

## **GEOMORPHODYNAMISCHE PROZESSE IM ÖSTLICHEN ZENTRAL-HIMALAYA – AUSWIRKUNGEN VON LANDNUTZUNG UND BODENEROSION AUF DIE VORGELAGERTEN TIEFEBENEN?**

Johannes B. RIES, Freiburg i. Breisgau\*

mit 2 Abb., 5 Tab. im Text und einer losen Kartenbeilage

### **INHALT**

1.	Bodenerosion in Bamti/Bhandar/Surma im östlichen Zentral-Himalaya.....	187
2.	Landnutzungsentwicklung.....	191
3.	Suspensionsfrachtmessungen in den Kleineinzugsgebieten.....	194
4.	Geomorphodynamische Kartierung.....	195
5.	'Human Impact' und Auswirkungen auf die vorgelagerte Tiefebene.....	197
6.	Ergebnisse.....	198
7.	Zusammenfassung.....	200
8.	Summary.....	201
9.	Literaturverzeichnis.....	201

### **1. Bodenerosion in Bamti/Bhandar/Surma im östlichen Zentral-Himalaya**

Natürliche Erosions- und Akkumulationsraten sind im Himalaya und seinen vorgelagerten Tiefebenen aufgrund der tektonischen Hebungsprozesse des jungen Faltengebirgsgürtels mit Hebungsraten von 0,5 bis 1,0 cm pro Jahr und seiner starken fluvialen Zerschneidung sehr hoch. Instabilität der Hänge und durch sie ermöglichte spontane Massenbewegungen wie Hangrutsche, Fels- und Bergstür-

\* Dr. Johannes B. Ries, Institut für Physische Geographie der Albert-Ludwigs-Universität,  
D-79085 Freiburg i. Breisgau, Werderring 4

ze, aber auch starke Tiefen- und Seitenerosion durch Hangunterschneidung in den Flüssen sowie Sedimentation des transportierten Materials in Becken und den vorgelagerten Tiefebene sind die Folge.

Zu diesem natürlichen Erosionsgeschehen kommt in Nepal ein Anteil der vom Menschen und seiner wirtschaftenden Tätigkeit ausgelösten (*man made*) Erosion, verursacht durch Entwaldung, ackerbauliche Nutzung und Überweidung. Immer wieder wurde behauptet, daß es sich hier um ein einfaches Ursachen-Wirkungs-Gefüge handelt: Bevölkerungswachstum in den Bergen während der vergangenen 30 Jahre führe zu unkontrollierter Abholzung der ohnehin geringen Waldbedeckung und zu einer Ausdehnung der agrarisch und weidewirtschaftlich genutzten Flächen in immer höhere und steilere Bereiche. Der Bedarf an Futter, Brenn- und Bauholz erzwingt eine fortwährende Degradation der Restbestände an Wald. Die Folge ist eine zunehmende Erosion auf den genutzten Flächen durch erhöhten Oberflächenabfluß; entsprechend groß ist die Suspensionsfracht in den Flüssen und die Gefahr erhöhter Spitzenabflüsse durch ein vermindertes Retentionsvermögen der Flächen.

Degradation und Erosion im Hochgebirge, Akkumulation und Flutkatastrophen in den vorgelagerten Tiefebene – so läßt sich verkürzt das von vielen, vorwiegend indischen Wissenschaftlern postulierte und von Politikern und Journalisten gerne übernommene Szenario der Umweltkrise im und um den Himalaya skizzieren.

Um den Einfluß der Nutzung auf das Erosions- und Oberflächenabflußgeschehen in der Hochgebirgsregion abschätzen zu können, wurde das Testgebiet *Bamti/Bhandari/Surma* im Hochgebirgstiel des Ramechhap Distriktes in drei Zonen unterschiedlicher Nutzungsintensitäten geteilt:

1. *Bamti-Zone*, die Zone mit hohem Nutzungsdruck aufgrund hoher Bevölkerungsdichte und großem Bevölkerungswachstum mit Dauerfeldbauflächen mit Mais und Mais-Hirse-Kombinationen auf Regenfeldterrassen, dem *bari*-Land.
2. *Bhandar-Zone*, die Zone mit mäßigem Nutzungsdruck durch niedrige Bevölkerungsdichte bei niedrigem Bevölkerungswachstum mit Feld-Weide-Wechselwirtschaftsflächen im wesentlichen mit Kartoffelanbau im *bukma-farming* System.
3. *Surma-Zone*, die Zone mit sehr niedrigem Nutzungsdruck, die unbewohnt und bewaldet ist.

Das Erosionsgeschehen wurde auf drei unterschiedlichen Ebenen erfaßt: Mit Testplots wurden über zwei Monsunzeiten tägliche Erosions- und Oberflächenabflußraten unter neun verschiedenen Landnutzungen bzw. Waldarten erfaßt. Alle Testplots lagen in geschlossenen, für Relief und Exposition typischen und seit Jahren bearbeiteten Beständen. Die Bodenbearbeitungsschritte wurden von den Bauern wie auf dem umliegenden Feld durchgeführt (geomorphologische Meßebene).

Mittels Abfluß- und Suspensionskonzentrationsmessungen in den Vorflutern von drei Kleineinzugsgebieten in den drei Zonen kann die Suspensionsfracht und somit der Suspensionsfrachtverlust abgeschätzt werden (hydrologische Meßebene).

Die Kartierung der rezenten Geomorphodynamik stellt das Bindeglied zwischen den Testplot-Messungen und den Ergebnissen der hydrologischen Meßebene dar, sie gibt Einblick auf die Herkunft der Suspensionsfracht.

Die Feld-Weide-Wechselnflächen erbringen, so zeigen die Testplot-Messungen auf den *bukma*-Feldern mit einjährigem Kartoffelbau und vier- bis fünfjähriger Brache, die bei weitem höchsten Erosionsraten im Baujahr. Das meiste Bodenmaterial wird dabei von konvektiven Starkniederschlägen schon im Vor- und Frühmonsun in den Monaten April bis Juni infolge einer bearbeitungstechnisch bedingten fehlenden Vegetationsbedeckung in Abhängigkeit von der Splash-Wirkung abgespült und nicht zur Zeit der höchsten täglichen Niederschlagssummen im Haupt- und Spätmonsun, die auf den Feldern die höchsten Oberflächenabflußraten erzeugen, aber kaum mehr Erosion mit sich bringen. Die Gesamtraten der Testplots zeigen nachfolgende Größenordnungen (vgl. Tab. 1).

Die *bukma*-Plots kommen im Schnitt auf  $13 \text{ t ha}^{-1}\text{a}^{-1}$  im Bau- und  $5 \text{ t ha}^{-1}\text{a}^{-1}$  im ersten Brachejahr. Alle anderen Regenfeldfrüchte zeigen Erosionsraten unter  $10 \text{ t ha}^{-1}\text{a}^{-1}$ , bei Mais gibt es sehr große Unterschiede: Hier sind der Terrassierungsgrad und die eingebrachte Unterfrucht Fingerhirse die erosionssteuernden Faktoren. Weideflächen, Weizen und Wald weisen Größenordnungen von nur  $1,5 \text{ t ha}^{-1}\text{a}^{-1}$ .

Vergleichbar ist die Situation beim Oberflächenabfluß, der in Prozentwerten vom Testplot-Niederschlag (dem tatsächlich auf dem Testplot niedergegangenen Niederschlag) angegeben ist. Die *bukma*-Flächen zeigen sehr hohe Werte: Mit 21% im Baujahr und 25% im ersten Brachejahr kommen hier gewaltige Wassermengen zum Abfluß. Auf den Dauerfeldbauflächen sind Prozentwerte deutlich kleiner. Wesentlich höher ist der Anteil des Oberflächenabflusses beim aufgeforsteten Feuerholzwald mit 13% gegenüber 3,2% unter natürlichem Wald. Hier werden der wirkungsvollere Interzeptionsverlust des natürlichen Kronendaches, die Infiltrationskapazität und das Retentionsvermögen humusreicher, ungestörter Ah-Horizonte einerseits und die Waldweideeinflüsse unter dem Feuerholzwald andererseits wirksam.

Die Erosions- und Oberflächenraten aller Testplots dokumentieren, daß die extensive Feld-Weide-Wechselwirtschaft mit dem Kartoffelanbau im *bukma*-farming System im Baujahr und ersten Brachejahr größte Erosions- und Oberflächenabflußraten erbringt. Die intensiv genutzten Dauerfeldbauflächen (*bari*-Land) haben geringeren Anteil am Erosions- und Abflußgeschehen. Der Landnutzung mit den jeweiligen Bearbeitungsschritten kommt daher bei der Beurteilung des

<b>Landnutzung Testplot (Größe, Neigung)</b>	<b>Zone</b>	<b>Erosion [t ha<sup>-1</sup>a<sup>-1</sup>]</b>	<b>Oberflächenabfluß des Testplot- Niederschlages [in %]</b>
<i>Bukma</i> (Kartoffeln in Feld-Weide- Wechselwirtschaft im Baujahr TP 1a (14 m <sup>2</sup> , 11°) TP 1b (28 m <sup>2</sup> , 11°) TP 8 (14 m <sup>2</sup> , 22°)	<i>Bhandar</i>	13	21
<i>Bukma</i> (Feld-Weide-Wechsel- wirtschaft) im 1. Brachejahr TP 1a (14 m <sup>2</sup> , 11°) TP 1b (14 m <sup>2</sup> , 11°)	<i>Bhandar</i>	5	25
Weide TP 3 (28 m <sup>2</sup> , 17,5°)	<i>Bhandar</i>	0,5	15
Mais TP 4 (14 m <sup>2</sup> , 13,5°) TP 7 (14 m <sup>2</sup> , 6°)	<i>Bhandar</i>	9 1,0	11 < 3
Fingerhirse unter Mais TP 5 (14 m <sup>2</sup> , 9°)	<i>Bamti</i>	3	11
Weizen TP 4 (14 m <sup>2</sup> , 13,5°)	<i>Bhandar</i>	0,2	< 1
Feuerholzwald TP 2 (14 m <sup>2</sup> , 27°)	<i>Bhandar</i>	1,5	13
Naturnaher Wald TP 9 (14 m <sup>2</sup> , 38,5°)	<i>Surma</i>	1,4	3,2

Tab. 1: Bodenerosionsraten ermittelt aus Testplot-Messungen in Testgebiet *Bamti/Bhandar/Surma* während der Monsunmonate April bis September 1990 und 1991

Erosions- und Oberflächenabflußgeschehens eine zentrale Rolle zu. Ihre Entwicklung über die vergangenen Jahrzehnte läßt damit direkte Rückschlüsse auf die Entwicklung der geomorphodynamischen Prozesse in dem selben Zeitraum zu.

Im Vergleich mit Erosionsraten aus der *Middle Mountain Region* sind die gemessenen in *Bamti/Bhandar/Surma* deutlich geringer: Dort werden insbesondere für Wald und Weideland 5- bis 40mal höhere Werte angegeben. Aber auch die Erosionsraten für *bari*-Land liegen erheblich höher (vgl. Tab. 2).

Land- nutzung	LABAN 1978 (versch. Ein- zugsgebiete) [t ha <sup>-1</sup> a <sup>-1</sup> ]	IMPAT 1979 (Pehwa-Waters.) [t ha <sup>-1</sup> a <sup>-1</sup> ]	CARSON 1985 [t ha <sup>-1</sup> a <sup>-1</sup> ]	PAKHTRIBAS AGRICULTURE CENTRE 1990 [t ha <sup>-1</sup> a <sup>-1</sup> ]	MASKEY & JOSHY 1991 [t ha <sup>-1</sup> a <sup>-1</sup> ]
Wald	5 - 10	5,2	0 - 5	-	-
Weide	40 - 200	30,2	20 - 100	-	-
<i>bari</i> -Land (good Cond.)	5 - 15	17,4	5 - 7	33 - 37	14
<i>bari</i> -Land (bad Cond.)	20 - 200	-	20	-	-

Tab. 2: Erosionsraten aus der *Middle Mountain Region* ermittelt von LABAN (1978 in CARSON 1985, S. 6), IMPAT (1979, S. 27 in LAUTERBURG 1985, S. 26), CARSON (1985, S. 7, S. 28, 1992, S. 26), SHERCHAN, GURUNG & CHAND (1991, S. 83 ff) und MASKEY & JOSHY (1991, S. 107 f.)

## 2. Landnutzungsentwicklung

Die Landnutzungsentwicklung gilt weltweit als sicherer Indikator des menschlichen Einflusses. Ihre Dynamik ist somit ein Schlüsselprozeß für die Bewertung des aktuellen und zukünftigen geomorphodynamischen Geschehens:

Im Testgebiet zeigt sich ausgehend von dem Vergleich des Landnutzungsgefüges im August 1965 (LIMBERG 1982, Beilage 4) und der vom August 1991 (RIES 1994, Karte 2) für beide Zonen ein entsprechend der Bevölkerungsentwicklung differenziertes Bild:

In *Bamti* nahm die intensivste Feldfrucht, der Naßreis, im unteren Teil des Kartierungsgebietes stark zu, große zusammenhängende Waldstücke lösten sich hier auf. In den höheren Lagen dagegen dehnten sich der Wald und Buschland auf Kosten von Feld-Weide-Wechselland aus.

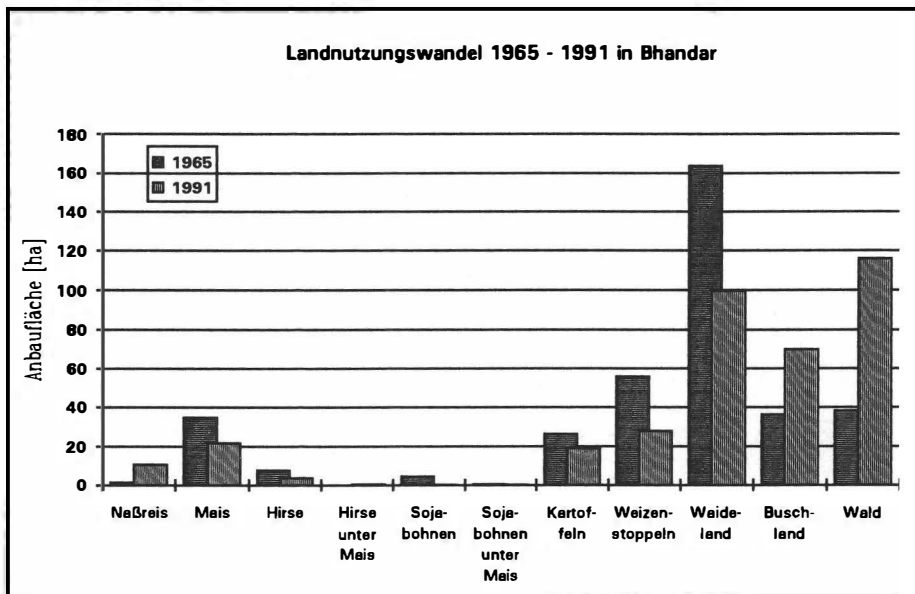


Abb. 1: Mit GIS-Analyse (PC-Arc/Info) berechneter Landnutzungswandel 1965 bis 1991 in *Bhandar* auf der Grundlage der Landnutzungskartierungen vom August 1965 (LIMBERG 1982, Beilage 4) und August 1991 (RIES 1994, Karte 2)

In *Bhandar* springt die starke Zunahme von Wald und Buschland ins Auge. Dagegen gehen Mais, Fingerhirse, Sojabohnen, Weizen und damit alle *bari*-Früchte zurück. Auch Kartoffeln (*bukma*) und besonders das Feld-Weide-Wechselland gehen stark zurück (vgl. Abb. 1).

Für die quantitative Auswertung der Landnutzungsdynamik wurden die 17 kartierten Landnutzungen in fünf Klassen zusammengefaßt. Die Klasse

- 1 umfaßt Wald, degradierten Wald und Aufforstungsflächen,
- 2 Buschland und Feld-Busch-Wechselland,
- 3 Weide und Feld-Weide-Wechselland, inkl. *bukma*,
- 4 *bari*-Land, die Ackerfrüchte der Trockenterrassen und
- 5 *khet*-Land, die nivellierten Bewässerungsterrassen für den Reisbau

Jede Landnutzungsklasse der Landnutzungskarte von 1991 wurde nun mit der Landnutzungskarte von 1965 mittels PC-Arc/Info verschnitten und die Flächenanteile der Veränderungen berechnet. In einem Klassendiagramm ist die Landnutzungsdynamik von 1965/1991 für den Kartenausschnitt der Feldflur *Bhandar* dargestellt (vgl. Abb. 2).

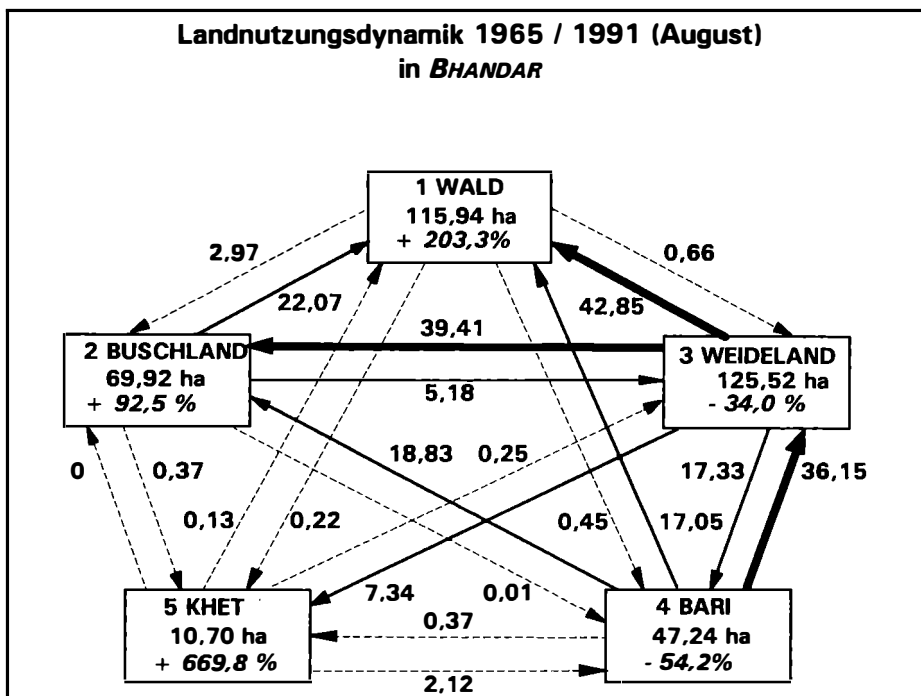


Abb. 2: Die Landnutzungsdynamik in *Bhandar* von 1965/1991

Die kursiv gestellten Zahlen geben Zu- bzw. Abnahme in Prozent gegenüber dem Stand von 1965 wieder, alle gerade gestellten Zahlen sind absolute Hektarbeträge. Die Pfeilrichtung zeigt Flächenanteil von... nach..., die Pfeilstärke gibt die quantitative Bedeutung der Entwicklung an. Dabei gibt eine Pfeilrichtung von einer niederen Klasse zu einer höheren eine Entwicklungsart der Intensivierung und in umgekehrter Richtung einer Extensivierung an

Die Landnutzungsdynamik in *Bhandar* zeigt drei Haupttrends, die alle Extensivierungsprozesse repräsentieren:

von Weideland	nach Wald
von Weideland	nach Buschland
von <i>bari</i> -Land	nach Weideland

Diese starke Zunahme des Waldes geht vor allem auf Kosten des Weidelandes. Mit 42,85 ha macht diese Veränderungsrichtung mehr als die Hälfte des Waldzuwachses aus. Hier wirkt sich besonders die Auflassung weiter Teile des Feld-Weide-Wechsellandes in den oberen Teilen des Kartierungsgebietes ab etwa 2.300 m NN aus. Dieser Trend steht im Widerspruch zu der anfangs dargestellten allgemeinen Entwaldungs-Hypothese. Nur 4,3 ha Wald wurden gerodet und in andere Landnutzungen überführt, was der allgemeinen Entwaldungs-Hypothese

entsprechen würde. Auch für das *bari*-Land gilt, daß die Reduzierung um 54% fast ausschließlich zu Gunsten der Klassen Weideland, Buschland und Wald stattgefunden hat.

Trotz eines Bevölkerungszuwachses von 20,2% (1965 bis 1991) muß damit für das *Bamti/Bhandar*-Testgebiet die Grundannahme, nämlich zunehmender Druck auf die Waldflächen und Ausweitung der agrarischen Nutzflächen entschieden abgelehnt werden! Im Gegenteil kann festgehalten werden: Es gibt 1991 mehr Wald und mehr Buschland als 26 Jahre zuvor und weniger *bari*- und Weideland, deren Verlustflächen in die anderen Klassen überführt wurden. Eine klare Intensivierung ist lediglich bei der Ausdehnung der *khet*-Landfläche zu verzeichnen, die sich in *Bamti* knapp verfünffachte und in *Bhandar* verachtachte. Für eine weitere Ausdehnung des Reislandes bis an die absolute Reisbau-Obergrenze sprechen Informationen der Bauern in *Bamti* und *Bhandar*. Es gibt derzeit (1991) keine Hinweise, daß die beobachtete Landnutzungsdynamik auch unter den anderen vier Klassen nicht in ähnlicher als der beobachteten Weise zukünftig fortschreiten wird.

Für das Erosions- und Oberflächenabflußgeschehen läßt die Zunahme an Wald eine starke Reduzierung der Bodenerosion im gesamten Testgebiet während der vergangenen 26 Jahre annehmen und für die Zukunft vermuten. Die Landnutzungen mit hohen Erosionsraten, vor allem die *bukma*-Flächen, haben abgenommen und werden sich auch weiterhin verringern. Weit weniger günstig sieht die Entwicklung beim Oberflächenabfluß aus: Zwar dürfte die Verminderung des Feld-Weide-Wechsellandanteiles für die Reduktion bei den Oberflächenabflüssen gesorgt haben, aber in einem viel kleineren Ausmaß als bei der Erosion, da aufgeforstete Waldflächen im Testgebiet ein bei weitem geringeres Retentionsvermögen haben als natürliche Bestände.

### 3. Suspensionsfrachtmessungen in den Kleineinzugsgebieten

Die Landnutzungskartierung ermöglicht aber auch den Versuch einer Übertragung von gemessenen Erosions- und Oberflächenabflußraten der Testplots auf die Fläche der Einzugsgebiete, indem der jeweilige Flächenanteil einer Landnutzung mit der erfaßten Erosionsrate multipliziert wird. Obwohl eine solche Übertragung eines der grundsätzlichen Probleme der Erosionsforschung darstellt – im allgemeinen muß dabei von einer Überschätzung der Gesamterosionsrate ausgegangen werden, da bei den kleinen Flächeneinheiten der Testplots vergleichsweise hohe  $t \text{ ha}^{-1} \text{ a}^{-1}$ -Beträge ermittelt werden –, kann eine Gegenüberstellung zu den Suspensionsfrachtverlusten der Kleineinzugsgebiete Hinweise auf das Ausmaß von flächenhaften Abtragungsvorgängen einerseits und Seiten- und Tiefenerosion in den Gerinnen andererseits geben (vgl. Tab. 3).



<b>Einzugsgebiet</b>	<b>Größe</b> ha	<b>Zone</b>	<b>Gesamterosionsrate (berechnet)</b> [t ha <sup>-1</sup> a <sup>-1</sup> ]	<b>Suspensionsfrachtverlust</b> [t ha <sup>-1</sup> a <sup>-1</sup> ]
<i>Bamti Khola</i>	7,7	<i>Bamti</i>	5,0	13,3
<i>Chhukarpo Khola</i> (Middle Station)	270	<i>Bhandar</i>	2,54	7,5
<i>Surma Khola</i>	571	<i>Surma</i>	1,4	2,1

Tab. 3: Vergleich der aus Erosionsraten der Testplots und Landnutzungsflächenanteilen berechneten Gesamterosionsrate und des Suspensionsfrachtverlustes in den *Bamti*, *Chhukarpo* und *Surma Khola*-Einzugsgebieten

Während die Reihenfolge der Einzugsgebiete bei beiden Raten der nach dem Nutzungsdruck erwarteten entspricht, fallen sofort die um bis zu 200% größeren Suspensionsfrachtverluste ins Auge. Dies überrascht bei so kleinen Einzugsgebieten und muß als Beleg für eine sehr große Bedeutung des linienhaften Erosionsgeschehens an und in den Gerinnen und spontaner Massenbewegungen für die Suspensionskonzentration und damit für Suspensionsfrachtverlust gewertet werden. Die Kartierung der rezenten Geomorphodynamik kann Auskunft über die Herkunft der Suspensionsfracht in den Gerinnen geben.

#### 4. Geomorphodynamische Kartierung

Aufgenommen wurde eine Vielzahl von Formenelementen aus den Bereichen Erosion und Akkumulation auf den Flächen und in den Gerinnen. Die Informationsschichtung der Karte besteht aus drei Ebenen. Sie folgt im wesentlichen der von KIENHOLZ, HAFNER, SCHNEIDER und TAMRAKAR (1983) für Nepal vorgeschlagenen Klassifizierung:

- |                                |         |
|--------------------------------|---------|
| 1. Hydrographie in             | blau    |
| 2. Erosion/Ablagerung in       | rot     |
| 3. <i>Man-made</i> Elemente in | schwarz |

Jede Informationsebene gliedert sich in weitere Untergruppen, in denen die Einzelelemente nach Prozessen sortiert aufgenommen sind.

So wurde zum Beispiel auf der Ebene 'Hydrographie' in der Untergruppe 'natürliche Gewässer' unterschieden in

- Bach, klein oder aus anderen Gründen nicht klassifizierbar
- Bach mit latenter Erosion
- Bach mit schwacher Erosion
- Bach mit starker Erosion
- Bach im Ausgleichszustand
- Bach mit starker Akkumulation und Umlagerung

In der Untergruppe 'künstliche Gewässer' wurde unterschieden in

- Bewässerungskanal
- Bewässerungskanal mit Erosion
- Bewässerungskanal mit Erosion infolge von Wasserverlust

Die Ebene 'Erosion und Ablagerung' gliedert sich in fünf Untergruppen:

1. Rillen- und *gully*-Erosion
2. Spontane Massenbewegungen an Bächen und an Hängen
3. Andere Formen der Erosion
4. Rutschungsablagerung
5. Andere Ablagerungsformen

In der Untergruppe 2 wurde wiederum nach 'Böschung, Rutsch oder Sturz verursacht durch Seiten- oder Tiefenerosion in Bächen oder an Hängen' spezifiziert und nach Substrat unterschieden:

- in verwittertem Festgestein
- in Schotter und Sanden
- in Mur- oder Hangrutschablagerungen
- im Boden

In der Untergruppe 3 wurde unterschieden in

- beschädigte *khet*-Landterrassen
- beschädigte *bari*-Landterrassen

Besonderes Augenmerk wurde auf die menschlichen Eingriffe gelegt:

*Man-made* Elemente, alle Prozesse und Konstruktionen, die direkt oder indirekt, zum Beispiel durch Weidevieh, vom Menschen hervorgerufen oder ausgelöst werden, sind Wege, eingetiefte Wege bis hin zur Hohlwegbildung, Viehtritte (Überweidungsschäden), die Anlage von Wall-Graben-Systemen als Schutz vor dem Weidevieh, Steinmauern und verschieden starke Terrassierung.

Die kartographische Aufnahme wurde von Juni bis September 1991 durchgeführt und stellt keine Zustandsbeschreibung zu einem bestimmten Zeitpunkt dar, sondern ist ein Sammelkatalog aller während der Monsunzeit aufgetretenen und kartierten Prozeßerscheinungen und deren Ergebnisse. Auftretende Schäden auf Feldern und an Terrassenkanten werden von den Bauern schnell repariert und sind Wochen später selbst für das geübte Auge nur schwer zu erkennen und

würden bei einer Aufnahme in der Trockenzeit, also vor und nach dem Monsun, wie bisher üblicherweise in Nepal kartiert wurde, fehlen. Es handelt sich somit um eine *kontinuierliche Kartierung*.

Ausgehend von den Erosions- und Ablagerungserscheinungen auf der Fläche fällt eine für die Hochgebirgslandschaft unerwartet geringe geomorphodynamische Prozeßaktivität und Prozeßdichte auf (rote Farbe). Selbst Starkregenereignisse mit mehr als 100 mm Tagessummen und sehr hohen Erosivitäts-Index-Werten lösten nur in geringem Umfang Rillen- und *gully*-Bildung aus. Der hohe Bedeckungsgrad einer gut ausgebildeten Vegetationsdecke in den Haupt- und Spätmonatsmonaten Juli, August und September müssen als Hauptgrund dafür angesehen werden. Dagegen konzentrieren sich Stürze und Rutsche entlang der größeren Vorfluter. Diese spontanen Massenbewegungen ereignen sich vorwiegend in den Monaten Juli bis September während und nach Hochwasserereignissen infolge großer Oberflächenabflüsse und beeinflussen den Suspensionsfrachttransport der Gerinne in hohem Maße.

## 5. 'Human Impact' und Auswirkungen auf die vorgelagerte Tiefebene

Der größte Einfluß des '*Human Impact*' ist im landschaftsprägenden Element der Terrassierung zu sehen, die, wie die Erosions- und Oberflächenabflußmessungen auf dem *bari*-Land nahelegen, einen auf Abfluß- und Sedimenthaushalt stabilisierenden Einfluß hat. Überraschend hoch dagegen ist die Anzahl der Terrassenabbrüche im *khet*-land in der *Bamti*-Zone. Zusammen mit den vielfältigen Arbeitsschritten im Bewässerungssystem und an den Terrassen dürften sie die Vorfluter mit Suspensionsfracht in erheblichem Umfang belasten und machen ständige Pflege- und Reparaturarbeiten des Terrassensystems, besonders während der Bewässerungsmonate, unabdingbar. Sie erklären somit auch den mit 13,3 t ha<sup>-1</sup>a<sup>-1</sup> hohen Suspensionsfrachtverlust der *Bamti*-Zone. Die allgemein verbreitete Meinung der 'Reisterrasse als Sedimentspeicher und Retentionsraum' muß damit für die Hochgebirgsregion bezweifelt werden.

Ein weiterer großer Einfluß des '*Human Impact*' ist im Bereich des hydrologischen Systems vorzufinden: Während die Arbeitsschritte der Bewässerungswirtschaft im *khet*-Land den Wasser- und Sedimenthaushalt wesentlich bestimmen, sind die extensiv genutzten Feld-Weide-Wechselndflächen als hauptverantwortlich für die hohen Oberflächenabflüsse anzusehen: Da mit 15 bis 25% vom Niederschlag gegenüber natürlichen Waldgebieten fünf- bis achtmal mehr zum Abfluß kommen, kann ein großer Teil der Rutsche und Stürze entlang der größeren Vorfluter als Folge zunehmender Einschneidung nach der Entwaldung und Überführung in Feld-Weide-Wechselnd interpretiert werden. Zu beachten bleibt aber, daß dieser Entwaldungsprozeß mit der Besiedlung vor mehr als 300 Jahren

begann und spätestens in den 50er Jahren dieses Jahrhunderts zum Abschluß gekommen ist. In den vergangenen 26 Jahren kam es dagegen zu Extensivierungserscheinungen in der Landnutzung mit einer Zunahme von Wald und Buschland.

Im regionalen Vergleich mit ähnlich großen Einzugsgebieten innerhalb der *Middle Mountain Region* sind die Gebietsverluste der untersuchten Einzugsgebiete in *Bamti/Bhandar/Surma* mit Suspensionsfrachtverlusten zwischen  $2,1 \text{ t ha}^{-1}\text{a}^{-1}$  und  $13,3 \text{ t ha}^{-1}\text{a}^{-1}$  als nur mäßig hoch einzustufen. Die von KANDEL (1978) untersuchten Einzugsgebiete weisen mit  $10,8$  bis  $46,1 \text{ t ha}^{-1}\text{a}^{-1}$  deutlich höhere Suspensionsfrachtverluste auf (vgl. Tab. 4).

Im überregionalen Vergleich mit den großen Vorflutern Sun Kosi, Sapta Kosi in Ost-Nepal, in die die untersuchten Flüsse über den Likhu Khola zum Ganges entwässern, läßt sich der Anteil der Flächen der *High Mountain Region*, wie sie in *Bamti/Bhandar/Surma* untersucht wurden, abschätzen (vgl. Tab. 5).

Die Suspensionsfrachtverluste der untersuchten Einzugsgebiete sind hier als gering einzustufen. Ihre Fracht kann daher nur einen in Relation zu ihrer Größe unwesentlichen Anteil an der Suspensionsfracht der großen Himalaya-Ströme haben.

## 6. Ergebnisse

- Die größten jährlichen Erosionsraten erbringen die extensiv genutzten *bukma*-Felder im Baujahr. Im ersten Brachejahr sind die Oberflächenabflußraten weit höher als auf allen anderen Testplots.
- Die gemessenen Erosionsraten auf den agrarisch genutzten Flächen (*bari*-Land) sind als gering bis mäßig, unter Wald und auf Weideland als sehr gering einzustufen.
- Im Vergleich zu den Erosionsraten der *Middle Mountain Region* liegen die Erosionsraten mit Werten bis zu maximal  $13 \text{ t ha}^{-1}\text{a}^{-1}$  auf den Testplots in *Bamti/Bhandar/Surma* deutlich niedriger. Dort werden insbesondere für Wald und Weideland 5- bis 40mal höhere Werte angegeben!
- 1991 gab es im Testgebiet mehr Wald als 1965: Trotz des Bevölkerungswachstums nahm die agrarische Nutzfläche ab, insbesondere die Feld-Weide-Wechselandflächen, die mit ihren *bukma*-Anteil für die höchsten Erosions- und Oberflächenabflußraten im Testgebiet sorgen.
- Die geomorphodynamische Prozeßaktivität auf der Fläche ist gering. Sie konzentriert sich, wie die Kartierung zeigt, entlang der größeren Wasserläufe.
- Ein großer Teil der Suspensionsfracht stammt daher aus den Gerinnebetten, wo sich durch Hangunterschneidung bei Spitzenabflüssen Böschungsrutsche ereignen.

<b>Einzugsgebiet</b>	<b>Höhe, Exposition, Hangneigung, Terrassierung, Ausgangsgestein, Bodenart, Landnutzung, Anbaufrüchte</b>	<b>Einzugsgebietsgröße [ha]</b>	<b>Suspensionsfrachtverlust [t ha<sup>-1</sup>a<sup>-1</sup>]</b>
<i>Bamti Khola</i> ( <i>Bamti-Zone</i> )	1.935-2.098 m NN, NO, stark mitteltgeneigt, Terrassierung mit hohen Terrassenstufen, Quarzit, mittel schluffiger Sand, 12% Wald, 1% Buschland, 56% <i>bari</i> -Land (Mais-Hirse, Mais, Hirse), 31% <i>khet</i> -Land	7,7	13,3
<i>Chhukarpo Khola</i> ( <i>Bhandar-Zone</i> )	2.087-2.925 m NN S, O, N, mittel bis steiltgeneigt, teilweise Terrassierung mit niederen bis hohen Terrassenstufen, Phyllit, schwach sandiger Lehm bis stark toniger Schluff, 32% Wald, 19% Buschland, 36% Weideland, 13% <i>bari</i> -Land (Weizen, Mais, Hirse, Kartoffeln)	270	7,5
<i>Surma Khola</i> ( <i>Surma-Zone</i> )	2.060-3.410 m NN, SO, SW, steiltgeneigt, schwach lehmiger Sand, 90% Wald, 10% Weideland	571	2,1
Bagmati (Sundarizal)	1.600-2.500 m NN, S, mittel bis steile Berghänge, Granite, sandiger Lehm, 89% Wald, 11% kultiviert: Mais, Weizen	1.553	12,9
Nagmati (Sundarizal)	1.600-2.400 m NN, N, W, S, Hangneigung mittel bis steil (20°-30°), Granite und Migmatite, sandiger Lehm bis lehmiger Sand, 97% Wald, mäßige bis dichte Bedeckung	1.388	46,1
Bishnumati (Kathmandu-Tal)	1.400-1.800 m NN, Granite, sandiger Lehm, 49% dicht bewaldete Berghänge, 24% mittelsteilt geneigter degradierter Busch-Wald, 26% wenig intensiv kultiviertes Land (zu 50-85%): Mais, Weizen	614	10,8

Tab. 4: Vergleich der Suspensionsfrachtverluste in den Einzugsgebieten im Testgebiet *Bamti/Bhandar/Surma* während der Monsunmonate April bis September 1990 und 1991 mit Austragsraten der von KANDEL 1977 untersuchten Einzugsgebiete in der *Middle Mountain Region* und im *Kathmandu-Tal* (KANDEL 1978 in LAUTERBURG 1985, S. 30 f.) (vgl. S. 13)

<b>Einzugsgebiet</b>	<b>Einzugsgebietsgröße km<sup>2</sup></b>	<b>Suspensionsfrachtverlust [t ha<sup>-1</sup>a<sup>-1</sup>]</b>
Sun Kosi	18.985	21 - 45
Sapta Kosi	59.280	15 - 28
Ganges	1.076.000	13,5

Tab. 5: Suspensionsfrachtverluste der großen Flüsse Ost-Nepals und des Ganges nach WILLIAMS (1977), GOSWAMI (1985) und TEJWANI (1986)

- Die Auswirkungen des menschlichen Einflusses in der *High Mountain Region* sind daher primär über die Oberflächenabflußmengen auf die Abflußmenge und den Suspensionsfrachtverlust aus den Vorflutern zu sehen und nicht im Bereich Bodenerosion.
- Zu beachten bleibt aber: Die Suspensionsfrachten des Sun Kosi und des Sapta Kosi liegen erheblich über denen der bearbeiteten Flüsse. Der Anteil kleiner Einzugsgebiete der *High Mountain Region* ist daher als sehr gering einzuschätzen.

## 7. Zusammenfassung

Im Testgebiet *Bamti/Bhandar/Surma* in der *High Mountain Region* im östlichen Zentral-Himalaya wurden Bodenerosionsraten und Oberflächenabfluß auf Testplots erfaßt. Dabei zeigte sich die Landnutzung als entscheidender Faktor. Ihre Dynamik (1965/1991) ist somit wichtigster Indikator für das Bodenerosionsgeschehen während der vergangenen 26 Jahre und Hinweis für die zukünftige Entwicklung. Die Landnutzungsdynamik zeigt Extensivierungsprozesse. Mit Ausnahme der extensiven Feld-Weide-Wechselwirtschaft im Baujahr (*bukma*) sind die Erosionsraten überraschend gering. Hier sind auch die Oberflächenabflüsse sehr hoch.

Der Suspensionsfrachtverlust von drei Kleineinzugsgebieten unterschiedlicher Nutzungsintensitäten wurde mittels Abfluß- und Suspensionskonzentrationsmessungen bestimmt und liegt höher als die Bodenerosionsraten vermuten lassen. Die Geomorphodynamische Karte von 1991 zeigt hohe Prozeßaktivität an den Gerinnen in Form von Rutschen und Stürzen durch Seiten- oder Tiefenerosion. Sie beeinflussen den Suspensionsfrachtverlust maßgeblich. Der hohe Oberflächenabfluß der Feld-Weide-Wechselwirtschaftsflächen kann als Ursache für diese Prozeßaktivität gelten.

Trotzdem sind die Suspensionsfrachtverluste der untersuchten Einzugsgebiete deutlich kleiner als die Raten aus der *Middle Mountain Region*, den großen Strömen Ost-Nepals und des Ganges. Die Suspensionsfracht kleiner Einzugsgebiete in der *High Mountain Region* mit vergleichbaren Bedingungen wie die der untersuchten, kann daher nur einen unwesentlichen Anteil an der Suspensionsfracht der großen Himalaya-Ströme haben.

## 8. Summary

### **Johannes B. Ries: Geomorphodynamic Processes in the Eastern Central Himalaya – Consequences of Land Use and Soil Erosion for the Lowlands?**

In the case study in the *Bamti/Bhandar/Surma High Mountain Region* in the Eastern Central Himalaya soil erosion and runoff rates on testplots were investigated. Land use is the dominant factor, and its dynamics (1965/1991) is the most important indicator for soil erosion over the past 26 years and for assessing future developments. It shows processes of extensification. There are surprisingly small rates of soil erosion to be observed in the areas in question, with the exception of the extensively used field-pasture shifting cultivation land (*bukma*) in the crop year, although the runoff is considerable.

The suspended sediment delivery of three small catchment areas with differ but intensity of land use was studied by means of discharge and suspended sediment concentration measurements: the amounts are larger than the soil erosion rates let assume. The Geomorphodynamic Map 1991 shows a high activity along the rivers, with slides and slumps caused by lateral corrasion or vertical cutting. They make the suspended sediment delivery increase significantly. This process is caused by high runoff rates on the field-pasture shifting cultivation land.

There is a marked difference between the small amounts of suspended sediment delivery of the small investigated catchment areas and of those in the *Middle Mountain Region*, of the large rivers of East Nepal and the Ganges. It is, therefore, to be concluded that the contribution of suspended sediment from small catchment areas of the *High Mountain Region* showing factors like, or similar to, the studied ones is very small indeed.

## 9. Literaturverzeichnis

CARSON B. (1985), Erosion and Sedimentation Processes in the Nepalese Himalaya. In: ICIMOD Occasional Paper, Nr. 1. Kathmandu. 39 S.

CARSON B. (1992), The Land, the farmer, and the future – a soil fertility management strategy for Nepal. In: ICIMOD Occasional Paper, Nr. 21. Kathmandu. 74 S.

- GOSWAMI D.C. (1985), Brahmaputra River, Assam, India: Physiography, basin denudation, and channel aggradation. In: *Water Resources Research*, 21, 7, S. 959-978.
- IMPAT P. (1979), Hydrometeorology and sediment data from Phewa Watershed. Kathmandu, UNDP/FAO/Depart. for Soil Conservation and Watershed Management, IWM Project WP 15. Kathmandu. 29 S.
- KANDEL G.P. (1978), Report on suspended sediments in the Kathmandu valley. Kathmandu, Depart. for Soil Conservation and Watershed Management, Jestha 2035. 15 S.
- KIENHOLZ H., HAFNER H., SCHNEIDER G., AMRAKAR R. (1983), Mountain hazards mapping in Nepal's Middle Mountains with maps of landuse and geomorphic damages (Kathmandu-Kakani Area). In: *Mountain Research and Development*, 3, 3, S. 195-220.
- LABAN P. (1978), Field measurements on erosion and sedimentation in Nepal. Kathmandu, UNDP/FAO/Depart. for Soil Conservation and Watershed Management, IWM Project WP 05. 30 S.
- LAUTERBURG A. (1985), Erosion und Sedimentation im Zentralen Himalaya (Nepal). Unveröff. Diplomarb., Geogr. Inst. d. Univ. Bern. 159 S.
- LIMBERG W. (1982), Untersuchungen über Besiedlung, Landbesitz und Feldbau in Solu-Khumbu (Mount Everest-Gebiet, Ost-Nepal). In: *Khumbu Himal (= Beitr. z. Sherpa-Forschung, Teil V, Bd. 12)*. Innsbruck. 154 S.
- MASKEY R.B., JOSHY D. (1991), Soil and nutrient losses under different soil management practices in the Middle Mountains of Central Nepal. In: SHAH P.B., SCHREIER H., BROWN S., RILEY K.W. (Hrsg.), *Soil Fertility and Erosion Issues in the Middle Mountains of Nepal, Workshop Proc., Jhikhu Khola Watershed, April 22-25, 1991*, S. 105-120. Integrated Survey Section, Topographical Survey Branch, Kathmandu, University of British Columbia, Vancouver, B.C., Canada, IDRC, Kathmandu, Vancouver, Ottawa.
- RIES J.B. (1991), Man made soil erosion and soil conservation in the High Mountain Region Eastern Himalayas: Case study in Bamti/Bhandar. In: SHAH P.B., SCHREIER H., BROWN S., RILEY K.W. (Hrsg.), *Soil Fertility and Erosion Issues in the Middle Mountains of Nepal, Workshop Proc., Jhikhu Khola Watershed, April 22-25, 1991*, S. 121-127. Integrated Survey Section, Topographical Survey Branch, Kathmandu, University of British Columbia, Vancouver, B.C., Canada, IDRC, Kathmandu, Vancouver, Ottawa.
- RIES J.B. (1994), Bodenerosion in der Hochgebirgsregion des östlichen Zentral-Himalaya untersucht am Beispiel Bamti/Bhandar/Surma, Nepal. In: *Freiburger Geogr. Hefte, Heft 42*. 397 S.
- SHERCHAN D.P., GURUNG G.B., CHAND S.P. (1991), A review of current soils related research activities at Pakhribas Agricultural Centre. In: SHAH P.B., SCHREIER H., BROWN S., RILEY K.W. (Hrsg.), *Soil Fertility and Erosion Issues in the Middle Mountains of Nepal, Workshop Proc., Jhikhu Khola Watershed, April 22-25, 1991*, S. 83-104. Integrated Survey Section, Topographical Survey Branch, Kathmandu, University of British Columbia, Vancouver, B.C., Canada, IDRC, Kathmandu, Vancouver, Ottawa.
- TEJWANI K.G. (1986), Sedimentation of reservoirs in the Himalayan Region and estimates of river load. In: Unpubl. Report prepared for Mohonk Mountain Conference, April 1986, Boulder, Colorado, Int. Mountain Society.
- WILLIAMS V. (1977), Neotectonic implications of the alluvial record in the Sapta Kosi drainage basin, Nepalese Himalayas. Ph.D. Thesis, Univ. of Washington.



P.S. 560.8  
137

30 48

51

52

27°35'N



Beilage zum Beitrag von J. B. Ries in MÖGG Bd. 137/1995

### Geomorphodynamik 1991 in BAMTI/BHANDAR, Ramechhap Distrikt, Nepal Geomorphodynamic 1991 in BAMTI/BHANDAR, Ramechhap District, Nepal

Johannes Ries

Geländeaufnahme: Juni - September 1991  
Fieldwork: June - September 1991

35

294 36

36

37

294 38

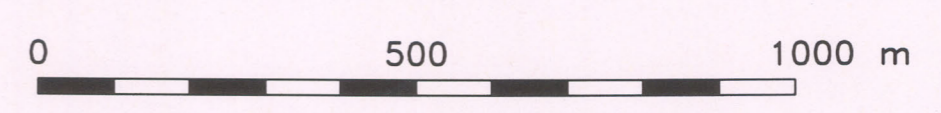
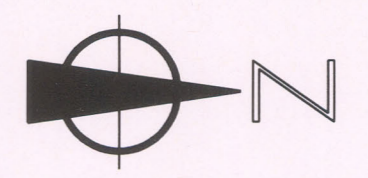
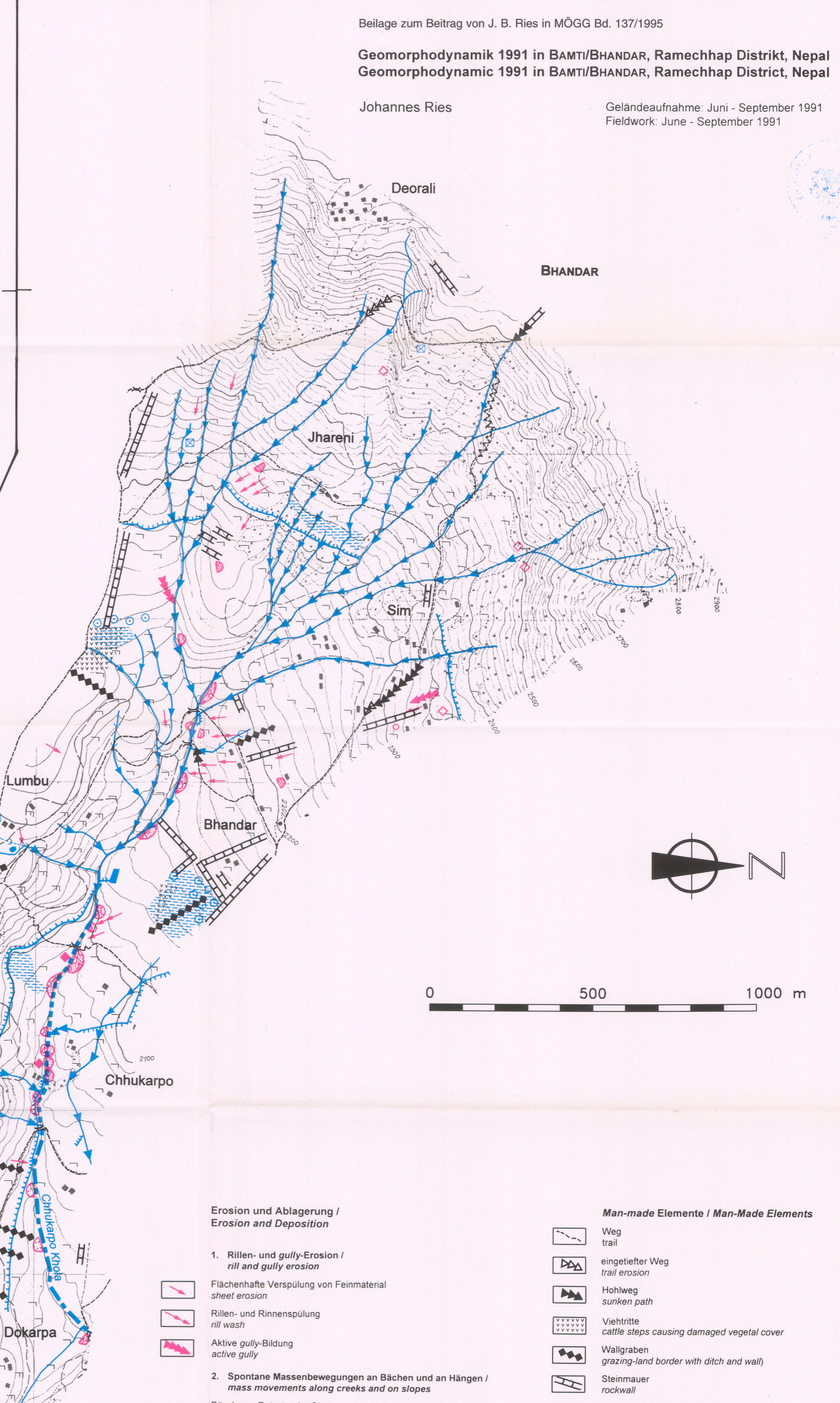
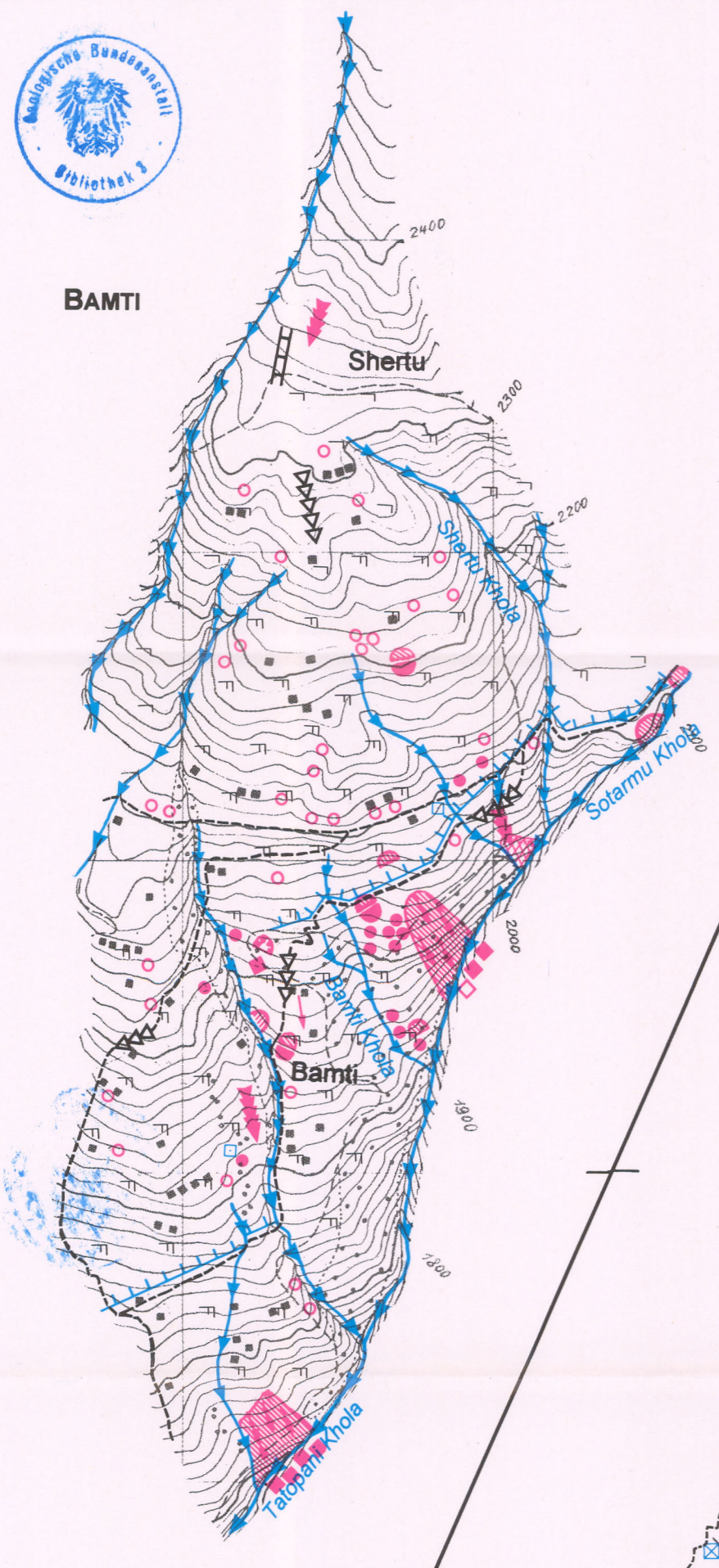
34

35

36

37

38



#### Hydrographie / Hydrography

##### 1. natürliche Gewässer / natural streams

- Bach, klein oder aus anderen Gründen nicht klassifizierbar  
bed small or for other reasons not classifiable
- Bach mit latenter Erosion  
bed with latent erosion
- Bach mit schwacher Erosion  
bed with erosion
- Bach mit starker Erosion  
bed with strong erosion
- Bach im Ausgleichszustand  
bed in balance
- Bach mit Akkumulation und Umlagerung  
bed with accumulation or rearrangements
- Tiefenlinie ohne perennierendes Gewässer im Gras  
grass-grown bed

##### 2. künstliche Gewässer / artificial streams

- Bewässerungskanal  
irrigation canal
- Bewässerungskanal mit Erosion  
irrigation canal causing recent erosion
- Bewässerungskanal mit Erosion infolge von Wasserverlust  
irrigation canal diverting water and causing erosion

##### 3. andere hydrographische Elemente / other hydrographic elements

- Quelle  
spring
- Brunnen  
well
- Reservoir  
reservoir
- Vernässungsstelle  
wet area
- Staubecken  
water storage basin

#### Erosion und Ablagerung / Erosion and Deposition

##### 1. Rillen- und gully-Erosion / rill and gully erosion

- Flächenhafte Verspülung von Feinmaterial  
sheet erosion
- Rillen- und Rinnenspülung  
rill wash
- Aktive gully-Bildung  
active gully

##### 2. Spontane Massenbewegungen an Bächen und an Hängen / mass movements along creeks and on slopes

- Böschung, Rutsch oder Sturz verursacht durch Seiten- oder Tiefenerosion  
scarp of a slide or a slump caused by lateral corrosion or vertical cutting
- in verwittertem Festgestein  
in weathered bedrock
- in Schotter und Sanden  
in alluvium
- in Mur- oder Hangrutschablagerungen  
cutting debris flow or rockfall
- im Boden  
in soil material

##### 3. Andere Formen der Erosion / other elements of erosion

- beschädigte khet- Landterrassen  
damaged irrigable terrace
- beschädigte bari- Landterrassen  
damaged non-irrigable terrace

##### 4. Rutschungsablagerung / depositions of slides

- Ablagerungen von Rutschen und Stürzen als kompakte Masse  
depositions of slides as a compact mass
- Ablagerungen von Rutschen und Stürzen als frische Geröllblöcke  
depositions of slides as fresh boulders
- Ablagerungen von Rutschen und Stürzen als teilweise überwachsene Geröllblöcke /  
depositions of slides as partially overgrown boulders

##### 5. Andere Ablagerungsformen / other elements of depositions

- Sedimentation oder Akkumulation von verspültem Material  
sedimentation or accumulation of fluviially eroded material

#### Man-made Elemente / Man-Made Elements

- Weg  
trail
- eingetieferter Weg  
trail erosion
- Hohlweg  
sunken path
- Viehtritte  
cattle steps causing damaged vegetal cover
- Wallgraben  
grazing-land border with ditch and wall
- Steinmauer  
rockwall
- Terrassierung mit niederen Terrassenstufen  
low terraces
- Terrassierung mit hohen Terrassenstufen  
high terraces