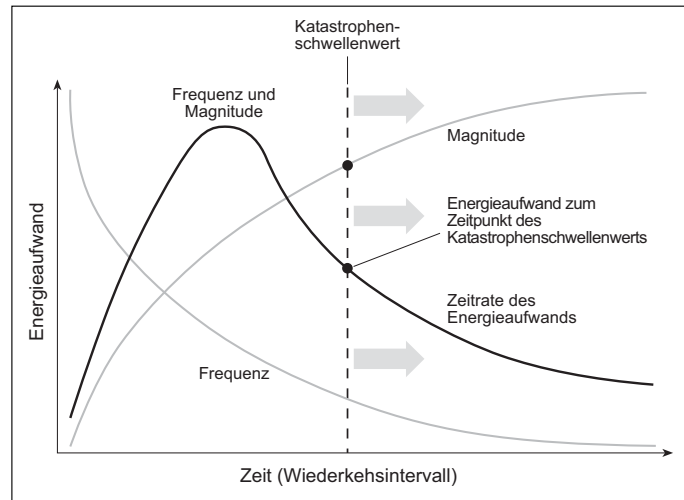
Der Frequenz-Magnituden-Ansatz hat nachhaltig die **geomorphologische Forschung** der letzten Jahrzehnte beeinflusst. Folgende Gründe sind hierbei anzuführen:

- (1) Relative kurze Messreihen wurden mit diesem Ansatz für längere Zeiträume in die Vergangenheit und in die Zukunft extrapoliert.
- (2) Die geomorphologische Effektivität im Sinne von Wolman und Miller (1960) kann mit der Frequenz-Magnituden-Beziehung identifiziert werden.
- (3) Angewandte Studien profitieren in der Planung und in der technischen Ausgestaltung von möglichen Größenordnungen und Dimensionen geomorphologischer Prozesse durch die Berechnung von Szenarien der potenziellen Magnituden und Frequenzen.

Trotz dieser breiten Anwendbarkeit unterliegt dieser Ansatz einer wichtigen Einschränkung durch episodische Prozesse und Nichtlinearitäten in natürlichen Systemen, die im weiteren Verlauf vor allem unter Punkt 3 aufgeführt wird.

## 9

**Abb. 9.1** Schematische Darstellung der Frequenz-Magnituden-Beziehung für geomorphologische Systeme (nach Wolman und Miller 1960).



**Abb. 9.2** a) Die Frequenz-Magnituden-Beziehung. b) Die Beziehung zwischen Wiederholungsintervall von potenziell schadenverursachenden Ereignissen (Naturgefahren) und der Magnitude des Ereignisses (nach Smith 2004).

## 9.2 Zur Verwendung von Frequenz-Magnituden-Beziehungen in den Geowissenschaften und der Naturgefahrenforschung

Der Frequenz-Magnituden-Ansatz wird zwischenzeitlich in einem weit größeren Kontext verwendet und ist in vielen Wissenschaftsbereichen (z. B. Meteorologie, Geophysik) zu finden. In der Naturgefahrenforschung und besonders bei der **Gefahrenbeurteilung** sind diese beiden Variablen von grundlegender Bedeutung (Glade 2005a, b). Auch

in der auf die Gefahrenanalyse aufbauenden Risikoanalyse spielt die Intensität oder Magnitude und die Häufigkeit bzw. Eintretenswahrscheinlichkeit eines gefährlichen Prozesses eine zentrale Rolle. Eine Gefahr, d. h. ein potenziell schadenbringendes Ereignis, ist umso größer einzuschätzen, je größer die Intensität eines Einzelereignisses ist und je häufiger bzw. je wahrscheinlicher solch ein Ereignis vorkommt.

Die Differenzierung der **Naturgefahrenklassen** weist explizit die beiden Parameter Frequenz und Magnitude aus (Dikau und Weichselgartner 2006). Wichtige Informationen sind hierbei die räumliche Ausdehnung und Verteilung, die Geschwindigkeit und die Dauer der betrachteten Naturgefahr. Für viele geomorphologische Prozesse sind jedoch die vorliegenden Kenntnisse über Frequenz und Magnitude hinsichtlich einer Gefahreinschätzung als gering bis mittel einzustufen (Tab. 9.1).

Das **Auftreten** von Naturgefahren ist bezüglich der Geschwindigkeit und der Vorwarnungen sehr unterschiedlich und kann auch für ein und denselben Naturgefahrenstyp variieren. Lawinen, Erdbeben oder Felsstürze erfolgen in der Regel plötzlich, schnell und unerwartet. Gleichzeitig können bei den genannten Prozessen aber auch Vorwarnungen wie kritische Schnees Zusammensetzung kombiniert mit Warmwetterfronten, zunehmende kleine Erdbeben oder sich langsam öffnende Spalten das Auftreten ankündigen. Andere Naturgefahren wie Überschwemmungen oder Stürme „kündigen“ sich im Vorfeld eindeutig durch Starkregen oder Entwicklungen entsprechender Windfelder und Drucksys-

**Tab. 9.1** Spezifische geomorphologische Prozesse (erosiv und akkumulativ) und die qualitative Bewertung für eine Naturgefahrenanalyse (Glade 2006, verändert nach Gares et al. 1994, aus Dikau 2004).

Parameter	Boden- erosion	gravitative Massenbe- wegungen	Küsten- prozesse	fluviale Prozesse	äolische Prozesse	glaziale und periglaziale Prozesse	vulkani- sche Prozesse
Frequenz	mittel- hoch	mittel- hoch	mittel- hoch	mittel- hoch	mittel	mittel- hoch	gering
Magnitude	klein- mittel	gering- mittel	gering- mittel	gering- hoch	gering- mittel	mittel- hoch	mittel- hoch
Dauer	mittel- lang	kurz- mittel	mittel- lang	mittel- lang	mittel- lang	mittel- lang	mittel- lang
räumliche Ausdehnung	mittel- groß	begrenzt- mittel	mittel- groß	mittel- groß	begrenzt- mittel	begrenzt- mittel	begrenzt- mittel
Geschwin- digkeit	langsam- mittel	mittel- schnell	langsam	langsam- mittel	langsam- schnell	langsam- mittel	langsam- schnell
räumliche Verteilung	linear- diffus	punktuell- diffus	punktuell- diffus, line- ar-diffus	linear- diffus	linear- diffus	punktuell- diffus	linear- diffus
zeitliches Auftreten	zyklisch	episodisch	zyklisch	zyklisch- episodisch	zyklisch	zyklisch- episodisch	zyklisch- episodisch

teme an und erlauben damit gewisse Vorkehrungen. Obwohl vielfach eine vage, in manchen Fällen auch eine durchaus konkrete Vorstellung darüber besteht, ob ein bestimmtes Ereignis an einem bestimmten Ort in der Vergangenheit einmal aufgetreten ist – oder darüber berichtet wurde, dass in bestimmten zeitlichen Abständen mit Ereignissen (z. B. einem Vulkanausbruch) zu rechnen ist – sind exakte Angaben zur **Frequenz**, d. h. zum Wiederholungszeitraum von solchen Prozessen noch immer eher die Ausnahme als die Regel. Dies gilt insbesondere für Aussagen über Szenarien von Prozessverhalten. Für viele Prozesse ist es bislang nicht möglich, ein bestimmtes Wiederholungsintervall zu definieren und damit vorherzusagen.

Probleme ganz anderer Art ergeben sich bei der Bestimmung der Intensität bzw. **Magnitude** einer Naturgefahr. Viele Naturgefahren lassen sich anhand von Intensitäten objektiv einstufen. So werden Erdbeben nach der Richter-Skala, Tornados nach der Fujita-Skala und Wirbelstürme nach der Saffir-Simpson-Skala eingestuft.

Doch was besagen diese Skalen, wenn es um die Bewertung von Naturkatastrophen geht? Damit werden zunächst nur bestimmte Intensitäten (z. B. Erschütterung, Windgeschwindigkeiten etc.) klassifiziert. Ein Vulkanausbruch mit ähnlicher Stärke

tritt beispielsweise rund alle 2000 Jahre auf, verursacht jedoch aufgrund der veränderten Bedingungen im Umland, z. B. durch zwischenzeitlich stark besiedelte Hänge am Fuße des Vulkans, ein völlig anderes Schadensausmaß, d. h. Naturereignisse mit nahezu identischen Energien treffen auf unterschiedliche Resilienzen oder Pufferungskapazitäten der Ökosysteme bzw. auf unterschiedliche Verletzbarkeiten in der Gesellschaft und ergeben somit ein völlig andersartiges Risiko. Weiter erschwerend kommt hinzu, dass es teilweise trotz abnehmender Intensitäten von Naturereignissen (z. B. weniger Starkniederschläge) zu einer Zunahme von Risiken kommen kann, weil das Schadensausmaß drastisch zunimmt. Die kombinierte Betrachtung dieser beiden Variablen, Frequenz und Magnitude, ist deshalb bei der Risikoanalyse zentral und unabdingbar an die Analyse der gesellschaftlichen Konsequenzen gebunden.

Erkenntnisse über die Frequenz und Magnitude bestimmter Ereignisse tragen dazu bei, unterschiedliche „Natur“-Prozesse besser einzuschätzen und zu bewerten. Damit kann ein besser abgestimmtes **Risikomanagement** erfolgen. Ist beispielsweise bekannt, dass ein Fluss regelmäßig eine bestimmte Hochwassermarke erreicht, so können konkrete Hochwasserschutzmaßnahmen (z. B. Höhe von

## 9

Dämmen, Größe von Rückhaltebecken) eingeleitet werden. Häufig unbeachtet bleibt dabei jedoch, dass sich die Aussagen bestimmter Relationen von Magnitude und Frequenz immer nur auf den Zeitpunkt der Erhebung beziehen. Es ist global festzustellen, dass sich die naturräumlichen Charakteristika der Einzugsgebiete genauso wie die menschlichen Aktivitäten in Regionen kontinuierlich ändern. Beispielsweise werden Wälder gerodet, landwirtschaftliche Nutzungen ändern sich oder die Gesellschaft breitet sich immer stärker im Raum aus, z. B. durch expandierende Urbanisierung. Somit werden die Berechnungsgrundlagen der Frequenz-Magnituden-Analysen verändert, weshalb konsequenterweise auch die damaligen Analysen oder heutigen Berechnungen mit „alten“ und somit oft überholten Daten für heutige Aussagen nicht mehr zu-

treffend sind. Diese Tatsache des kontinuierlichen Wandels des Geosystems und des sozialen Systems verkompliziert den Sachverhalt einer robusten Berechnung einer Frequenz-Magnituden-Berechnung außerordentlich. Hufschmidt et al. (2005) spricht deshalb von einer kontinuierlich voranschreitenden Risikoevolution und fordert, das Geosystem und das soziale System ganzheitlich und andauernd zu analysieren.

Weiterhin sind auch systemtheoretische Überlegungen tiefgreifend für die Frequenz-Magnituden-Betrachtungen. Die grundlegende Annahme in diesen Betrachtungen ist häufig, dass sich die geomorphologischen Systeme in der Zeit nicht ändern. Wie im vorherigen Absatz ausgeführt, werden bereits langsame Änderungen meist nicht in den Untersuchungen berücksichtigt. Aber noch viel we-

## Kasten 9.1

### Schwellenwerte

Die Frequenz-Magnituden-Beziehung ist eng mit den sehr unterschiedlichen räumlichen und zeitlichen Dimensionen geomorphologischer Prozesse verknüpft. Sehr langsame oder kleinräumige Prozessabläufe sind meist kaum wahrnehmbar oder messbar – wohingegen Extremereignisse mit hohem Energie- und Massenumsatz deutliche Spuren in der Landschaft hinterlassen und oft im Zusammenhang mit Naturkatastrophen auftreten. Doch wann kommt es zu diesem „scheinbar“ abrupten Übergang von prozessmorphologischer Inaktivität oder Ruhe zu hochaktiven Großereignissen? Warum bleiben steile Hänge zunächst trotz hoher Niederschläge scheinbar stabil, zeigen aber nach einer bestimmten „Belastungszeit“ (z. B. einer bestimmten Niederschlagsintensität während 24 Stunden) plötzlich instabiles Verhalten in dessen Folge Hangrutschungen oder Felsgleitungen auftreten? Eine Antwort darauf kann – zumindest teilweise – das in der Geomorphologie verwendete Konzept des Schwellenwerts geben (Schumm 1973, Schulte 2007). Bei vielen Prozessen wird beobachtet, dass externe (z. B. Niederschlag) und systeminterne (z. B. Veränderung der Verwitterungsintensität oder Scherspannung) Schwellenwerte – teilweise in enger Wechselwirkung – die Belastbarkeit eines Systems kennzeichnen. Empirisch-statistische Ansätze zu Schwellenwerten tragen dazu bei, rechtzeitige Vorsorgemaßnahmen zu treffen. So sind Schwel-

lenwerte bei gravitativen Massenbewegungen für bestimmte, räumlich definierte Regionen aus Niederschlagsintensitäten und -raten abgeleitet worden. Sie besagen, dass ab einem gewissen Schwellenwert von z. B. 200 mm Niederschlag in 24 Stunden mit großflächigen Rutschungen gerechnet werden muss. Diese Aussage stützt sich auf empirisch-statistische Daten vergangener Ereignisse und wird teilweise für die Abschätzung zukünftiger Ereignisse herangezogen.

Die Verwendung von fixen Schwellenwerten für die Prognostik hat jedoch nur eine eingeschränkte Aussagekraft, weil eine systeminterne Veränderung meist nicht berücksichtigt wird. Hinzu kommt, dass auch Systemstörungen mit verhältnismäßig kleiner Magnitude zu großen Systemreaktionen und -veränderungen führen können. Nach Überschreitung eines Schwellenwerts kommt es zudem häufig zu einem Wechsel in der gesamten Systemdynamik (z. B. Bereiche mit vorwiegender Akkumulation werden nun zu Erosionsräumen und *vice versa*). Schwellenwerte sind daher charakteristisch für nicht lineare Systeme, können jedoch trotz aller Einschränkungen dazu beitragen, Ereignisse besser zu charakterisieren und zu differenzieren. Das Überschreiten bestimmter Schwellenwerte wird auch teilweise für die Auslösung von Frühwarnsystemen verwendet (z. B. Niederschlagsintensitäten bei großen Rutschungen).

niger werden **emergente Strukturen** beachtet bzw. in die Untersuchungen mit einbezogen. Emergente Strukturen sind dadurch gekennzeichnet, dass sich mit dem Überschreiten eines Schwellenwerts oder Grenzwerts, der vorher bekannt oder (meistens!) unbekannt ist, das ganze bisher bekannte Systemverhalten verändert (Dikau 2006). Daraus resultiert, dass sich natürliche Systeme immer nur bis zu gewissen Grenzwerten „vorhersagbar“ verhalten, nach dem Überschreiten aber vollkommen neu und somit unberechenbar operieren.

Diese Nichtlinearität und Emergenz sei an einem Beispiel verdeutlicht. Angenommen in einem Einzugsgebiet liegen über mehrere Dekaden Messungen zu Abflüssen des Vorfluters und der Niederschlagsmengen vor. In klassischen Frequenz-Magnituden-Ansätzen wird der Zusammenhang zwischen Abfluss und Niederschlagsmenge analysiert. Die berechnete Beziehung dieser beiden Variablen wird dann auf größere Magnituden mit geringerer Frequenz extrapoliert. Falls jedoch ein extrem starkes und lang anhaltendes Niederschlagsereignis eintritt, kann dies zu einer massiven Bodenwassersättigung führen. Dadurch werden ganze Hangbereiche auch mit geringen Hangneigungen instabil und versagen, extrem große Sedimentmengen gelangen in den Vorfluter, verändern das Flussbett und die angrenzenden Auen innerhalb kürzester Zeit und beeinflussen somit das Fließverhalten nachhaltig. Es entsteht folglich eine vollkommen neue Situation, die über die Extrapolation der bisherigen Frequenz-Magnituden-Berechnung nicht vorausgesagt werden konnte, da sich das Systemverhalten komplett änderte. Diese Emergenz, die für die meisten natürlichen Systeme vermutet werden kann (Harrison 2001), erschwert die Verwendung des Frequenz-Magnituden-Ansatzes in der Naturgefahrenanalyse und Risikobetrachtung ungemein.

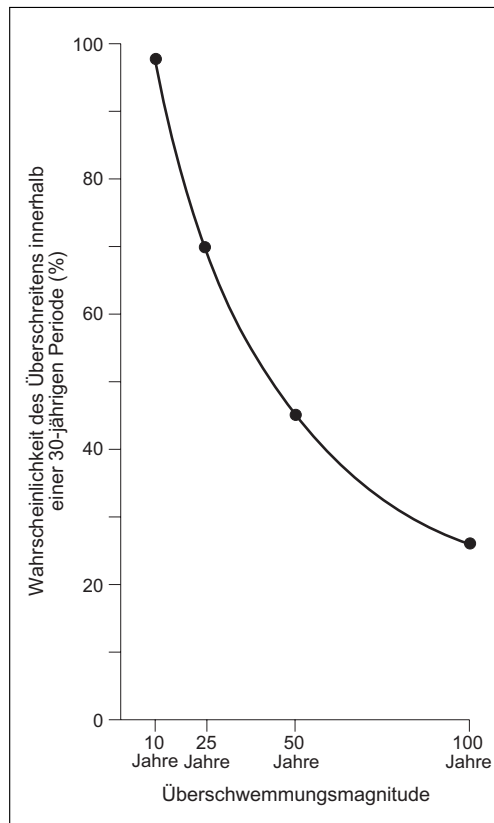
Innerhalb gewisser Systemgrenzen können Kenntnisse über **Schwellenwerte** in diesem Kontext trotzdem dazu beitragen, Gefahrenhinweise abzuleiten oder zu konkretisieren. Ein Forschungsansatz bei der Ermittlung des Risikos potenzieller gravitativer Massenbewegungen, verwendet beispielsweise bestimmte Hangneigungsklassen als Schwellenwert. Bei der Ermittlung von Gefahrenhinweisklassen werden die Grenzen von Hangneigungsklassen (Schwellenwerte) mit der Lithologie kombiniert, um damit indirekt die Sensitivität eines Systems zu bewerten (Dikau und Glade 2003).

Trotz dieser Einschränkungen tragen Frequenz-Magnituden-Konzepte zur Entwicklung bestimmter Werkzeuge im Bereich des Risikomanagements bei. Die Kenntnisse über Magnituden eines 5-jährigen,

10-jährigen, 25-jährigen oder 100-jährigen Hochwassers beeinflussen nachhaltig die erforderlichen ingenieurbaulichen Maßnahmen oder die Ausweisung von Gefahrenzonen (Glade 2005b).

Ebenso ist beispielsweise ein Hausbesitzer daran interessiert, welche Wahrscheinlichkeit besteht, dass während des Zeitraums seiner Hypothek von 30 Jahren ein Hochwasserereignis größerer Magnitude eintritt.

Wie aus Abbildung 9.3 hervorgeht, liegt die Wahrscheinlichkeit des Eintretens eines 100-jährigen Ereignisses bei rund 25 %. Dies hat auch weitreichende Konsequenzen was die Höhe von Versicherungspolicen anbelangt.



**Abb. 9.3** Die Auswirkungen von einer zunehmenden mittleren Verteilung extremer Ereignisse. Die Verlagerung zu einem höheren Wert (hoher Intensität) resultiert in einer zunehmenden Häufigkeit von Naturkatastrophen mit hoher Magnitude/Intensität und einer Abnahme von Ereignissen niedrigerer Intensität (nach Smith 2004).

## 9

### 9.3 Datengrundlage und Anwendbarkeit von Frequenz-Magnituden-Beziehungen

Wichtige Informationen zur Frequenz und Magnitude von hydrologischen, glaziologischen, geologischen und geomorphologischen Prozessen können durch eine Vielzahl von Quellen und Proxydaten gewonnen werden. Folgende **Methoden** und Modelle können dazu beitragen, genauere Kenntnisse über das Frequenz-Magnituden-Verhältnis zu erlangen:

#### Geomorphologische Kartierung

Hierbei sind Aussagen zur Größe, d. h. flächenhafte Ausdehnung, Mächtigkeit und/oder Volumina der Ablagerung oder des Abtrags eines Prozesses (z. B. Felssturz) und eine qualitative Differenzierung einzelner Ereignisse (z. B. anhand der Hochflutsedimente) mit einer Abschätzung des Aktivitätsgrades möglich.

#### Altersdatierung

Absolute ( $^{14}\text{C}$ , Dendrochronologie) und relative Datierungen (Sediment-, Biostratigraphie) tragen dazu bei, einzelne Ereignisse zeitlich zu differenzieren und Zeitreihen (Chronologien) aufzustellen. Das heißt stratigraphische (älter, gleich alt oder jünger) und chronometrische (messbare Zeitspanne in Jah-

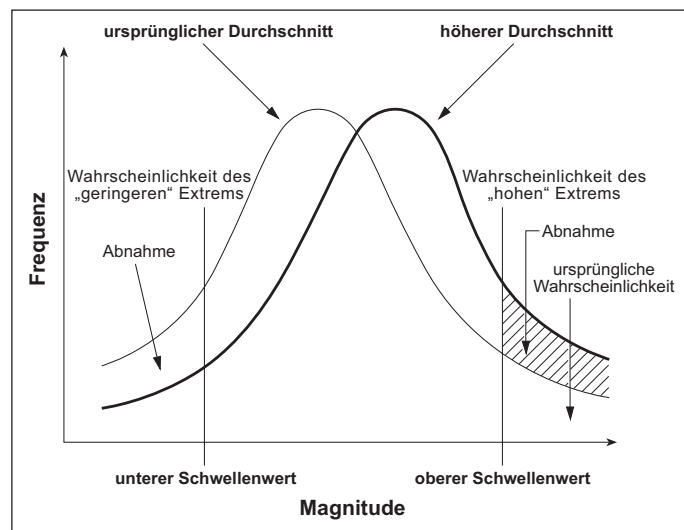
ren) Informationen sind notwendig, um die Zeitintervalle vergangener Ereignisse zu erhalten.

#### Modellierungen

In vielen Fällen liegen keine genauen oder nur ungenügende Informationen zu historischen oder älteren Ereignissen vor (Glaser und Stangl 2003). Doch selbst wenn eine gute Datenbasis vorliegt, ist eine einfache statistische Ableitung zu Wiederholungsintervallen äußerst fragwürdig oder gar unmöglich, denn Prozesse weisen häufig ein nicht lineares Muster auf und sind nur begrenzt in ihrem zukünftigen Verhalten abzuschätzen (Philips 2003). Erdbeben lassen sich beispielsweise bis heute nicht vorhersagen. Auf der Grundlage umfangreicher Datenbanken können nur besonders sensitive und „überfällige“ Regionen (z. B. San Andreas-Transformstörung) ausgewiesen werden. Trotz dieser Unsicherheiten können Modelle (empirisch-statistisch, statistisch oder physikalisch basierte) helfen, das Auftreten und das Ausmaß von bestimmten Prozessen (z. B. Murgang) abzuschätzen und bestimmte Entwicklungen zu simulieren. So werden bei vielen Szenarien zu gravitativen Massenbewegungen (z. B. Felssturz, Murgang) maximale Transportdistanzen berechnet und potenziell gefährdete Gebiete ausgewiesen. Eine wichtige Eingangsgröße bei den hierbei verwendeten physikalischen Modellen ist bei einem Murgang u. a. die maximale Größe der transportierten Blöcke.

Es sei nochmals betont, dass das Frequenz-Magnituden-Konzept mit den Parametern Häufigkeit oder Frequenz und Intensität oder Größe nur teil-

**Abb. 9.4** Die Wahrscheinlichkeit des Auftretens von Überschwemmungen unterschiedlicher Magnitude während einer Periode von 30 Jahren; dies entspricht der Zeitdauer einer Standardhypothek von Hauseigentum (nach Smith 2004).





**Abb. 9.5** In diesem Hochgebirgstal (Reintal, Bayerische Alpen) sind hochfrequente Ereignisse kleiner Intensität räumlich nebeneinander oder gar verzahnt mit Ereignissen großer Magnitude und geringer Frequenz zu beobachten. Nach jedem Starkregen verändert sich der Verlauf des Bachbetts und hinterlässt durch die hellere Färbung des transportierten Kalkgesteins deutliche Spuren. Die Gesteinsablagerung im Zentrum des Bildes ist dagegen das Ergebnis eines einzigen (niederfrequenten) Felssturzes mit entsprechend großer Magnitude bezüglich des Energie- und Massentransfers. Die Felssturzbilagerung wirkt als natürliche Barriere und veränderte nachhaltig die Systembedingungen (Foto: Lothar Schrott).

weise zur Erklärung von episodischen Prozessen herangezogen werden kann. Für Detailstudien solcher Prozesse bedarf es einer Ergänzung durch beeinflussende Parameter, wie auslösende oder beendende Grenzwerte bzw. Schwellenwerte, Dauer der Ereignisse, räumliche Ausdehnung sowie gegenseitigen Beeinflussungen (Crozier 1999, Abb. 9.5). Die Verlässlichkeit einer Frequenz-Magnituden-Beziehung ist folglich von anderen veränderlichen **Systemeigenschaften** abhängig und kann daher nicht als statisch angesehen werden (Philips 2003). Eine Änderung der Häufigkeit oder Magnitude eines Prozesses (Abb. 9.4) kann jedoch auch auf bestimmte Umweltveränderungen hindeuten (z. B. Erosionsanfälligkeit oder Stabilisierung eines Hangs durch menschliche oder externe Einflüsse). Hieraus resultieren komplexe Reaktionen, die eine genaue Berechnung von möglichen zukünftigen Ereignissen auf Basis einer Frequenz-Magnituden-Berechnung erschweren. Gerade deshalb gilt es in der Geomorphologie die Prozess-Magnituden-Zusammenhänge für unterschiedliche Zeiträume noch stärker zu analysieren. Denn diese Informationen sind gerade in der Naturgefahren- und Naturrisikoanalyse eine der zentralen Herausforderungen, die eine übergeordnete gesellschaftliche Relevanz besitzen.

## Zusammenfassung

In den Geowissenschaften ist das Frequenz-Magnituden-Konzept seit den 1960er-Jahren etabliert und wird häufig zur Klärung von Prozessmustern und Veränderungen von Reliefformen herangezogen. In den letzten Jahren wird dieser Ansatz auch speziell in der Naturgefahrenforschung angewandt, weil besonders bei der Gefahrenbeurteilung diese beiden Variablen von grundlegender Bedeutung sind. Bei der Differenzierung der Naturgefahrenklassen werden neben der räumlichen Ausdehnung, Geschwindigkeit und Dauer der betrachteten Naturgefahr auch die Frequenz (Wiederkehrintervall) und Magnitude (Intensität) mit einbezogen. Gemessene Intensitäten, wie Windgeschwindigkeiten, Erdbebenstärke oder Hochwassermarken sind jedoch ohne Einbezug weiterer Faktoren und Bedingungen nur eingeschränkt für die Risikoanalyse verwertbar, weil identische oder ähnliche Intensitäten eines Ereignisses auf sehr unterschiedliche Resilienzen in der Landschaft oder auf veränderte Verwundbarkeiten in der Gesellschaft treffen und somit ein andersartiges Risiko ergeben. Erkenntnisse über die

## 9

Frequenz und Magnitude von Ereignissen tragen dazu bei, Prozesse genauer einzuschätzen und zu bewerten. Damit kann ein besser abgestimmtes Risikomanagement erfolgen. Trotz vielfach nicht linearer Prozesse in der Natur kann dieser Ansatz besonders in Kombination mit Schwellenwerten und unter Berücksichtigung von Systemveränderungen wertvolle Dienste leisten.

**Schlüsselsätze**

In der Gefahrenanalyse kommt der Intensität oder Magnitude und der Häufigkeit bzw. Eintretenswahrscheinlichkeit eines gefährlichen Prozesses eine besondere Bedeutung zu, weil die Gefahr, d. h. ein potenziell schadenbringendes Ereignis, mit steigender Wiederkehrhäufigkeit und Intensität zunimmt.

Eine Vielzahl von Quellen, Proxydaten und Methoden (z. B. Kartierung, Altersdatierungen, statistische Verfahren) können dazu beitragen, Informationen zur Frequenz und Magnitude von geologischen, geomorphologischen, hydrologischen oder meteorologischen Ereignissen abzuleiten.

Kenntnisse über Magnituden eines 5-jährigen, 10-jährigen oder 100-jährigen natürlichen Prozesses (z. B. Hochwasser, Felssturz) sind eine wichtige Voraussetzung, um nachhaltige und erforderliche ingenieurbauliche Maßnahmen oder die Ausweisung von Gefahrenzonen durchzuführen.

Naturereignisse oder Naturgefahren mit ähnlichen Frequenz-Magnituden-Beziehungen können auf völlig unterschiedliche gesellschaftliche Resilienzen oder Pufferungskapazitäten treffen und ergeben somit auch ein verändertes Risiko.

**Literatur**

- Crozier MJ, Mäusbacher R (Hrsg) (1999) Magnitude and frequency in Geomorphology. *Zeitschrift für Geomorphologie* Suppl.-Bd. 115. Gebrüder Bornträger, Berlin, Stuttgart
- Crozier MJ (1999) The frequency and magnitude of geomorphic processes and landform behaviour. *Zeitschrift für Geomorphologie* Suppl.-Bd. 115: 35–50
- Dikau R (2004) Die Bewertung von Naturgefahren als Aufgabenfeld der Angewandten Geomorphologie. *Zeitschrift für Geomorphologie* N.F. Suppl.-Bd. 136: 179–191
- Dikau R (2006) Nichtlineare Systeme. In: Gebhardt H, Glaser R, Radtke U, Reuber P (Hrsg) *Geographie*, Elsevier, Heidelberg
- Dikau R, Glade T (2003) Gefahren und Risiken durch Massenbewegungen. *Geographische Rundschau* 54(1): 38–45
- Dikau R, Weichselgartner J (2006) Der unruhige Planet. Der Mensch und die Naturgewalten. Wissenschaftliche Verlagsgesellschaft, Darmstadt
- Gares PA, Sherman DJ, Nordstrom KF (1994) Geomorphology and natural hazards. *Geomorphology* 10: 1–18
- Glade T (2005a) Stand, Aufgaben und Probleme der Naturrisikoforschung aus physisch-geographischer Sicht. In: Wardenga U, Müller-Mahn D (Hrsg) *Möglichkeiten und Grenzen integrativer Forschungsansätze in Physischer Geographie und Humangeographie*. forum ifl. Leibniz-Institut für Länderkunde, Leipzig. 79–90
- Glade T (2005b) Herausforderungen bei der Abgrenzung von Gefährdungsstufen und der Festlegung gefährdeter Zonen von Naturgefahren, 55. Deutscher Geographentag. Deutsche Gesellschaft für Geographie, Trier. 453–462
- Glade T (2006) Die Modellierung von Naturgefahren. In: Dikau R, Moldenhauer KM, Bedehäsing J (Hrsg) *Die Erdoberfläche – Lebens- und Gestaltungsraum des Menschen*. *Zeitschrift für Geomorphologie* Suppl.-Bd. 148: 90–94
- Glaser PH, Stangl H (2003) Historical floods in the Dutch Rhine Delta. *Natural Hazard and Earth System Science* 3: 605–613
- Harrison S (2001) On reductionism and emergence in geomorphology. *Transactions of the Institute of British Geographers* 26(3): 327–339
- Hufschmidt G, Crozier MJ (2007) Evolution of natural risk: Analysing changing landslide hazard in Wellington, Aotearoa/New Zealand. In: Glade T, Diez A (Hrsg) *Natural disasters in geomorphology* *Natural Hazards* (Spec. vol., in press)
- Hufschmidt G, Crozier M, Glade T (2005) Evolution of natural risk: research framework and perspectives. *Natural Hazards and Earth System Sciences* 5: 375–387.
- Phillips JD (2003) Sources of nonlinearity and complexity in geomorphic systems. *Progress in Physical Geography* 27(1): 1–23
- Schumm SA (1973) Geomorphic thresholds and complex response of drainage systems. In: Morisawa (Hrsg) *Fluvial geomorphology*, Binghamton, New York. 299–309
- Schulte A (2007) Schwellenwerte in der Geomorphologie. *Zeitschrift f. Geomorphologie* Suppl.-Bd. 148: 71–77
- Smith K (2004) *Environmental hazards. Assessing risk and reducing disaster* (4. Ausgabe). Routledge, London
- Wolman MG, Miller JP (1960) Magnitude and frequency of forces on geomorphic processes. *Journal of Geology* 68(1): 54–74