

In Nepal hat die Malerei von religiösen Motiven eine lange Tradition. Sogenannte thangka werden heutzutage größtenteils von zeitgenössischen Newar- und buddhistischen Tamang-Künstlern für Touristen im Kathmandu-Tal angefertigt. Das Motiv auf der Titelseite zeigt die Tempel und die heilige Schlucht von Pasupatinath, die der Bagmati durchfließt. Als Vorlage diente dem Künstler eine Photoaufnahme, die während der Inventur des Bagmati (Abschnitt Bag.13) entstand.

MORPHOLOGISCHE  
ZUSTANDSBESCHREIBUNG VON  
FLIEßGEWÄSSERN  
. . .  
UNTER BESONDERER  
BERÜCKSICHTIGUNG DER  
UFERSTABILITÄT AM BEISPIEL DES  
BAGMATI IN NEPAL

MORPHOLOGICAL DESCRIPTION OF RIVER CONDITIONS  
WITH SPECIAL REFERENCE TO BANK STABILITY  
DEMONSTRATED ON THE EXAMPLE OF THE BAGMATI IN NEPAL.

als  
Diplomarbeit  
der Forstwissenschaftlichen Fakultät  
der Albert-Ludwig-Universität Freiburg i. Br.  
vorgelegt von  
Markus WEIDENBACH

Freiburg, im Juli 1990

Themenbearbeitung am Institut für Landespflege

Referent der Arbeit: Prof. Dr. K. C. Ewald  
Korreferent: Prof. Dr. V. Kohler

VORWORT

---

In Zusammenarbeit mit dem River Training Project (RTP) in Kathmandu wurden die Untersuchungen zu der vorliegenden Arbeit von Juli 1989 bis Oktober 1989 in Nepal durchgeführt. Das Aufnahmeverfahren wurde in diesem Zeitraum fertiggestellt, und im Herbst 1989 konnte bereits damit der Hanumante im Rahmen eines ASA-Studienprojektes (Arbeits- und Studienaufenthalte, die von der Carl-Duisberg-Gesellschaft e.V. in Berlin gefördert werden) im Kathmandu-Tal beschrieben werden. Zur Zeit wird der Dhobi-Khola vom River Training Project aufgenommen. Die ausführlichen Aufnahmeergebnisse des Bagmati wurden in einem Bericht mit dem Titel "Inventur des Bagmati von Sundarikal bis Cobhar" zusammengefaßt und dem RTP vorgelegt. Die Schreibweise der nepalesischen Eigennamen ist der Form angeglichen, wie sie in der Kartensammlung der Arbeitsgemeinschaft für vergleichende Hochgebirgsforschung üblich ist. An dieser Stelle möchte ich mich bei den Mitarbeitern des RTP für die hilfreiche Unterstützung bedanken, besonders aber bei Andreas Kuck vom Deutschen Entwicklungsdienst (ded), ohne dessen persönlichen Engagement die Arbeit nicht möglich gewesen wäre. Die Begegnung mit den freundlichen Menschen Nepals und ihrer alten Kultur war eine lehrreiche Erfahrung für mich.

Freiburg i. Br., im Juli 1990.

Markus Weidenbach

INHALTSVERZEICHNIS

	Seite
0. ABSTRACT	6
<hr/> ZUSAMMENFASSUNG <hr/>	8
1. EINLEITUNG	10
<hr/>	
1.1 Die äußeren Bedingungen	10
1.2 Problembezogene Arbeiten über Fließgewässer im Kathmandu-Tal	11
1.3 Ziel der Untersuchung	12
1.4 Von welcher Seite besteht Interesse an einer Untersuchung über Gewässermorphologie und Uferstabilität?	14
2. UNTERSUCHUNGSGEBIET UND METHODEN	16
<hr/>	
2.1 Das Untersuchungsgebiet	16
2.1.1 Nepal	16
2.1.2 Das Kathmandu-Tal	21
2.1.3 Der Bagmati	29
2.2 Methodik der Untersuchung	34

3.	NATURRÄUMLICHE GEGEBENHEITEN UND ANTHROPOGENE	
	<hr/>	
	EINFLÜSSE      AUF      DIE      GEWÄSSERMORPHOLOGIE	
	<hr/>	
	IM KATHMANDU-TAL	36
	<hr/>	
3.1	Geologische Voraussetzungen	36
3.2	Klimatische Voraussetzungen	38
3.3	Der Faktor Mensch	40
3.3.1	Nutzungsansprüche an die Fließgewässer	40
3.3.2	Direkte Beeinflußung	41
3.3.3	Indirekte Beeinflußung	44
3.4	Auswirkungen auf die Uferstabilität	46
3.4.1.	Mechanische Grundlagen	46
3.4.2	Unterspülung der Ufer	48
3.4.3	Rückschreitende Erosion ( Gully Erosion )	50
3.4.4	Schäden durch Viehtritt und Verbiß	51
3.4.4	Oberflächiger Uferabtrag	52
4.	DAS AUFNAHMEVERFAHREN	56
	<hr/>	
4.1	Notwendigkeit der Erfassung gewässerkundlicher Daten	56
4.2	Ausgewählte Methoden der Fließgewässerbeschreibung im deutschsprachigen Raum	58
4.3	Das Aufnahmeprinzip	62
4.3.1	Die Aufloesung der Flüsse in homogene Aufnahmeabschnitte	62
4.3.2	Definierte Schlüsselbegriffe als Mittel zur standardisierten Beschreibung von Fließgewässern	63

4.4 Erfassung und Kartierung problemrelevanter Struktur- elemente	64
4.2.1 Vegetation	64
4.2.2 Stabilisierende Elemente	66
4.2.3 Destabilisierende Elemente	66
4.2.4 Sonstige	67
4.5. Anwendung des Aufnahmeverfahrens	69
4.5.1 Arbeitsablauf	69
4.5.2 Gestaltung und Handhabung der Formblätter	70
4.6 Bewertung und Darstellung der gewonnenen Daten	72
4.6.1 Bewertungskriterien	72
4.6.2 Bildung von Zustandsklassen	73
4.6.3 Darstellung der gewonnenen Daten	75
4.7 Potentielle Erosionsgefährdung	78
4.8 Fallbeispiel	83
5. DISKUSSION	90
<hr/>	
5.1 Kritische Beurteilung der Ergebnisse	90
5.2 Schlußfolgerung	93
6. LITERATURVERZEICHNIS	94
<hr/>	
7. ANHANG	99
<hr/>	
7.1 Erläuterungen zum Stammbblatt	99
7.2 Erläuterungen zu den Formblättern	101
7.3 Erläuterungen zum Brückenerhebungsbogen	112

0. ABSTRACT

The perpetual transformation of the instable river banks in the Kathmandu-Valley caused by lateral and depth erosion leads to an enormous loss of fertile soil and endangers the urban infrastructure.

By means of an analysis of the riverine morphology in the Kathmandu-Valley the author attempts to establish an appropriate method for the evaluation of rivers. One of the objectives of the procedure is the estimation of the stability of river banks.

The work is based on investigations of rivers in the Kathmandu-Valley with special reference to the Bagmati.

The thesis consists essentially of two parts:

a: The documentation of the riverine morphogenesis.

b: The description of the inventory and evaluation method.

The description of Nepal and the Kathmandu-Valley emphasizes relevant geographical criteria which have a most important impact upon the riverine morphology.

The actual analysis of the riverine morphology in the Kathmandu-Valley reveals that the extensive alluvium, the low drop of the rivers and the extreme precipitation during the monsoon favours the lateral erosion of the river banks and leads to meandering rivers.

Next to geological and climatical factors it is above all the human being who influences the outer appearance of rivers and creeks.

The author distinguishes direct and indirect human influences on the stability of the river banks. Different forms of erosion are the results of various human influences.

An adequate method of inventory is designed in order to record the above mentioned factors. The procedure of the inventory is based upon selected methods used in German-speaking countries which the author describes in general terms.

The inventory is based on two principles:

a: The division of the rivers in homogeneous segments.

b: In order to standardize the documentation and to minimize the individual subjectivity the author defines nominations which can

be used as a multiple choice system for the description of the rivers. This is done by a five page standard form. In addition, the author suggests the mapping of relevant structural elements such as erosion or vegetation etc. Erosion and vegetation are the criteria for the evaluation of the bank stability. Next to these criteria, the geology and the sinuosity (the ratio between the thalweg length and the air-line distance) are taken into consideration to judge the potential risk of erosion. The condition of 25 river segments of the Bagmati with a total length of 31.1 km are illustrated in a graphic and a table.



## ZUSAMMENFASSUNG

---

Die stetige Veränderung der instabilen Flußufer im Kathmandu-Tal durch Seiten- und Tiefenerosion führt zu enormen Verlusten fruchtbarer Muttererde und gefährdet die Infrastruktur v.a. im städtischen Bereich.

Durch die Analyse der Gewässermorphologie im versucht der Autor zu einem angepaßten Aufnahme- und Bewertungsverfahren für Flüsse und Bäche zu gelangen, wodurch u.a. die Beurteilung der Uferstabilität als Ziel angestrebt wird.

Grundlage hierfür waren Untersuchungen an Fließgewässern im Kathmandu-Tal, die größtenteils am Bagmati durchgeführt wurden.

Die Arbeit besteht im wesentlichen aus zwei Teilen:

- der Darstellung der Morphogenese der Flüsse und
- der Beschreibung des Aufnahme- und Bewertungsverfahrens.

Zunächst werden die Rahmenbedingungen für das Entstehen der Arbeit dargelegt. Hier zeigen sich die vielfältigen Aktivitäten der nepalesischen Bevölkerung im Flußbau.

Bei der anschließenden Beschreibung des Untersuchungsgebiets konzentriert sich der Autor v.a. auf problemrelevante Punkte wie Geologie, Topographie oder Klima, die in ihrer einzigartigen Ausprägung die Gewässermorphologie in Nepal bestimmen.

Die eigentliche Analyse der Gewässermorphologie im Kathmandu-Tal erfolgt dann im dritten Schritt. Die ausgedehnten alluvialen Schichten, das geringe Fließgefälle und heftige Niederschläge während des Monsun begünstigen die seitliche Erosion der Uferböschungen und die Flußmäanderbildung.

Neben geologischen und klimatischen Faktoren ist es v.a. der Mensch der das Erscheinungsbild der Flüsse und Bäche gestaltet.

Die direkten und indirekten menschlichen Einflüsse, wie sie der Autor differenziert, wirken sich auf die Uferstabilität aus. Verschiedene Erosionsformen sind die Folge unterschiedlicher Einwirkungen auf die Uferböschungen, v.a. die Unterspülung der Ufer führt zu enormen Bodenverlusten.

Auf diesen Erkenntnissen aufbauend wird nun als vierter Schritt versucht diese bestimmenden Einflußgrößen durch ein geeignetes Verfahren zu erfassen. Bei der Methode der Aufnahme lehnt sich

der Verfasser an ausgewählte Verfahren aus dem deutschsprachigen Raum an, die er auch kurz beschreibt. Die Aufnahme beruht im wesentlichen auf zwei Prinzipien:

- a: Der Auflösung der zu bearbeitenden Flüsse in homogene Abschnitte.
- b: Um einen gewissen Standard bei der Aufnahme zu erreichen und die Subjektivität der Bearbeiter gering zu halten werden Begriffe vom Verfasser definiert, die dann zur Beschreibung des Flußabschnittes vom Bearbeiter angekreuzt werden.  
Dies geschieht auf einem fünfseitigen Formblattsatz, der die beschreibenden Begriffe beinhaltet.

Zusätzlich wird die Kartierung problemrelevanter Strukturelemente vorgeschlagen und am Beispiel gezeigt.

Zur Bewertung der Uferstabilität wird neben dem Vorkommen von Ufergehölzen das Ausmaß der Ufererosion herangezogen. Für beide Kriterien werden unabhängig voneinander Zustandsklassen gebildet.

Bewertungskriterien für die potentielle Erosionsgefährdung der Uferböschungen sind die bereits gebildeten Zustandsklassen sowie die Einstufung der Talentwicklung als Maß für das Mäandrieren eines Flußes und der Geologie.

Die Zustandsklassen von 25 Abschnitten, mit insgesamt 31,1 km Flußlänge, sind graphisch und tabellarisch zusammenfassend dargestellt. Anhand eines Fallbeispiels kann die beschriebene Anwendung des Verfahrens nachvollzogen werden.

Schwachpunkte bei der Datenerhebung und bei der Bewertung werden am Schluß diskutiert. Schätzfehler bei der Aufnahme und die Bildung von Durchschnittswerten und Zustandsklassen, durch die Information verlorengeht, stehen dabei den Vorteilen und der Notwendigkeit einer möglichst vollständigen Datenerfassung gegenüber.

## 1. EINLEITUNG

### 1. 1. Die äußeren Bedingungen

Das Kathmandu-Tal ist der dicht besiedelste Raum Nepals. Fast eine Million Menschen leben in dem ca. 30 km langen und 20 km breiten Talbecken. Intensive Landwirtschaft auf den fruchtbaren alluvialen Böden und das unkontrollierte Anwachsen der Städte im Tal wirken sich nachteilig auf die Ökologie und Stabilität der Flüsse aus.

Die Ausdehnung landwirtschaftlicher Flächen bis an die Flußufer heran, der zunehmende Bedarf an Brennholz und Viehfutter, Straßen- und Brückenbau, und die Entnahme von Flußsand für Bauzwecke sind Zeichen des wachsenden Bevölkerungsdrucks und haben die Morphologie der Fließgewässer stark verändert.

Erosion an instabilen Ufern führt zu enormen Verlusten von fruchtbaren Böden. Im städtischen Bereich werden die Gewässer durch Fäkalien und industrielle Abwässer verschmutzt.

Damit sich der entstandene Konflikt zwischen Mensch und Umwelt nicht weiter verschärft, müssen die Gefahren für eine zukünftige Fehlentwicklung erkannt und durch eine sinnvolle Planung der Landschaft gebannt werden. Die Koordination sämtlicher Flußbaumaßnahmen ist notwendig.

Ufererosion am Rapti in Chitawan (Kartel), 100km südöstlich von Kathmandu  
Abb. 1

1. 2. Problembezogene Arbeiten über Fließgewässer im  
Kathmandu -Tal

Nur wenige Veröffentlichungen beschäftigen sich direkt mit der Frage der Fließgewässermorphologie. Gewässerkundliche Daten wurden bisher nur in geringem Umfang erhoben. Umfassende gewässermorphologische Untersuchungen im Sinne der vorliegenden Arbeit sind nicht gemacht worden. Aussagen zur Hydrologie und Flußmorphologie im Kathmandu-Tal sind v.a. in folgenden Arbeiten zu finden:

die Arbeit mit dem Titel "Pollution Monitoring of the Bagmati River" (F.P.A.N.-DI.SVI. PROJECT, 1988) ist das Ergebnis einer Untersuchung, die in Zusammenarbeit mit der italienischen Entwicklungshilfe entstand. Hierbei wurde die Gewässergüte des Bagmati untersucht. Die Wasserproben wurden chemisch und biologisch analysiert, der pH-Wert und die Wassertemperatur an den Entnahmestellen festge-

stellt. Jeder Untersuchungspunkt wird durch seine Lage, durch das vorhandene Fließgefälle, die Abflußmenge, die Fließgeschwindigkeit, die Flußbreite und die Beschaffenheit des Sohlsubstrats kurz beschrieben.

Desweiteren werden Angaben über anthropogene Einwirkungen und die Gewässerökologie gemacht. Eine Tabelle veranschaulicht die biochemischen Analysewerte. Eine Karte zeigt den Verschmutzungsgrad und die Quellen der Abwässer. Sie verdeutlicht die dramatische Situation der Flußverschmutzung im Einzugsbereich von Kathmandu und Patan. Die morphologischen und hydrologischen Angaben weichen jedoch teilweise von den Beobachtungen ab, die während der Untersuchung zu der vorliegenden Diplomarbeit gemacht wurden.

Vom Department of Soil and Water Conservation wurde 1978 ein Report "Suspended Sediments in Kathmandu Valley" veröffentlicht (KANDEL, 1978). Der Autor untersucht an sechs Flüssen die Menge der im Wasser transportierten Schwebstofffracht. In einer Tabelle stellt er die Größe und Nutzungsform der Einzugsgebiete der Wasserabflußmenge und der transportierten Schwebstofffracht gegenüber und errechnet den gesamten Bodenabtrag in Tonnen je Hektar und Jahr. In einer Karte der Einzugsgebiete sind kultiviertes Land, Wald, Hangrutsche, kleine Seitenbäche und Höhenlinien dargestellt. Zusätzlich sind Geologie, Böden, Vegetation und Topographie der Einzugsgebiete beschrieben.

Das Department of Irrigation, Hydrology and Meteorology veröffentlicht jährlich Pegelmessungen, aus denen der durchschnittliche Wasserabfluß pro Monat und Jahr ersichtlich ist. Am Bagmati sind bei Sundarijal und Cobhar Pegel eingerichtet. Die Zuverlässigkeit der Daten wird jedoch von Fachleuten in Frage gestellt. Viele Pegel sind in schlechtem Zustand oder zerstört und werden unregelmäßig und nachlässig abgelesen.

Im Auftrag des Pashupati Area Development Trust (Kap. 1.4) entwarf das River Training Project eine Studie mit dem Titel "River Training in Kathmandu Valley. A long-term concept" (DEPARTMENT OF IRRIGATION, RIVER TRAINING PROJECT, 1988). Der Bericht stellt die Beeinflussung der Fließgewässer durch den Menschen heraus. Anforderungen und Kriterien flußbaulicher Aktivitäten werden davon abgeleitet und konkrete Beispiele für den ingenieurbioökologischen Uferschutz gezeigt.

Anhand einer Kostenkalkulation für den naturnahen Ausbau des Dhobi Khola auf einer Länge von 9 km werden die finanziellen Vorteile dieser arbeitsintensiven und materialextensiven Baumaßnahme deutlich. Für eine langfristige Planung der Ufersicherung an den größten Flüssen im Kathmandu-Tal wird der Schädigungsgrad und die Kostenkalkulation des Dhobi Khola Beispiels zugrunde gelegt.

Die Studie kommt zu dem Schluß, daß von 166 Uferkilometern der fünf größten Flüsse in der Ebene des Talbeckens 35 % geschädigt sind und für eine fünfjährige Baumaßnahme in Frage kommen. Die gesamten Baukosten belaufen sich zuzüglich einer zweijährigen Pilotphase auf 30 Millionen nepalesische Rupien (ca. 2,19 Mio. DM. Stand Nov. 1988). Für die jährliche Unterhaltung der Ufer werden weitere 600.000 Rupien kalkuliert. Zum Schluß schlägt das River Training Project begleitende Maßnahmen vor, wie z.B. die Aufforstung von 5-20 Meter breiten Uferstreifen.

### 1. 3. Ziel der Untersuchung

Das Ziel der Arbeit ist zum einen die Analyse der Gewässersituation und zum andern die Erarbeitung des darauf beruhenden Aufnahme- und Bewertungsverfahrens.

#### a. Analyse der Situation

---

Für die Erarbeitung eines angepaßten Verfahrens zur Beschreibung des Zustandes von Flüssen und Bächen muß man sich zunächst über die Vorgänge klar werden, welche die aktuelle Situation zustandegebracht haben. Man entgeht dadurch der Gefahr, wichtige landschaftsdynamische Prozesse bei der Aufnahme zu übersehen oder fehl zu interpretieren. Vor allem das Erkennen anthropogener Einflüsse ist notwendig, um den Konflikt Mensch/Umwelt in Bezug auf die Ausgestaltung der Flüsse aufzudecken. Dadurch lassen sich auch Schwerpunkte für die Aufnahme und Bewertung setzen. Nutzungsansprüche der Bevölkerung sollen dabei genauso berücksichtigt werden wie naturräumliche Gegebenheiten.

#### b. Systematische Datenerfassung und Bewertungsverfahren

---

Die Frage nach dem Zustand der Fließgewässer und der Bedeutung der Ufervegetation soll durch ein standardisiertes Verfahren der Aufnahme und Bewertung beantwortet werden.

Das primäre Ziel der Arbeit ist die Entwicklung des Verfahrens an sich. Es soll zum einen die Morphologie der Fließgewässer umfassend beschreiben, und zum anderen den Vergleich verschiedener Flußabschnitte ermöglichen. Hierfür ist es notwendig, eine systematische Methode zu entwickeln, die auf alle Flüsse des Kathmandu-Tales angewandt werden kann. Die Ausdehnung des Anwendungsbereichs auf einen einheitlichen Naturraum soll jedoch nicht dazu führen, daß durch zu allgemeine Daten die Charakteristika einzelner Flüsse und Bäche übersehen wird.

Der subjektive Eindruck bei der Aufnahme soll so gering wie möglich gehalten werden, damit Daten verschiedener Bearbeiter nachvollziehbar und vergleichbar sind.

Durch Zustandsklassen sollen der uferbegleitende Gehölzsaum und

die Erosionsverhältnisse einheitlich beschrieben werden.

Wichtige Kriterien der Ufererosion sollen für die Bewertung der potentiellen Erosionsgefährdung herangezogen werden.

Das Verfahren soll problemrelevante darstellbare Ergebnisse liefern, die die Gewässermorphologie so genau wie möglich erfassen und als Planungsgrundlage für entsprechende Maßnahmen herangezogen werden können.

1. 4. Von welcher Seite besteht Interesse an einer Untersuchung  
über Gewässermorphologie und Uferstabilität ?

---

Die betroffenen Bauern, deren Felder direkt an die Flüsse und Bäche heranreichen sind in erster Linie an der Stabilisierung der Ufer interessiert.

Auch von anderer Seite bemüht man sich um die Regelung und Pflege der Fließgewässer. Dies zeigt sich durch den flußbaulichen Einsatz, der im Kathmandu-Tal in vielfältiger Weise und von unterschiedlicher Seite geleistet wird.

Die Aktivitäten von sozial engagierten Vereinigungen spiegeln das Bewußtsein der Öffentlichkeit für die Umweltproblematik wider. Die Tageszeitung The Rising Nepal (Her Majesty Initiates Afforestation Camp, 1989) zitiert den Präsidenten des Youth Activities Coordination Committee anlässlich des zehnten Social Service Day am 21. September 1989 in Kathmandu:

" For social workers as well as for all those associated in the onerous task of Pashupati area development and environmental protection, river control through embankments afforestation (Bepflanzung der Uferböschung. Der Verf.) is indeed an occasion full of inspiration.oe Er gab weiter bekannt, daß nach dem bewährten Programm des Pashupati Area Development Trust - einer Interessengemeinschaft, die sich für die Erhaltung und den Schutz der Umwelt einsetzt- die Ufer des Bagmati von Sundarikal bis Chobhar beidseitig bepflanz werden sollen.

Entlang der Fließgewässer findet man häufig einfache Flechtzäune, die als Bühnen oder entlang der Uferlinie angebracht die Böschung und die Ufer wirkungsvoll vor Erosion schützen. Diese Maßnahmen werden von keiner Behörde organisiert und sind vermutlich der Initiative der betroffenen Landbesitzer oder Pächter zu verdanken. Ob die Planung und Ausführung auf der Ebene der döerflichen Verwaltung, von einer religiösen Kaste, von den Betroffenen selbst oder von anderer Seite durchgeführt wird, konnte nicht festgestellt werden. Um diese sinnvolle und effektive Art des Flußbaus zu foerdern, erscheint jedoch die Klärung dieser Frage notwendig.

Die für den Straßenbau zuständige Behörde wird dort im Flußbau tätig, wo es darauf ankommt Brücken und Uferstraßen zu sichern. Dies geschieht durch teure Gabionen- und Massivbauwerke, die v.a. durch hohe Material- und relativ geringe Lohnkosten zu Buche schlagen. Ausschließlich auf die eigenen Belange ausgerichtet,

und selten mit Rücksprache der zuständigen Behörde für den Flußbau, wird im Brücken- und Straßenbereich in den Flußverlauf eingegriffen. Durch die besondere Erfassung der erosionsanfälligen Brückenbereiche und des Brückenzustandes soll dieser Aspekt der Flußstabilität im Rahmen des Aufnahmeverfahrens hervorgehoben werden.

Die zuständige Fachbehörde für Flußbau, Erosions- und Hochwasserschutz ist das River Training Project (RTP) in Kathmandu. Es ist dem Department of Irrigation unter dem Ministry of Water Resources zugeordnet und ist somit Teil der nepalesischen öffentlichen Verwaltung. Anders als die Bezeichnung Project vielleicht vermuten läßt, ist die Arbeit des RTP nicht auf einen bestimmten Zeitraum begrenzt und hat auch kein eingegrenztes Projektgebiet. Vielmehr ist es eine zentrale, koordinierende Einrichtung, die keine eigenen Baumaßnahmen durchführt. Für die praktische Arbeit ist es auf die Zusammenarbeit mit Behörden der Distrikte und Regionen angewiesen. Die Erprobung von ingenieurbiologischen Verfahren für den Uferschutz ist dabei ein Schwerpunkt der Arbeit des River Training Project.

Das RTP war an einer systematischen Erfassung der Fließgewässer im Kathmandu-Tal interessiert. In enger Zusammenarbeit mit dieser Behörde wurden die flußmorphologischen Untersuchungen durchgeführt und das Aufnahme- und Bewertungsverfahren erarbeitet.



## 2. UNTERSUCHUNGSGEBIET UND METHODEN

### 2. 1. Das Untersuchungsgebiet

#### 2. 1. 1. Nepal

GEOGRAPHISCHE LAGE. Das Koenigreich Nepal dehnt sich über einen großen Teil des zentralen Himalaya, seiner vorgelagerten Hügelkette und einen kleineren Teil der Ganges-Ebene aus.

Es ist von nahezu rechteckiger Form und erstreckt sich rund 870 km in ost-westlicher Richtung. Mit einer durchschnittlichen Breite von 130 km bedeckt es ein Gebiet von 141.180 qkm, das ungefähr der Fläche Österreichs und der Schweiz zusammengenommen entspricht.

Abb. 2:

Globale Lage Nepals

Nepal liegt zwischen dem 80. und 88. Grad oestlicher Länge und auf 27 bis 30 Grad noerdlicher Breite, was der geographischen Breite Ägyptens gleichkommt.

Würde man von der durch die Hoehe bedingten Klimaverschiebung absehen, so wäre das Land der tropisch-subtropischen Zone zuzurechnen (HAGEN, 1960. S. 35). Durch den gewaltigen Hoehenunterschied von 70 m ü.NN. im südlichen Flachland bis zu dem 8.848 m hohen Mount Everest (in Nepal heißt er Sagarmatha) im Nordosten gliedert sich Nepal in mehrere Klimazonen.

DAS KLIMA. Es wird zum einen bestimmt durch die Hoehenlage, zum andern durch den Monsun, einem jahreszeitlich wehenden Südost- bis Südwestwind mit mittleren Jahresniederschlägen zwischen 1.500 mm und 3.000 mm, von denen 80 % während der Sommermonate fallen. In Zentralnepal fallen von Mai bis September zwischen 1.500 und 2.000 mm. Im Vorhimalaya differenzieren sich die Niederschlagsverhältnisse als heftige Steigungsregen der dem Wind zugekehrten Seite der Hänge und als trockene Fallwinde im Windschatten der Berge.

Am Fuße des Himalaya (Sanskrit: Hima = Schnee, Alaya = Wohnsitz) dehnen sich tropische Wälder und Reisbaulandschaften aus. Die obere Waldgrenze verläuft im subtropischen Gebirge in 4.200 m ü.NN. Die klimatische Schneegrenze erreicht auf der Everest Nordseite die extreme Höhe von 6.000 m ! Als eines der wenigen Länder der Erde umfaßt Nepal alle 4 Klimazonen: die tropische, die subtropische, die gemäßigte und die kalte Zone.

DIE LANDSCHAFT. Das ausgeprägte Relief (vgl.Karte 1) ermöglicht es, Nepal von Süd nach Nord in 6 gebräuchliche Landschaftseinheiten zu gliedern (HAGEN, 1960, S.36; JACKSON, 1987, S.7):

1. Der Terai
2. Die Siwalik-Zone oder Churia
- 3 . Die Mahabharat Lekh
4. Das nepalesische Mittelland mit dem Kathmandu-Tal
5. Der Himalaya
6. Der innere Himalaya mit dem tibetischen Randgebirge (Transhimalaya)

DIE FLÜSSE DES HIMALAYA. Im Süden, Westen und Osten grenzt Indien an Nepal. Im Norden bildet die Hauptkette des Himalaya die Grenze zum tibetischen Hochplateau (China), durch das der Tsangpo über 1.000 km in west-oestlicher Richtung fließt, ehe er sich nach Süden wendet und als Brahmaputra Indien durchstroemt, um sich schließlich in Bangladesh mit dem Ganges zu vereinigen. Der Ganges fließt südlich des Himalayas in Indien, fast parallel zum Tsangpo in Tibet und führt das Wasser aller Flüsse Nepals mit sich.

HAGEN (1960) weist nun auf folgendes gewässerkundliches Phänomen hin: Die Wasserscheide zwischen dem Tsangpo-Gewässernetz und dem Ganges-System ist nicht die west-oestlich verlaufende Hauptkette des Himalaya mit den hoechsten Bergen der Welt, sondern das tiefergelegene Randgebirge des tibetischen Plateaus noerdlich der Hauptkette ! HAGEN nennt es einmalig, daß die meisten großen Flüsse Nepals an einer tiefergelegenen Hauptwasserscheide entspringen und dann flußabwärts ein weit hoeheres Gebirge durchbrechen.

SHARMA (o.J.) bezeichnet die Flüsse Kosi, Gandaki und Karnali, die im tibetischen Hochplateau entspringen, und die neben dem Indus und dem Brahmaputra als einzige den Himalaya durchqueren, als "Old Prehimalayas" oder antezedente Flüsse, da sie älter sind als der Himalaya selbst. Sie bilden gleichzeitig die drei groeßten Flußsysteme Nepals.

Kleinere Gewässernetze, wie das des Bagmati, ordnet SHARMA analog ihres Alters (Oligozän bis Miozän) zu der Gruppe der "Young Post Mahabharat", da sie nach der Erhebung des Mahabharat-Gebirges entstanden sind.

Flüsse, die ihren Ursprung in den Siwaliks (Churia) haben, bezeichnet er als pleistozäne bis rezente Flüsse (oeVery Young Post Churiaoe). Als neue Flüsse (oeNewoe) definiert er Flüsse, die im Terai entspringen.

VOM QUELLGEBIET DES BAGMATI BIS ZUM GANGES. Der Bagmati entspringt an der Nordumrandung des Kathmandu-Tales, das Teil des nepalesischen Mittellandes ist. Auf der physiographischen Karte von Nepal (vgl. Karte 1) entspricht es den "Middle Mountain". Dieses Gebiet, als Herz des Landes bezeichnet, wird im Süden durch die Mahabharat Lakh geschützt und im Norden durch die Hauptkette des Himalaya begrenzt. Seine durchschnittliche Breite zwischen diesen beiden Wällen beträgt ungefähr 60 bis 100 km und weist Höhen von durchschnittlich 600 bis 2.000 m auf. In Richtung Süden schneidet sich der Bagmati tief in die kristallinen Gesteine des Mahabharat-Gebirges ein, das sich bis zu 3.000 m erhebt. Die Talsohlen der Querschluften, in denen sich die großen Flüsse Nepals in die Ganges-Ebene hinaus ergießen, liegen jedoch nur 200 bis 400 m über dem Meeresspiegel. Südlich dieser markanten Gebirgskette erhebt sich die Siwalik-Zone aus der Ganges-Ebene. Das Siwalik-Gebirge oder Churia, wie es auch genannt wird, ist durchschnittlich 1.500 m hoch. Durch schwächer ausgeprägte Kerbtäler durchstroemen die Flüsse die molasseähnliche Gesteinsformation. Kleinere Flüsse versiegen hier in der Trockenzeit. Nur die Fremdlingsflüsse, deren Einzugsgebiet in Höhen von 3.000 m ü.M. liegen, führen das ganze Jahr Wasser und bilden zwischen der Siwalik-Kette und dem Mahabharat-Gebirge weite, fruchtbare Täler aus, die sogenannten Dun. Am südlichen Fuße der Siwaliks liegt die Bhabar-Zone. Geologisch stellt dieser Bereich einen alluvialen Schwemmfächer dar, wo sich das größte Geschiebe der Flüsse aus dem Himalaya ablagert. Die Bhabar-Zone ist Teil des Terai, des nepalesischen Schwemmlandes, das 70 bis 300 m über dem Meer liegt und zur Ganges-Ebene gehoert. Der durchlässige Untergrund in diesem Bereich ist für das Versiegen vieler Flüsse in der Bhabar-Zone verantwortlich, die als artesische Quellen weiter südlich im zentralen Terai wieder auftauchen.

In der Terai-Ebene laden die Flüsse aus dem Himalaya ihre Sedimentfracht ab. Sie erhöhen dadurch ihr eigenes Flußbett. Das alluviale Ufersubstrat erodiert sehr leicht. Die Flüsse verzweigen sich und breiten sich mehrere hundert Meter aus. Durch den ständigen Prozeß der Sedimentation und seitlichen Erosion verändert sich ihr Lauf permanent.

CARSON (1985) weist auf Bohrungen im Terai hin, die gezeigt haben, daß alluviale Sedimente aus dem Himalaya mehr als 5.000 m hoch abgelagert wurden. Er führt das bekannte Beispiel des Sapta Kosi Flusses an, dessen Flußbett sich in den letzten 230 Jahren über 100 km nach Westen verschoben hat. BULMER (1984, zit. n. JACKSON, 1987) berichtet von Flüssen im Terai, die während einer Generation von einer Breite, die ein Mensch überspringen konnte, bis zu 200 m breit erodierten.

DER BAGMATI IM TERAII. Die Entwicklung des Flußbettes des Bagmati im Terai von 1953 bis 1978 wurde durch den Vergleich der beiden Luftbildjahrgänge und der davon abgeleiteten Landnutzungskarten deutlich. Untersucht wurden 51 km des Bagmati im Terai bis zur indischen Grenze. Es zeigte sich, daß von 1953 bis 1978 1.236 ha zusätzliche nutzbare Fläche durch Sedimentation im Bereich des Flußbettes gewonnen wurde. Im gleichen Zeitraum wurden jedoch 3.074 ha durch Seitenerosion und Überflutung nutzlos. Das Flußbett des verzweigten Bagmati dehnte sich im Terai um fast 50 % aus. Die durchschnittliche Breite des Flusses stieg von 740 m im Jahr 1953 auf 1.100 m im Jahr 1978 (River Training Project). Der Vergleich zwischen verlorengegangener und gewonnener Fläche muß kritisch betrachtet werden. Durch Ablagerungen von Tonmineralien und Schluff entstandene neue Flächen können fruchtbarer und produktiver sein als alte kultivierte Flächen, die durch den Fluß zerstört wurden.

Eindrücklich zeigt das Beispiel dennoch, daß angepaßte flußbauliche Maßnahmen notwendig sind, um eine geregelte Kultivierung der fruchtbaren Schwemmlandflächen zu ermöglichen und somit die Selbstversorgung Nepals mit Grundnahrungsmitteln und nachwachsenden Rohstoffen zu gewährleisten: etwa 60 % der Jahresproduktion an Getreide stammen aus dem Terai, und jeder 3. Nepali ist Terai-Bewohner (HAFFNER, 1979).

Karte 1 Nepal

DAS HÖCHSTE GEBIRGE DER ERDE IST AUCH DAS JÜNGSTE. Durch die Kollision der Eurasischen Platte mit der Indo-Australischen Scholle, die um ca. 5 cm jährlich nach Norden driftet, wird der Himalaya schätzungsweise um 1,2 cm pro Jahr in die Höhe gehoben (VAN DYK, 1988). Ein italienischer Wissenschaftler errechnete, daß der Mount Everest jedes Jahr sogar um 18 cm wächst (SCHREIBER, 1989).

Diese tektonischen Bewegungen führen immer wieder zu schweren Erdbeben, zuletzt im August 1988. In Anbetracht der besonderen Situation wird ein Kreislauf der Gesteine bewußt, der sich in Millionen von Jahren schließt und sich wegen der großen Zeitspanne der menschlichen Wahrnehmung entzieht. Verständlicherweise ist die natürliche Erosion in diesem jungen Gebirge sehr

Abb.3: Tektonische Plattenbewegungen

Quelle: National Geographic, Vol 174.

hoch. Die Flüsse führen als Glied in der Kette von Erosion und Sedimentation von Natur aus große Mengen an erodiertem Material mit sich.

Im Terai werden jedes Jahr durchschnittlich Sedimente aus dem Himalaya in Höhe von 1 cm abgelagert (CARSON, 1985).

Fragwürdig hergeleitete Daten über Sedimentfracht und Geschiebe der Gewässer suchen die Ursache für Überschwemmungen in der Ganges-Ebene allzu schnell beim Menschen. Die gegenwärtige Situation am Ganges scheint sich jedoch nach CARSON nicht wesentlich zu unterscheiden von der Situation, wie sie in den Veden, dem uralten indischen Geschichtsepos, geschildert wird.

## 2. 1. 2. Das Kathmandu -Tal

---

Wie bereits erwähnt liegt das Kathmandu-Tal im nepalesischen Mittelland und ist das naturräumlich scharf abgegrenzte Untersu-

chungsgebiet. Die Bedeutung des Tales für Nepal kommt schon in seinem Namen zum Ausdruck: die Bevoelkerung bezeichnet allgemein das Kathmandu-Tal als "Nepal Valley", oder kurz als Nepal.

WIRTSCHAFTLICHES ZENTRUM UND ETHNOLOGISCHER SCHMELZ-  
TIEGEL. Das Tal ist ein intramontanes Becken, das sich ca. 30 km in ost-westlicher und ca. 20 km in nord-südlicher Richtung zwischen dem Mahabharat-Gebirge und dem Himalaya ausdehnt. Die durchschnittliche Höhe des Tales liegt bei 1.350 m ü.NN. . Der Bagmati bildet mit seinen Nebenflüssen ein zentripetales Entwässerungssystem (YOSHIDA, IGARASHI, 1984) im Becken von Kathmandu. Der flache, fruchtbare, alluviale Talboden und die überaus günstigen klimatischen Verhältnisse sind Gründe für die dichte Besiedlung dieses Raumes. Die Attraktivität des Kathmandu-Tales für Zuwanderer spiegelt sich heute in der multi-ethnischen Bevoelkerungsstruktur wider.

Die nepalesische Hauptstadt Kathmandu ist die größte Stadt des Landes mit einer Einwohnerzahl von 393.000 im Jahr 1981. Patan und Bhaktapur, die beiden anderen großen Städte des Tales, bilden zusammen mit Kathmandu eine städtische Agglomeration, deren Einwohnerzahl 1982 bereits 800.000 überschritt (Statistisches Bundesamt, 1987).

MÜLLER (1984) stellte von 1970 bis 1980 eine Zunahme der Bevoelkerung im Kathmandu-Tal von fast 24 % fest. 1970 hatte das Tal mit 618.911 Bewohnern eine Bevoelkerungsdichte von 810 Einwohnern/qkm und war der am dichtesten besiedelte Raum Nepals. Bereits 1982 stieg die Bevoelkerungsdichte auf über 1.000 Einwohner/qkm. 1971 gingen 63 % der Erwerbstätigen im Kathmandu-Tal einer landwirtschaftlichen Beschäftigung nach (Nepal 1977 gesamt: 94,4 %).

Die Kulturlandschaft des Kathmandu-Tales ist durch ein Nebeneinander von Städten, enggebauten Doerfern, Weilern und einer viel-

seitig agrarisch genutzten kleinparzellierten Flur gekennzeichnet. Das relativ reiche Angebot an Wasser und die natürliche Fruchtbarkeit der Boeden bieten eine gute Ausgangsbasis für die sehr intensive Form des Feldbaus, die sich in ihren Kulturmethoden kaum noch vom Gartenbau unterscheidet (HAFFNER, 1979). Bewässerung und die Ausdehnung der Felder bis an die Flüsse wirken sich nachteilig auf bestehende Ufersäume und die Stabilität der Ufer aus.

abb.4 Luftbild



Der Autor verzichtet darauf, näher auf sozio-kulturelle Aspekte, Religion, Geschichte, Politik und Verwaltung des Landes einzugehen. Diese interessanten Kriterien beeinflussen zwar indirekt die Thematik, würden die Arbeit aber unnoetig belasten. MÜLLER geht mit ihrer Untersuchung über soziale und oekonomische Organisationsformen im Kathmandu-Tal ausführlich auf dieses Thema ein. Von Bedeutung für die Morphologie der Fließgewässer sind neben der demographischen Situation morphogenetische Prozesse des Kathmandu-Tales.

DIE LEGENDE WUßTE, WAS DIE WISSENSCHAFT NEU ENTDECKEN MUßTE. Die Anfänge der Besiedlung des Talbeckens verlieren sich in mythischer Vorzeit. Die Legende erzählt, daß das Kathmandu-Tal in früherer Vorzeit ein See war, und daß der aus Ost-Tibet stammende Gott Manjushrin mit seinem Schwert eine Schlucht geschlagen hat, durch die das Wasser abfließen konnte. Die enge Schlucht von Cobhar im Süden des Talbeckens, durch die der Bagmati das Tal verläßt, scheint dem Mythos recht zu geben (vgl. Abb. 4). Nachdem sich Nepal Anfang der Fünfziger Jahre der westlichen Welt oeffnete, wurde die Jahrtausend alte Legende von der Wissenschaft bestätigt (HAGEN 1960, BOESCH, 1974). Der flache Beckenboden entstand durch die Verlandung eines pleistozänen Sees. Geomorphologisch betrachtet ist das Becken von Kathmandu ein tertiäres Talsystem, das durch Ablagerungen

unterschiedlicher Sedimente verfüllt wurde.

Zum Zeitpunkt der voelligen Verlandung des spät-würmeiszeitlichen Sees (BOESCH, 1974) wurde der epigenetische Durchbruch bei Cobhar angelegt. Die Schlucht von Cobhar spielte vor ca. 29.000 Jahren erstmals eine Rolle als Erosionsbasis für die Entwässerung des Tales.

Die Tatsache, daß der Nakhu Khola in genau entgegengesetzter Richtung zum Bagmati und nur 1-2 km von diesem entfernt fließt, ehe er bei Cobhar mündet, scheint für BOESCH der Beweis dafür zu sein, daß die "epigenetische Cobhar-Schlucht als Erosionsbasis für alle Flüsse im Valley wirksam wurde" (vgl. Karte 3: Das Einzugsgebiet).

DIE TOPOGRAPHIE. Zum topographischen Mosaik gehoeren neben den entstandenen Flußterrassen und den Schwemmkegeln am Fuße der Talumrandung auch die Grundgebirgsrücken von Gokarna,

Pasupatinath und Kirtipur (bei Cobhar), die sich als Talscheiden der präquartären Landschaft (MÜLLER, 1984) weit in den Talboden hineinschieben.

Wie bei Cobhar durchbricht der Bagmati die Grundgebirgsrücken bei Gokarna und Pasupatinath in epigenetischen Engtälern. Die Erklärung für die Entstehung der Schluchten ist naheliegend, da das Kathmandu-Tal auf Grund seiner tektonischen Beschaffenheit besonders erdbebengefährdet ist. Bei dem großen Beben im Jahre 1934 wurden ganze Stadtteile von Kathmandu und Patan zerstört, in Bhaktapur 75 % aller Gebäude.

Abb.5: VEREINFACHTES LANDSCHAFTSPROFIL DURCH DAS WESTLICHE BECKEN VON KATHMANDU (aus HAFFNER, 1979):

a. periphere junge Schwemmkegel; b. Grundgebirgsrippe von Kirtipur; c. Terrassental des Bagmati; d. Beckenbodenriedel; e. Aue; f. Fußzone der Schwemmkegel; 1. Naßfeldland; 2. Trockenfeldland; 3. ländliche Streusiedlung; 4. Weideland; 5. geschlossene städtische Siedlung; 6. Newarsiedlung mit hausnahen Gärten; 7. immergrüner macchienartiger Buschwald; 8. immergrüner Bergwald, untere Stufe; 9. Kiefernwald; 10. immergrüner Bergwald, obere Stufe; I. junge Schwemmkegelablagerungen; II. fluviale Beckenbodensedimente; III. lakustrische Beckenbodensedimente; IV. dolomitischer Kalkstein; V. Quarzit; VI. Granit.

DIE TEMPERATUR. Mit einer mittleren Höhenlage von 1.350 m ü.NN. liegt das Kathmandu-Tal bereits in der malariafreien Höhenzone. Trotz der Höhenlage ist ganzjährig Gemüseanbau möglich, da Froeste im Winter selten sind und sich auf das Beckeninnere beschränken, wo sich bei Strahlungs Nächten Kaltluft staut. An den Hängen der Gebirgsumrahmung liegt die Frostgrenze um etwa 300 bis 400

Meter hoeher. In den heißen Monaten April, Mai und Juni liegt das mittlere Maximum der Temperatur bei 33 Grad Celsius.

Tab. 1: Monats- und Jahresmittel der Lufttemperatur in Kathmandu (aus HAFFNER, 1979).

Jan	Feb	Mrz	Apr	Mai	Jun	Jul	Aug	Sep	Okt	Nov	Dez	Mittel
9,8	12,2	15,2	19,0	22,1	24,2	24,0	23,7	22,7	18,7	14,4	10,6	18,1

DER MONSUN BESTIMMT DEN JAHRESGANG DER NIEDERSCHLÄGE.

Im Kathmandu-Tal herrscht ein warmtemperiertes, humides Klima mit durchschnittlichen Niederschlagsmengen von 1.419 mm pro Jahr und einer jährlichen mittleren Lufttemperatur von 18,1 Grad Celsius. Der Monsun setzt Mitte Juni ein, und bis Mitte September fallen über 80 % der Jahresniederschläge.

Tab. 2: Monats- und Jahressummen der Niederschläge (aus HAFFNER, 1979):

Jan	Feb	Mrz	Apr	Mai	Jun	Jul	Aug	Sep	Okt	Nov	Dez	Jahr
10	42	15	26	130	246	373	348	182	37	2	8	1419

Ein sehr deutliches Niederschlagsgefälle besteht vom Beckenrand zum Zentrum, wo es weit weniger regnet als im Bereich der Gebirgsumrahmung. Eine für das Kathmandu-Tal typische lokale Luftzirkulation führt durch Hangaufwinde im Bereich der Randberge zu konvektiver Hangwolkenbildung. Im Beckenzentrum kommt es dagegen infolge der absteigenden Luft zur Auflösung der Wolkenfelder. Die Hangwolken regnen sich in höheren Lagen (bspw. im Quellgebiet des Bagmati) stärker ab als in tieferen Lagen. Die reichliche Beregnung wirkt sich günstig auf die Wasserführung der Flüsse aus und ist die Voraussetzung für die ausgedehnte künstliche Bewässerung der Reisterrassen im Kathmandu-Tal.

DIE VEGETATION UND DIE LANDNUTZUNG. Die natürliche Vegetation ist in diesem dichtbesiedelten Gebiet bis auf einige Relikte in Waldschutzgebieten zerstört. Der immergrüne Bergwald ist an der nördlichen Talumrandung auf Grund der stärkeren Sonneneinstrahlung (Sonnenhang) von einem Gürtel von *Pinus roxburghii* - Wäldern begleitet. Erlen (*Alnus nepalensis*) und Weiden (*Salix spec.*) sind die bestimmenden Baumarten der Ufervegetation. Im Norden werden die Ufer häufiger von Erlen gesäumt. Sie weichen im Zentrum des Beckens den Weiden und kommen erst wieder bei Cobhar im Süden von Kathmandu vor.

In der ausgeräumten Kulturlandschaft stellen die letzten mit Gehölzen bestockten Uferstreifen ein oekologisches Refugium für Pflanzen und Tiere dar.

Die Landnutzungskarte des Kathmandu-Tals (vgl. Karte 2) zeigt anschaulich die ausgedehnten Reisfelder (Naßfeldbau), was auf die intensive Bewirtschaftung der Flächen schließen läßt (ca. 18.000 Hektar, HAFFNER, 1979). Kathmandu hat sich inzwischen weit über die eingezeichnete Wachstumszone ausgedehnt und reicht heute mit dem Stadtteil Baneshwar im Westen bis an den Bagmati heran.

Karte 2 Landnutzung

### 2. 1. 3. Der Bagmati

---

NEPAL'S HEILIGER FLUß. Der Bagmati wird als heiliger Fluß in Nepal verehrt. Die Tempelanlagen von Pasupatinath oestlich von Kathmandu zählen zu den heiligsten Stätten der hinduistischen Glaubenswelt. Dort werden an den Ufern des Bagmati die Koenige Nepals und ihre Angehoerigen bestattet.

SHARMA (o.J.) rechnet den Bagmati zu den jungen Flüssen Nepals, die nach der Erhebung des Mahabharat-Gebirges im Oligozän bis Miozän entstanden sind (oeYoung Post Mahabharatoe).

Die Gesamtlänge des Bagmati vom Quellgebiet bis zur indischen Grenze im noerdlichen Teil der Ganges-Ebene beträgt ca. 190 km. Seit durch tektonische Gesteinsbewegungen die Schlucht von Cobhar geschaffen wurde entwässert der Fluß das Gebiet des prähistorisch verlandeten Sees, das heutige Kathmandu-Tal. Der heutige Flußverlauf wurde damit festgelegt (SHARMA, o.J.). Er verläßt das Becken von Kathmandu und durchbricht das Mahabharat-Gebirge in einem tief eingeschnittenen Tal in süd-oestlicher Richtung. Dann wendet er sich Richtung Süden und durchkreuzt die Schichtrippenlandschaft der molasseähnlichen Gesteinsformation der Siwalik-Zone. Sedimentbeladen stroemt er in das nepalesische Tiefland. Durch die Ablagerung der mitgeführten Sedimente erhoehrt der Bagmati bei minimalem Fließgefälle das eigene Flußbett, das nun mehrere hundert Meter breit wird (Kap. 2. 1. 1.).

Bis zum Eintritt in die Ganges-Ebene (Pegelstation Karmaiya) entwässert der Bagmati ein Einzugsgebiet von 2.720 qkm. Der durchschnittliche monatliche Abfluß liegt dort bei 150 cbm/sec (560cbm/sec im August). Die groeße Wassermenge wurde mit 2.813 cbm/sec gemessen (SHARMA, o.J., S. 23). Zum Vergleich: die Wassermenge des Rheins an der Mündung beträgt 2.400 cbm/sec (WAGNER, 1931). Nachdem der Bagmati die indische Grenze überquert hat mündet er etwa 400 km weiter südoestlich wie alle Flüsse Nepals in den Ganges.

FLUßMORPHOLOGIE IM KATHMANDU-TAL. Die Groeße und Form der verschiedenen Einzugsgebiete des Bagmati und seiner wichtigsten

Nebenflüsse im Untersuchungsgebiet sind in Karte 3 "Das Einzugsgebiet" dargestellt. Als Grundlage diente dafür die topographische Karte "Kathmandu Valley" im Maßstab 1:50000 der Arbeitsgemeinschaft für vergleichende Hochgebirgsforschung.



Die Grenze der einzelnen Einzugsgebiete wurde nach dem Verlauf der Höhenlinien geschätzt. Durch ein computergesteuertes Verfahren (Digitizer) wurden die ausgeschiedenen Flächen digitalisiert. Anhand der eingegebenen Daten errechnete der Computer die Größe und stellte die Flächen im Computerbild farbig dar. Die Hangneigung wurde hierbei nicht berücksichtigt. Die Berechnung bezieht sich auf die zwei-dimensionale Darstellung des Kathmandu Tales. Die tatsächliche Größe der Einzugsgebiete liegt also über dem errechneten Wert.

Das Quellgebiet des Bagmati liegt auf ca. 2700 m.ü.NN im Bereich einer Bergkette, dem Sheopuri Lekh, die das Tal nach Norden begrenzt. Der Bagmati legt eine Strecke von ca. 35-40 km durch das Tal zurück ehe er im Süden des Kathmandu-Tales die Schwelle von Kirtipur durchbricht. Die wichtigsten Nebenflüsse sind der Manohara, der Dhobi Khola und der Bisnumati.

HAFFNER stellt 1979 fest: "Bemerkenswert ist die Anlage des rezenten Gewässernetzes im Inneren des Katmandu-Beckens. Alle Quellflüsse des Bagmati, auch die aus dem Bereich der südlichen Bekkenumrahmung ( z.B. der Bothku Khola und Nakhu Khola ) fließen zentripetal gegen das Beckeninnere, sammeln sich südlich von Katmandu im Bagmati und verlassen in einem nord-südlich verlaufenden Tal das Becken. Eigenartigerweise werden die Grundgebirgsrücken von den Flüssen nicht umgangen, sondern in kammartigen (epigenetischen?) Engtälern durchbrochen: bei Gokarna, bei Pashupatinath, bei Chobar.oe

Der erste größere Nebenfluß im Quellgebiet des Bagmati ist der Nagmati (nicht eingezeichnet). KANDEL (1978) gibt für das Einzugsgebiet des Bagmati bei Sundarikal eine Fläche von 15,53 qkm an. Für den Nagmati rechnet er mit einer Größe des Einzugsgebietes von 13,88 qkm. Durch Digitalisieren der Flächen wurde für die Fläche I (orange) eine Größe von 29,5 qkm ermittelt. Diese Fläche beschreibt das Quellgebiet des Bagmati und des Nagmati bis Sundarikal. Sehr starkes Fließgefälle, die Ausbildung von Kerbtälern und Wasserfällen charakterisieren dieses Gebiet.

Die dunkelbraune Fläche II beschreibt bis zur Schlucht bei Gokarna ein Gebiet von 25,9 qkm. Die Hügelzone von Gokarna besteht aus Phylliten und Schiefen und stellt eine hydrologische Schwelle für den Bagmati dar, die das geringe Gefälle in diesem Bereich bestimmt. Desweiteren wird die starke Ausprägung von Mäandern durch alluviale Sedimente in diesem Gebiet begünstigt. Dies gilt auch für die hellbraune Fläche III. Sie reicht bis zur Mündung des Manohara und ist 18,5 qkm groß. Sie ist flußmorphologisch ähnlich gestaltet wie II. Bedeutendstes Landschaftselement sind die Tempel und die Schlucht von Pasupatinath.



Die graue Fläche IV ist 15,1 qkm groß und zum größten Teil Siedlungsfläche. Durch den Zufluß des Manohara hat sich das Flußbett in diesem Bereich stark verbreitert, das Gefälle ist minimal. Dieses IV Gebiet wird von einem Kalkstein Gebirgsrücken bei Kirtipur begrenzt, den der Bagmati mit der Schlucht von Cobhar durchbricht. Diese natürliche Schwelle bestimmt das Fließgefälle aller flußaufwärts liegenden Abschnitte und ist für die Ausprägung der Landschaft im Kathmandu-Tal entscheidend.

Der Manohara ist der Nebenfluß mit dem größten Einzugsgebiet. Es ist 256,1 qkm groß (dunkelgrüne Fläche). Der Dhobi Khola entwässert ein Gebiet von 31,2 qkm (hellgrüne Fläche). Der Tukuca Khola, dessen Einzugsgebiet (rote Fläche) ausschließlich im urbanen Bereich liegt und nur 6,7 qkm beträgt ist als Zufluß zum Bagmati von geringer Bedeutung. Der Bisnumati ist bis zur Mündung in den Bagmati Vorfluter für eine 102,7 qkm große Fläche (gelb). Das Einzugsgebiet des Balkhu Khola ist 40,7 qkm groß (lila Fläche). Der Nakhu Khola entspringt an der Südflanke des Talbeckens und fließt in noerdlicher Richtung der Fließrichtung des Bagmati fast parallel entgegen. Das schmale Einzugsgebiet in Nord-Süd Ausdehnung ist 29,6 qkm groß.

Insgesamt entwässert der Bagmati nach vorhergehender Berechnung ca. 556 qkm durch die Schlucht von Cobhar. Dieser Wert beinhaltet keinen Korrekturfaktor und muß nach oben berichtigt werden um die tatsächliche Fläche zu erhalten.

Die Fläche , die vom Department of Irrigation beim Pegel 550 bei Cobhar mit 585 qkm angegeben wird, weicht von der dargelegten Berechnung um 29 ha ab.

EIN VOM MENSCHEN GEPRÄGTER FLUß. Seinen naturnahen bis natürlichen Charakter im Quellgebiet verliert der Bagmati beim Eintritt in die Talebene und wird zu einem von Monokulturen (Naßreisanaubau) bedrängten Fluß. Seine Uferstreifen sind dort längst dem gestiegenen Brennholz- und Flächenbedarf zum Opfer gefallen.

Ein weiteres Mal ändert er sein Gesicht, wenn er den Stadtbereich von Kathmandu und Patan erreicht. Der Bagmati trennt die zusammenwachsenden Städte und dient ihnen als "Müllschlucker" und liefert den Bausand für den expandierenden Städtebau. Straßen, Brücken und die Ausdehnung der Siedlungen verleihen dem Fluß einen urbanen, teilweise ausgebauten Charakter.

HYDROLOGIE IM KATH~  
MANDU TAL. Nieder~  
schlagsmessungen aus  
dem bis zu 2700 m ho~  
hen Quellgebiet liegen  
nicht vor. Die Nieder~  
schläge sind jedoch  
beträchtlich hoeher als  
in Kathmandu (1.419  
mm/Jahr) selbst. In Na~  
garkot, 16 km nordoest~  
lich von Kathmandu auf  
ca. 1.900 m ü.NN., fallen  
bereits 1.850 mm. Es  
kann daher im Quell~  
gebiet mit weit über  
2.000 mm/Jahr gerech~  
net werden.  
Anders als die großen  
Himalaya-Flüsse ist der  
Bagmati kein Fluß des

Abb.6: Hydrograph des Bagmati  
Quelle: SHARMA, 1974.

Schneeregimes.

Das jährliche Abflußverhalten wird durch die starken Regenfälle des Sommermonsuns und die minimalen Niederschläge im Winter (Trockenzeit) bestimmt (vgl. Abb.6), die ab 2.100 m dann auch als Schnee fallen koennen (JACKSON, 1987).

Die Folge sind extreme jahreszeitliche Schwankungen des Abflusses. Der Quotient zwischen Hochwasserabfluß und Niedrigstwasser ist ein Maß für die Hochwassergefährdung. SHARMA (o.J.) gibt für den Bagmati bei Cobhar am Talausgang den Wert 34.000 an (Maximum-Minimum Ratio). Er hat damit den hoechsten Wert aller von SHARMA untersuchten Flüsse in Nepal.

Das Department of Irrigation maß an der gleichen Stelle von 1962 bis 1972 einen maximalen Abfluß von 876 cbm /sec (28. Juli 1972). Das Minimum wurde mit 0,02 cbm /sec (8. Juni 1964) gemessen.

## 2. 2. Methodik der Untersuchung

In Koordination mit dem River Training Project wurde zunächst der theoretische Ansatz für die Beschreibung der Flüsse und Bäche im Kathmandu-Tal erörtert. Die methodische Vorgehensweise von SCHANDA (Kap.4. 2.) schien im Prinzip für das Aufnahmeverfahren geeignet.

Es kam nun darauf an die wichtigsten Aufnahmeparameter herauszuarbeiten und in das Verfahren aufzunehmen. Der Situation entsprechend waren v.a. wasserwirtschaftliche Fragen, die Stabilität der Flüsse, die Nutzungsstruktur des Umlandes und Nutzungsansprüche der Bevölkerung von Interesse.

Gleichzeitig sollte die Lage der Flüsse und ihre charakteristischen Strukturelemente durch das Verfahren beschrieben werden.

Nachdem mehrere Gewässer im Tal unter diesem Aspekt näher betrachtet wurden, geschah die Auswahl eines geeigneten Objektes, an dem die Aufnahmeparameter auf ihre Aussagekraft geprüft wurden. Der Bagmati bot sich dafür an, da er als heiliger Fluß im Interesse der Öffentlichkeit steht und das ganze Tal von Nord nach Süd durchzieht.

Von seinem Quellgebiet mit maximal 44 % Fließgefälle (Wasserfälle) über die Schwemmkegel am Talboden im Norden des Tales mit bis zu 1 % zeigt der Bagmati ausgeprägt die zwei klassischen Flußbereiche: die Erosionszone und die Transportzone.

Die verstärkte Akkumulation von Sedimenten auf Grund des geringen Fließgefälles im Zentrum und Süden des Tales gleicht in ihrer Morphologie annähernd der Sedimentationszone. Der Kalksteinrücken von Kirtipur, der von der Schlucht von Cobhar (Cobhar Gorge) durchbrochen wird, stellt hierbei die natürliche Erosionsbasis dar. Auf der gesamten Länge von 35 km im Untersuchungsgebiet durchquert der Bagmati verschiedene geologische Formationen von Nord nach Süd: Migmatite (BOESCH, 1974), Gneis und Granit, alluviale Flußschotter, Phyllite, Schiefer und Quarzite (bei Gokarna), lakustrische Sedimente (Kalimati und sandige Tone) und Kalkgrundgestein (Schwelle von Kirtipur). Entsprechend der wechselnden Topographie und Geologie und der unterschiedlich starken anthropogenen Beeinträchtigungen gestaltet sich die Flußmorphologie sehr vielseitig (Kap. 2. 1. 3.).

In der "aktiven" Zeit der Flüsse von Juli bis Oktober fand die Erarbeitung des Verfahrens vor Ort statt. Eine Fülle von Aufnahmeparametern wurde in dieser Zeit erprobt und schließlich auf das Notwendigste zusammengestrichen, um das Verfahren praktikabel zu machen. Dabei mußte darauf geachtet werden, daß die Problematik der Situation genau erfaßt und eine Dateninterpretation möglich gemacht wurde.

Schwierigkeiten traten v.a. bei der Orientierung anhand der Karte auf. Das verwendete Kartenwerk im Maßstab 1 : 10.000 vom Kathmandu-Tal wurde von der Arbeitsgemeinschaft für vergleichende Hochgebirgsforschung in München auf der Basis von Luftbildern von 1971 erstellt. Durch starkes Mäandrieren hat sich der Flußverlauf seither stark verändert. Für die genaue Kartierung der Strukturelemente (Kap. 4. 4.) erschien der Maßstab oft als zu klein.

Die Bestimmung der Vegetation bereitete Probleme, da keine Bestimmungsschlüssel vorhanden waren. Populärwissenschaftliche Arbeiten (STORRS, 1984; MIEROW und SHRESTA 1978) und deskriptive vegetationskundliche Arbeiten (POLUNIN, 1984) waren nur beschränkt für die genaue Pflanzenbestimmung geeignet.

Ein geringer Grundwortschatz in Nepali reichte jedoch aus, um den nepalesischen Namen der Pflanzen von den kenntnisreichen und hilfsbereiten Bauern zu erfragen. Anhand eines speziellen Lexikons (Nepali Names for Plants ) konnte der botanische Namen gefunden und in der bereits erwähnten Literatur nachgeprüft werden.

Obwohl die Flüsse des Kathmandu-Tales geologisch unterschiedliche Quellgebiete haben - die nördlichen Talumrandungen bestehen aus Graniten und Gneisen, die südlichen aus Kalksteinen -, so sind doch das Fließverhalten und die Morphologie in der ausgedehnten Beckenebene untereinander vergleichbar. Dort wird die Ausprägung der Gewässer von den alluvialen Ablagerungen und einer gemeinsamen natürlichen hydrologischen Schwelle (Schlucht von Cobhar) bestimmt. Auf Grund des einheitlichen Naturraums im Beckeninnern entsprechen sich klimatische und floristische Bedingungen.

3.           NATURRÄUMLICHE   GEGEBENHEITEN   UND   ANTHROPOGENE  
EINFLÜSSE       AUF       DIE       GEWÄSSERMORPHOLOGIE       IM  
KATHMANDU-TAL

---

3. 1.       Geologische Voraussetzungen

Über 20 km weit fließt der Bagmati im Alluvium des flachen Talbodens. Die Sedimente unterscheiden sich auf Grund ihrer Herkunft in der Korngrößenzusammensetzung (Textur).

a) Lakustrische Sedimente (Seesedimente), die sich bis zur völligen Verlandung des prähistorischen Sees vor rund 29.000 Jahren ablagerten. Sie bilden eine sukzessiv abgelagerte Mergelserie (BOESCH, 1974). In diesem Zeitraum wurde der epigenetische Durchbruch bei Cobhar angelegt und die Schlucht von Cobhar spielte erstmals eine Rolle als Erosionsbasis für die Talentwässerung. Der See entleerte sich, und die Flüsse schnitten sich in die Talsedimente ein.

Nach einer Reihe verschiedener Erosionsphasen kam es vermutlich durch tektonische Bewegungen flußabwärts zu einer erneuten Aufstauung des Bagmati. Lakustrische Sedimente wurden dabei in bestehende Talsysteme eingelagert. Diese dunklen Mergel bezeichnet man als Kalimati (BOESCH, 1974).

b) Fluviale Ablagerungen: auf Grund der starken tektonischen Aktivität transportierten die Flüsse seit je besonders viel Geschiebe, das je nach dem, wo es erodiert wurde, von unterschiedlicher Art ist. Vom Quellgebiet des Bagmati an der nördlichen Talumrandung werden die Verwitterungsprodukte aus Graniten und Migmatiten vom Wasser weit in das Tal verschwemmt. Ein Grus von Quarzkoernern, Feldspäten und silberglänzenden Glimmerplättchen lagerte sich zwischen die Seesedimente. Grobgeschiebe und Kies bilden ausgedehnte alluviale Schwemmfächer am Fuße der Gebirgsumrahmung. Seit sich die Flüsse in die Seesedimente eintiefen konnten haben sie mit abnehmender

Fließgeschwindigkeit ihre Geschiebefracht nach der Korngröße sortiert und auf die lakustrischen Schichten abgelagert: Steine, Kies, Sand und Schluff.

Die fluvio-lakustrinen Sedimente bedecken eine Fläche von  
2  
annähernd 200 km<sup>2</sup>. Die tiefste Bohrung reichte 457 m tief, ohne jedoch das Grundgestein zu erreichen (DONGOL, 1985).

- c) Grobblockige Geroellhalden und Schuttkegel finden sich an den steilen Berghängen der Talumrahmung. Sie sind das Ergebnis der starken geologischen Aktivität im Kathmandu-Tal.
- d) Grundgestein tritt im Quellgebiet des Bagmati in Form von Graniten und Migmatiten auf.  
Am Talboden erheben sich bis zu 150 m hoch Grundgebirgsrücken aus dem Alluvium. Der markanteste dieser aus vordevonischen Gesteinen (vor 400 Mio. Jahren) aufgebaute Riegel ist der Kalksteinrücken von Kirtipur im Süden des Tales. Mit der Schlucht von Cobhar wird dieser vom Bagmati durchbrochen. Die Hügellzonen von Pasupatinath oestlich von Kathmandu und Gokarna im Nordteil des Beckens, die ebenfalls vom Bagmati durchbrochen werden, bestehen aus Phylliten und Schiefeln.

Wie bereits erwähnt funktioniert die Schlucht von Cobhar als geologische Schwelle. Sie bestimmt das Gefälle des Bagmati und somit aller Flüsse des Tales und reguliert als natürliche Erosionsbasis das Geschiebe--Gleichgewicht. Die Schlucht von Pasupatinath und der Durchbruch bei Gokarna haben eine ähnliche Funktion für die stromaufwärts liegenden Flußabschnitte.

Tektonische Bewegungen an der geologischen Scherfläche von Daksinkhali im Süden des Tales haben die noerdlich anschließenden Talsedimente verbogen. Mit 20 bis 25 Grad fallen sie von der Scherfläche gegen Norden ein (BOESCH, 1974). Infolgedessen stehen im Nordteil die jüngeren, vorwiegend sandig-kiesigen Ablagerungen an, während im Zentrum des Beckens und weiter nach Süden auch die tieferliegenden Kalimati-Schichten zutage treten. Die dunkle Farbe der tonigen Ablagerungen, die über 100 m dick sein koennen, beruht auf dem Gehalt an organischem Material. Schichten mit besonders hohen Kohlenstoffgehalten wurden zeitweise sogar abgebaut und als Brennmaterial verwendet (HAFFNER, 1979). Der Kalimati besitzt wasserstauende Eigenschaften und ist oertlich von sandigen und kiesigen Horizonten überlagert.

Abb.7: Geologie im Kathmandu-Tal.  
Quelle: DONGOL,1985.

Kalimati-Horizonte werden vom Bagmati ab km 167,5 von der Mündung des Manohara bis zur Schlucht von Cobhar auf insgesamt 11,5 km Länge aufgeschlossen. Auf rund 15 km Länge fließt der Bagmati im noerdlichen Teil des Tales durch alluviale Ablagerungen wie Schotterfluren und sandige Schwemmfächer. Auf ca. 1 km durchquert er Geroell und Schuttkegel. 7 km lang vertieft sich sein Bett in Grundgestein.

Kalimati  
Geroell  
fluviale  
Ablagerungen

### 3. 2. Klimatische Voraussetzungen

Die Niederschläge, die im Einzugsgebiet fallen (Gebietsniederschläge), bestimmen das Abflußregime der Flüsse.

Von der Gesamtmenge des Niederschlags, die den Erdboden erreicht, wird der größte Teil von den Pflanzen aufgenommen und transpiriert sowie an der Oberfläche des Bodens und der Pflanzen direkt verdunstet (Evapotranspiration). Für Kathmandu gibt SHARMA die Evapotranspiration mit jährlich 961 mm an. Diese Menge steht dem Abfluß nicht zur Verfügung. Die Verdunstung (Evaporation) an der Wasseroberfläche, insbesondere von langsam fließenden Flüssen und Bächen, vermindert den Abfluß zusätzlich. Die Rate der Verdunstung hängt ferner von der Breite der Flüsse, ihrer Wassertemperatur und der Lufttemperatur ab.

Die Wasserspeicherfähigkeit (Feldkapazität) der Boeden bestimmt die Aufenthaltsdauer des Gebietsniederschlags im Einzugsgebiet. Sie hängt v.a von der Durchlässigkeit des Bodens ab. Oberflächennahe, wasserstauende Kalimati - Horizonte verhindern

die Perkolation des Wassers in bodentiefere Schichten (SHARMA, o.J., S. 107). Es kommt zu einem direkten Abfluß der abflußwirksamen Niederschläge. Die ausgedehnten artesischen Zonen in den Talauen der größeren Flüsse im Kathmandu-Tal (SHARMA, NAUTIYAL, 1966) sind vermutlich auf ausstreichende tonige Kalimati-Schichten zurückzuführen.

Hohe Regenintensitäten führen insbesondere nach der Sättigung der Boeden zu einem starken oberirdischen Abfluß, der flächig oder in Rinnsalen der Neigung der Geländeoberfläche folgt. Fehlende Bodenvegetation beschleunigt diesen Vorgang.

Der Wasserabfluß in Nepal beträgt 72 % der gesamten Niederschlagsmenge, und 90 % der Abflußmenge fließen von Juli bis September in der Regenzeit ab (SHARMA, o.J., S. 47; vgl. Abb. 6).

Der Bagmati ist ein ausgesprochener Fluß des Sommermonsun-Regimes. Anders als die großen antezedenten Flüsse des Himalaya wird er nicht von Gletschern gespeist. Obwohl sein Quellgebiet bis auf 2.700 m reicht, kommt Schnee dort selten vor. Im Winter wird der Fluß im Kathmandu-Tal hauptsächlich vom Grundwasser gespeist (vgl. Kap. 2. 1. 3. Abb. 6).

Die Abflußganglinie beschreibt die Veränderung des Abflusses in Abhängigkeit der Zeit. Sie ist ein Maß dafür, wie schnell Niederschläge im Einzugsgebiet abflußwirksam werden, und wann nach Beginn der Regenfälle mit Hochwasser gerechnet werden muß.

Für den Bagmati koennen auf Grund fehlender Meßdaten keine Hochwasserganglinien erstellt werden. Allgemein kann jedoch gesagt werden, daß die Niederschlags-Abflußvorgänge in der Monsunzeit durch intensive Regenfälle und ein schnelles Anspringen der Flüsse (rasches Eintreffen von Hochwasserwellen) gekennzeichnet sind. In Tansen, 180 km westlich von Kathmandu, an der Südflanke des Mahabharat-Gebirges, wurden Niederschlagsintensitäten von über 400 mm / Tag gemessen (JACKSON, 1987, S. 35).

Heftige Hochwasser während der Monsunzeit liefern den bettbildenden Durchfluß (LANGE u. LECHER, 1989) und sind von großer Bedeutung für die Gewässermorphologie (oebed-forming eventsoe).



### 3. 3. Der Faktor Mensch

#### 3. 3. 1. Nutzungsansprüche an die Fließgewässer

Das Untersuchungsgebiet ist vermutlich schon seit rund 2000 Jahren besiedelt (MÜLLER, 1984, S. 8). Die fruchtbaren Boeden, ausreichend vorhandenes Wasser zur Bewässerung der Felder und die klimatische Begünstigung des Tales ließen es zu einem alten Kulturzentrum an der Handelstraße zwischen Tibet und Indien werden. Die Flüsse standen durch ihre religioese Bedeutung als Sinnbild für das Immerwiederkehrende schon immer im Mittelpunkt des täglichen Lebens der Hinduisten und Buddhisten. Viele Tempelanlagen entlang der Flüsse, wo den Goettern geopfert wird und die Toten dem Fluß übergeben werden, zeugen von der Wichtigkeit der heiligen Flüsse.

Neben der religioesen Bedeutung sind die Flüsse vor allem für die Trinkwasserversorgung, Bewässerung der Felder und zur Energiegewinnung notwendig. Neben diesen Hauptaufgaben dient der Fluß zur Bausandgewinnung und zur Müll- und Abwasserbeseitigung.

Angesichts der vielfältigen, althergebrachten Nutzungsansprüche der wachsenden Bevoelkerung erscheint es unwahrscheinlich, anthropogen unbeeinflusste Fließgewässer im Kathmandu-Tal zu finden. Der natürliche Bezugspunkt, der für die Bewertung der Natürlichkeit der Flüsse notwendig wäre (vgl. Kap. 4. 5.), ist in der euhemeroben Landschaft (intensive Kulturlandschaft) verlorengegangen. In Anbetracht des langen Besiedlungszeitraumes wäre es mühsam, eine Aussage darüber zu treffen, ob das heutige Erscheinungsbild der Gewässer morphogenetisch das Resultat natürlicher Gegebenheiten oder menschlicher Beeinflußung ist.

Der Autor beschränkt sich im folgenden auf die Feststellung der menschlichen Aktivitäten am Bagmati und anderen Flüssen im Tal, ohne diese für die Entstehung der heutigen Morphologie bewerten zu wollen. Wir unterscheiden zwischen direkten Einflüssen in die Gewässergeometrie und indirekten Beeinflussungen, die mit zeitlicher Verzögerung auf die Gewässermorphologie wirken.

### 3. 3. 2. Direkte Beeinflußung

---

TEMPEL BEGLEITEN DEN HEILIGEN FLUß. Am Bagmati sind v.a. im Stadtgebiet von Kathmandu und Patan ausgedehnte Tempelanlagen zu beobachten. Aus Steinquadern zusammengesetzte Tempeltreppen reichen bis zu den Sohleneckpunkten hinab. Örtlich sind sie mehrere 100 m lang und werden von runden Steinplattformen (Podesten) unterbrochen. Auf diesen sogenannten Ghats werden die Toten verbrannt. Bei den heiligen Tempeln von Pasupatinath bspw. sind auf ca. 450 m die Ufer beidseitig durch diese massiven Tempeltreppen befestigt (Abschnitt Bag. 14). 700 m lang sind die Tempeltreppen am rechten Ufer oberhalb der Bisnumati-Mündung (Bag. 21). Weitere Tempel finden sich auf der gesamten Flußlänge im Untersuchungsgebiet.

IM SOMMER WERDEN DIE REISFELDER IN DEN TALAUEN UNTER WASSER GESETZT. Massive höhenverstellbare Querwerke, die ein Netz von Bewässerungskanälen mit Flußwasser speisen finden sich bei Pasupatinath (340 ha bewässerbare Fläche im Sommer) und Gokarna (320 ha; MÜLLER, 1984). Sie unterbrechen das Flußkontinuum und beeinträchtigen die Gewässerökologie. Zur Bewässerung der angrenzenden Reisfelder durchstechen die Bauern sehr häufig die Uferböschungen. Quer gegen die Stromrichtung angelegte Flechtzäune leiten das Wasser aus dem Fluß ab. Die angeschnittenen Ufer sind oft Angriffspunkte für die Erosion, die sich von dort weiter ausdehnen kann. Das Wasser wird durch kleine umrahmende Erdwälle auf den Feldern zurückgestaut. Wo diese jedoch zerstört sind, strömt das Wasser ungehindert über die Uferböschung in den Fluß zurück. Es kommt zur Ausbildung von Gullies und Erosionsrillen. Die zur Ausleitung verwendeten Flechtzäune reichen örtlich bis in die Flußmitte und verändern dadurch die Strömungsverhältnisse. Es kann zu Verwirbelungen und Auskolkungen im Sohl- und Uferbereich kommen. Die Flechtzäune bestehen aus in den Boden gerammten Pfählen, um die gespaltener Bambus und/oder Reisig gewunden ist. Mit Grassoden und Sandsäcken verfestigt dienen sie auch als Böschungssicherung. Als Bühnen zur Sicherung von Prallhängen und Ufergehölzen erweisen sie sich als sehr wirkungsvoll.

DIE AUSDEHNUNG DER INFRASTRUKTUR. Die Erschließung des Tales mit befestigten Straßen wirkt sich auch auf die Gewässermorphologie aus. Befahrbar, durch mehrere Fundamente im Flußbett verankerte Brücken haben die schmalen Fuß- und Hängebrücken abgelöst. Der massive Eingriff in die Gewässergeometrie ist hierbei nur ein Aspekt der menschlichen Beeinträchtigung. Zur Sicherung von Straßen und Brücken scheut man weder Mühe noch Kosten. Im Gefährdungsbereich der Brücken findet man die meisten Drahtgambionen, die mit großem Aufwand zielgerichtet als Längs- oder Querwerke (Buhnen) das Bauwerk sichern sollen. Im Brückenbereich sind Ufer und Flußbett besonders gut erschlossen und sehr leicht zugänglich. Durch den Anschluß der Flüsse an die Infrastruktur der Städte werden die Uferböschungen zur Ablagerung von Müll benutzt, der beim nächsten Hochwasser vom Fluß wegespült wird. Die Nähe der Straßen macht diese Flußabschnitte besonders interessant für die Entnahme von Flußsand.

Das anhaltende Wachstum der Städte hat in den letzten Jahren zu einem Bauboom im Kathmandu-Tal geführt. Am einfachsten und billigsten ist die Gewinnung des Bausandes aus dem Fluß. Die nicht zu unterschätzende Menge Sand, die täglich aus den Flüssen geschaufelt wird, wird im Brückenbereich mit LKWs und Traktoren abgefahren. An schlecht zugänglichen Stellen wird der Sand in Säcken oder Körben abtransportiert. An der Ring-road Brücke am Dhobi-Khola konnten während der Sommermonate zu jeder Tageszeit ca. 7 LKWs bei der Beladung von Sand beobachtet werden (vgl. Abb. 8)

Durch die Sandentnahme kommt es zur Störung des natürlichen Geschiebegleichgewichts. Die Folge ist eine verstärkte Tiefenerosion, die durch das Ausgraben des Flußbettes hervorgerufen wird. Besonders deutlich zeigt sich dies an den Brückenwiderlagern und den im Flußbett verankerten Fundamenten, die stellenweise bis zu 2 m tief freigespült sind (vgl. Abb. 9 und 16-18). Die Eintiefung des Flußbettes macht sich auch an unterspülten Tempeltreppen am Bagmati zwischen Patan und Kathmandu bemerkbar. Schließlich wird die Böschung direkt durch Viehtritt weidender Kühe und Wasserbüffel beschädigt (Kap. 3. 4. 4.).

Abb.8: Flußsamentnahme aus dem Dhobi-Khola oberhalb der Ring-road Brücke. August 1989.

Abb.9: Samentnahme unter der Ring-road Brücke am Bisnumati (vgl. Abb. 16 u. 17). März 1989. Zur Orientierung vgl. Abb.4,

### 3. 3. 3. Indirekte Beeinflussung

---

BÄUME ALS VIEHFUTTER UND BRENNHOLZLIEFERANT. Auf schmalen Uferstreifen, die nicht den landwirtschaftlichen Flächen weichen mußten, wird oft Vieh geweidet. Durch Verbiß - v.a. von Ziegen - fallen viele uferstabilisierende Gehoelzpflanzen aus. Große Laubbäume werden als Futterbäume genutzt. Beim sog. Schneiteln werden die Bäume bestiegen und nur soviel Laub heruntergeschnitten, daß das Überleben der Pflanze gesichert bleibt. Das Laub wird an das Vieh verfüttert, größere Äste dienen als Brennholz. Wegen des gestiegenen Brennholz- und Viehfutterbedarfs ist jedoch anzunehmen, daß die Bäume übernutzt wurden, was zur Beseitigung der Ufergehölze geführt hat.

Die ufersäumende Erle (*Alnus nepalensis*; nepali: Utis) konnte bspw. bei Gokarna in geschneitem Zustand beobachtet werden. In der Literatur (PANDAY, 1982) wird ihr die Nutzung als Futterbaum (Fodder Tree) zugeschrieben. Eigene Befragungen der Bauern von Gokarneshwar (bei Gokarna) ergaben jedoch, daß Utis nur als Brennholz genutzt wird.

DIE ZERSTÖRUNG DER WÄLDER. Vermutlich wirkt sich die Entwaldung der Einzugsgebiete im Kathmandu-Tal indirekt negativ auf die Uferstabilität und die Gewässermorphologie aus. Die verminderte Wasserspeicherkapazität des Umlandes führt zu einer Erhöhung des abflußwirksamen Niederschlags (DVWK, 1982), der relativ rasch abfließen kann und starke Hochwasserwellen in kurzer Abfolge mit sich bringt. Die Heftigkeit solcher Hochwasser beansprucht das Gerinne besonders stark und verändert das Flußbett (Kap. 3. 4. 1. ).

Wiederaufforstungen in den Middle Hills (nepalesisches Mittelland) würden nach GILMOUR (1985) folgende v.a hydrologische Auswirkungen zeigen:

1. Die flächige Bodenerosion würde soweit reduziert werden, daß sich eine angepaßte Bodenvegetation beständig entwickeln kann.
2. Die Sedimentation im Unterlauf würde reduziert, wenngleich auf Grund der hohen natürlichen geologischen Erosion nur in geringem Maße.
3. Der gesamte Wasserabfluß ist in einem bewaldeten Einzugsgebiet niedriger. Im Unterlauf des Fußes sind die Auswirkungen auf den Abfluß vermutlich minimal.

4. Quellen oder Brunnen, die aus einem bewaldeten Gebiet gespeist werden, zeigen einen Rückgang ihres Ertrages, insbesondere während Zeiten geringer Wasserführung.
5. Eine Wiederaufforstung von Quellgebieten würde das Ausmaß von Flutwellen verringern. Die Auswirkungen wären jedoch bei größeren Einzugsgebieten eher von geringer Bedeutung." (Übersetzung des Verf.)

Vor allem bei Flüssen kleiner Einzugsgebiete zeigt die Vegetation direkte Auswirkungen auf die Wasserführung. Waldflächen wirken ausgleichend auf den Abfluß durch:

- Retention der Niederschläge in den Kronen und Verdunstung =Interzeption.
- Verdunstung vom Boden = Evaporation.
- Verdunstung nach Aufnahme durch die Pflanzen =Transpiration.
- Versickerung der Niederschläge im Boden, die durch die tiefe Durchwurzelung gesteigert und erleichtert wird.

Das Abflußverhalten von Flüssen größerer Einzugsgebiete wird v. a. im Unterlauf jedoch nur noch gering vom Bewaldungsprozent bestimmt. Für die Entstehung von Hochwasserwellen sind andere Faktoren wie Regenintensität und -Dauer, Geologie und Topographie des Einzugsgebiets etc. von Bedeutung. BOUGHTON (1970, zit. in GILMOUR, 1985) stellt fest:" . . . that there was no evidence from Australian studies to indicate that the presence of forests had any influence on the occurrence of major floodings.oe

Es ist anzunehmen, daß die Vergiftung der Flüsse im Kathmandu-Tal (Kap. 1. 2.) nachhaltig die Verarmung der Biotope bewirkt hat. Dies bedeutet auch eine Schwächung der oekologischen Stabilität, welche letztendlich angestrebtes Ziel einer natürlichen Uferstabilität sein sollte.

### 3. 4. Auswirkungen auf die Uferstabilität

---

#### 3. 4. 1. Mechanische Grundlagen

---

DAS WESEN DER EROSION. Im Alluvium des flachen ausgedehnten Talbodens neigen die Flüsse verstärkt zur seitlichen Erosion der Ufer. Dies liegt zum einen an dem geringen Fließgefälle von durchschnittlich 0,247 % am Talboden. Zum anderen an der Erosionsanfälligkeit des Ufersubstrats. Das mit dem Begriff der >Erodibilität< bezeichnete Maß der Abtragungsanfälligkeit (WEISE et. al., 1984) hängt wesentlich von der Korngrößenzusammensetzung (Bodenart) und der Gefügeform des Substrats ab.

Bei den hydraulischen Kräften, die in diesem Zusammenhang maßgebend sind, handelt es sich um die Schubkräfte, die entlang der Berührungsfläche zwischen fließendem Wasser und dem Gerinne wirken. In der Fachsprache verwendet man hierfür den Begriff der Schleppspannung (gemessen in N/qm), also die Kraft des fließenden Wassers pro Flächeneinheit Sohle bzw. Boeschung (ZELLER, TRÜMPLER, 1984).

Sehr viele Schäden an Bächen und Flüssen sind auf die Überbeanspruchung des Gewässerbetts durch das fließende Wasser zurückzuführen. Man versucht deshalb Grenzwerte der zulässigen Beanspruchung festzustellen. Grenzwerte, die auf der maximal zulässigen Schleppspannung (= Grenzscheppspannung) basieren, sind von einer großen Zahl von Parametern abhängig: es kommt darauf an, ob das Flußbett gerade oder gekrümmt, breit oder schmal ist. Je schmaler das Gerinne ist, um so kleiner wird die Boeschungsbeanspruchung. Die Grenzscheppspannung hängt davon ab, ob das Gerinne aus kohärentem oder nicht kohärentem Bodenmaterial besteht, bewachsen oder unbewachsen ist und schließlich, ob die Dauer großer Beanspruchung kurz oder lang ist.

Da ein Teil der Parameter nicht quantitativ erfaßt werden kann und den Ergebnissen oft unterschiedliche Versuchsanordnungen und Bedingungen zugrunde liegen, sind die verschiedenen Grenzwerte nicht einheitlich. Was jedoch die Beanspruchung der Ufer und Boeschungen angeht, kann allgemein folgendes gesagt werden:

- (1) Mit Vegetation bewachsene Böschungen sind widerstandsfähiger gegen Erosion als unbewachsene. Sie weisen eine höhere Grenzschleppspannung auf.  
Nach BEGEMANN widersteht eine Grasböschung bei kurzer Überflutung der Kraft des Wassers bis zu einer Höhe von 20 - 30 N/qm. KLAUSING errechnete eine maximal zulässige Schleppspannung von bis zu 105 N/qm bei gleichen Voraussetzungen (beide zit. n. ZELLER, TRÜMLER, 1984).
- (2) Der Bewuchs der Uferböschung wandelt die Energie des Wassers um, er hemmt den Hochwasserabfluß und reduziert die Böschungsbeanspruchung.
- (3) Bei gleicher Bodenart weisen steilere Böschungen eine niedrigere maximal zulässige Schleppspannung (Grenzschleppspannung) auf als flachere.
- (4) Je kürzer die Beanspruchung des Bodenmaterials, um so größer ist die Grenzschleppspannung.
- (5) Für festgelagertes, sandig-kiesiges Material unter kurzer Beanspruchungsdauer ist die Grenzschleppspannung etwa 10 - 20 % höher als für lockeres Material.
- (6) Einzelkorngefüge mit einer Korngröße von bis zu 2 mm hat eine niedrigere Grenzschleppspannung als kolloidaler Boden aus Ton (Ton 12,0 N/qm; Grobsand 6,0 N/qm. Werte auf Flußsohle bezogen. LANGE, LECHER, 1989)
- (7) Mit zunehmenden Tongehalt des Substrats, d. h. mit zunehmender Kohäsion steigt die max. zulässige Schleppspannung.
- (8) Wasser mit hoher gelöster Feststofffracht ist träger als klares Wasser und wirkt weniger erosiv.

Aus den aufgeführten Punkten geht folgendes hervor:

- a. Die geologische Stabilität der Uferböschungen ist in den tonigen Kalimati-Horizonten größer als auf den alluvialen Schwemmfächern und den rezenten fluvialen Ablagerungen.
- b. Der Bewuchs der Uferböschungen mit tiefwurzelnden Pflanzen trägt erheblich zur Stabilität bei.
- c. Starke und lang anhaltende Hochwasser beanspruchen die Uferböschung in besonderem Maße (sog. "bed-forming eventsoe).
- d. Die Lage zur Stromrichtung und die Form der Böschungen sind für die Umsetzung der Wasserkräfte von Bedeutung.



### 3. 4. 2. Unterspülung der Ufer

Die Linienführung der Flüsse und Bäche im Becken von Kathmandu wird v. a. durch die leicht erodierbaren alluvialen Ablagerungen bedingt.

Für die Unterspülung der Ufer ist u. a. die Feststellung von ZELLER und TRÜMLER (1984) wichtig, daß im Querprofil des Gerinnes die Sohleneckpunkte wesentlich weniger beansprucht werden, wogegen in 2/3 Wassertiefe größere Kräfte auf die Böschungen wirken. Da selbst die widerstandsfähigeren Kalimati-Horizonte von sandigen Ablagerungsschichten durchzogen sind, und zudem durch ihre tektonische Verschiebung örtlich nur als ausstreichende Horizonte die Ufer gestalten, bestehen vermutlich auch in der Kalimatizone im Süden des Tales genügend labile Angriffshorizonte für die Erosion der Ufer.

Es ist nur eine relativ geringe vertikale Angriffsfläche am Ufer im Mittelwasserbereich nötig, um darüberliegende mächtige, tonige oder humuse Bodenhorizonte einstürzen zu lassen.

Abb.10: Vorgänge bei der Unterspülung des

Ufers. aus: LANGE, LECHER, 1989.

Das Ausmaß der Erosion durch Unterspülung der Ufer ist daher besonders gravierend. Mit fortschreitender Auskolkung bricht dann die gesamte Böschung ab. Der in das Gewässer gerutschte Boden kann wieder Ursache für weitere Schäden sein (LANGE, LECHER, 1989, S. 123), wenn die Auskolkung nicht im Bereich des Hauptstroms stattfindet und der Boden direkt fortgeschwemmt wird. Dies ist der Fall an Prallhängen.

DURCH MÄANDRIEREN VERLAGERT DER FLUß SEIN BETT. Uferschäden solcher Art, die nicht durch uferwärts gerichtete Sekundärströmungen passieren, sondern durch die permanent wirkende Kraft der Hauptströmung entstehen, sind oft das Initialstadium der Mäan-

derbildung. Wird die Hauptstroemung - erst einmal von einem Ufer abgelenkt - gegen das gegenüberliegende Ufer gerichtet, so pflanzt sich diese Bewegung wellenartig flußabwärts fort: der Fluß fängt an zu mäandrieren, er schlägt buchstäblich aus. Das Mäandrieren von Flüssen ist eine natürliche Erscheinung. Die Bezeichnung geht zurück auf den Fluß Mäander in Kleinasien mit dem heutigen türkischen Namen Büyük Menderes.

Abb. 11:  
Vorgänge bei der  
Bildung von Fluß-  
mäandern: a.  
schematische Dar-  
stellung der Ent-  
wicklungsstadien.  
b. Fließgeschwin-  
digkeitsverteilung  
in einem Flußbett  
(aus FEESER, 1983).

Die Beseitigung natürlicher Ufergehölzstreifen beschleunigt die Mäanderbildung. Exzessive Erosion an den Prallhängen und gewaltige Mutterbodenverluste sind die Folge (vgl. Abb. 13 - 15). Weshalb Flüsse auch unter natürlichen Bedingungen anfangen zu mäandrieren, ist bis heute nicht voellig geklärt. Neben der Koriolis-  
kraft, die durch die Erddrehung entsteht, werden auch Unterschie-  
de im Ufersubstrat und v. a. geringes Fließgefälle dafür verantwort-  
lich gemacht.

Am Bagmati konnte anhand der topographischen Karte, die auf Luftbil-  
dern von 1971 basiert, die Entstehung und Ausdehnung von Mäandern  
festgestellt werden: innerhalb von 18 Jahren hat sich ein Prallhang oestlich  
von Bodhnath (Abschnitt Bag. 10, km 174,4) um ca. 50 m lateral ausge-  
dehnt. Die Amplitude des neuen Mäanders beträgt heute ca. 50 m. Auf  
einer alten Schrägbildaufnahme, vermutlich aus den 60er Jahren (HAFF-  
NER, 1979), ist ein lichter Gehölzsaum an dieser Stelle zu erkennen. Die  
Ufer waren damals fast gestreckt. Heute reichen bewässerte Reisfelder  
bis an die zerstoerten Ufer und jedes Jahr wird während des Monsuns ein  
Teil des 80 cm mächtigen Humushorizontes vom Wasser unterspült und  
weggeschwemmt.

Die Flußlänge eines heute 6 km langen Abschnittes (Bag. 5, km 182,8 bis  
km 177,7) hat sich im gleichen Zeitraum um schätzungsweise 900 m  
durch Veränderung der bestehenden Mäander verlängert. Beide erwähn-  
ten Abschnitte liegen in sandig-kiesigem Alluvium im Nordosten des Ta-  
les.

Für das Aufnahmeverfahren wurde als Maß des Mäandrierens von

einzelnen Abschnitten die >Talentwicklung< gewählt. Dieser Wert bezeichnet das Verhältnis von tatsächlicher Lauflänge des Gewässerabschnittes (Linie der tiefsten Punkte im Tal) zur Luftlinienentfernung des Anfangs- und Endpunktes dieses Abschnittes. Der Quotient wird mit 100 multipliziert. Diese Verhältniszahl ist jedoch nur dann aussagekräftig, wenn sich der Abschnitt in einem topographisch homogenen Gebiet befindet und die Linienführung nicht durch geologische Hindernisse erzwungen ist. Der Abschnitt Bag. 5 hat eine Talentwicklung von 176,5%.

### 3. 4. 3. Rückschreitende Erosion (Gully Erosion)

---

Diese Art des Uferabtrags ist in ihrem Ausmaß bei weitem nicht so gravierend, wie der Bodenabtrag, der durch die Unterspülung der Ufer verursacht wird. Dort jedoch, wo sich sogenannte Gullies an größeren steilen Böschungen bilden, können sie beträchtliche Mengen von Böschungsmaterial erodieren. Lokal beschränkt kommen sie auf der gesamten Länge des Bagmati im Untersuchungsgebiet vor.

Sie entstehen durch oberirdisch über die Böschung abfließendes Wasser, das die angrenzenden Flächen überschwemmt hat. Durch die hohe Regenintensität während des Monsuns ist der Boden nicht mehr in der Lage den gesamten Niederschlag aufzunehmen. Zudem wird die Perkolations des Wassers durch wasserundurchlässige Tonhorizonte (Kap. 3. 2.) gehemmt. Der Hangneigung folgend fließt das Wasser zunächst flächig über die Uferböschung in den Fluß zurück und bildet dabei tiefe Erosionrillen, in denen es sich nun konzentriert und die Rinnen dabei weiter vertieft. Durch nachstroemendes Wasser, das sich immer tiefer in die Böschung einschneidet, dehnt sich die Abtragungsfläche nach hinten aus. Es kommt zur rückschreitenden Erosion.

Am Talboden wurde die Gullybildung an Uferböschungen von angrenzenden Brachflächen festgestellt. Die Nutzung als Viehweide oder Ödland begünstigen den flächigen oberirdischen Wasserabfluß.

Bei Hochwasser mit großer Jährlichkeit, die das Gewässerumland

überfluten, sind Boeschungsschäden durch das in den Fluß zurückfließende Wasser größer als bei heftigen Regenfällen. Der Vorgang der rückschreitenden Erosion ist hierbei derselbe.

#### 3. 4. 4. Schäden durch Viehtritt und Verbiß

---

Den meisten Lesern dürfte bekannt sein, daß Kühe in der hinduistischen Religion heilig sind. Von dieser Vorstellung leitet sich wohl auch der liebevolle Umgang der Bauern mit ihren Wasserbüffeln ab. Wasserbüffel sind kein heiliges Tabu, dennoch werden sie selten geschlachtet und dienen hauptsächlich der Produktion von Milch.

Sehr oft werden die wasserliebenden Büffel im Fluß hingebungsvoll von ihren Hirten gebadet. Beim Eintreiben in den Fluß über die Uferboeschung kommt es zur Zerstörung von Vegetation und Boden-  
decke. Diese Schäden treten ausgedehnter auf, wenn das Vieh zum Abweiden der grasbewachsenen, verlandeten Gleithänge und Boeschungen gehütet wird.

Uferschäden durch Viehtritt und rückschreitende Erosion am Hanumante  
Abb. 11

Die als Viehgangeln bezeichnete Form der Bodenzerstörung erfolgt durch Prozesse der fluvialen Erosion und durch Massenbewegungsprozesse (WEISE et. al., 1984). Die Trittspuren sind nur die initierende Anfangsphase der Zerstörung der Bodendecke: wird durch Viehtritt die Bodendecke nicht direkt durchbrochen, so reichen schon Eintiefungen in der Grasnarbe als Angriffspunkte für die fluviale Erosion aus (WEISE et. al., 1984).

In diesem Zusammenhang muß auch der Schaden, der durch Verbiß von Gehölzpflanzen am Ufer entsteht, erwähnt werden, v.a. Ziegen sind hierbei wenig wählerisch. Werden Büsche und kleinere Bäume zu stark verbißen, dann gehen sie ein und beeinträchtigen die Uferstabilität nachhaltig.

Als begrenzenden Faktor für das Ausmaß der Schäden hat sich auch hier die Zugänglichkeit der Uferstreifen gezeigt.

### 3. 4. 5. Flächenhafter Oberbodenabtrag

---

Diese Erosionserscheinung bezeichnet den durch die hydraulischen Kräfte verursachten flächigen Abtrag von Oberbodenmaterial an der Uferboeschung. Wie bei der Unterspülung der Ufer sind Schleppspannungskräfte und die Scherfestigkeit (ZELLER, TRÜMPLER, 1984) des Bodenmaterials entscheidend. Eine geschlossene unversehrte Bodenvegetationsdecke wirkt der Erosion erheblich entgegen.

Da es sich um den Abtrag von oberirdischen Boden handelt, ist die Erosionsrate vergleichsweise (Kap. 3. 4. 2.) gering. Erodieren wird lediglich die Fläche, auf die die wirkenden hydraulischen Kräfte direkt gerichtet sind.

Zu der flächenhaften Abspülung der Uferboeschungen zählt auch die oberirdische Hinterspülung und Freilegung von Pflanzenwurzeln. Sie tritt v.a. bei Hochwasser auf, wenn die Boeschung unter Wasser steht und direkt der Hauptströmung oder Sekundärströmungen ausgesetzt ist. Werden die beschädigten Uferboeschungen nicht unterspült und weggerissen, so zeigen sich die Schäden der oberflächlichen Abspülung beim Rückgang des Hochwassers. Im Untersuchungsgebiet kam der oberflächliche Bodenabtrag v.a. im Mittel-/Hochwasserbereich auf nicht befestigten Uferstreifen vor.

Abb. 13: Blick von der Ring-road Brücke auf den Bisnumati am 15.07.89.

Abb. 14: am 22.07.89.

Abb. 15: am 18.08.89.

Abb. 13-17 : Verlauf der Ufererosion am Bisnumati unterhalb der Ring-road Brücke und Unterspülung der Brückenfundamente. Lage des Standort vgl. Abb. 4.

Abb. 13 : Zustand der Ufer am 15.07.89 zu Beginn der heftigen Monsun-Regen. Auf der rechten Seite reichen Gemüsegärten bis an das Ufer heran. Weiter flußabwärts und am linken Ufer dominieren Ufergehölze (vorwiegend Weiden).

Abb. 14 : Zustand der Ufer am 22.07.89 nach dem Rückgang des Hochwassers, das einen beträchtlichen Bodenverlust durch Unterspülung des rechten Ufers verursacht hat. Durch die Erosion am linken Brückenwiderlagers ca. 40 m flußaufwärts (vgl. Abb. 17) wird der Hauptstrom gegen das beschädigte rechte Ufer abgelenkt. Die Ausbildung eines Prallhanges wird verstärkt.

Abb. 15 : Zustand der Ufer am 18.08.89. Durch weitere Hochwasser hat sich die Erosion am rechten Ufer seitlich und flußabwärts ausgedehnt. Das Ufer wird als Prallhang wirksam und lenkt die Stromrichtung flußabwärts gegen das linke Ufer (oberer Bildrand), das nun vom Wasser unterspült und abgebrochen wird. Zum Schutz der freigespülten Pappel (im Bild rechts unten) und der Uferboeschung wurde ein Flechtzaun angelegt, der als Buhne funktioniert.

Abb. 16 : Die Ring-road Brücke über den Bisnumati am 15.07.89 (Aufnahmestandort von Abb. 13-15). Die Freispülung der Brückenpfeilerfundamente (ca. 2 m) wird durch Sandentnahme im Brückenbereich (vgl. Abb. 9) und die Auskolkung des Flußbettes durch die oberhalb der Brücke liegende Querschwelle verursacht. Man beachte den linken Brückenbereich!

Abb. 17 : Zustand des linken Brückenbereichs am 22.07.89. Durch die Erosion der linksufrigen Querswellenverankerung oberhalb der Brücke wurde die gesamte Boeschung weggerissen und das linke Brückenpfeilerfundament und das Brückenwiderlager freigespült. Zusätzlich wurde durch die Umlenkung des Hauptstromes die Erosion des flußabwärts liegenden Ufers begünstigt (vgl. Abb. 14).

Abb. 18 : Brücke bei New Baneswar (vgl. Fallbeispiel Kap. 4.8. und zur Lage des Standortes Abb. 4).

Abb. 16: am 15.07.89

Abb. 17: am 22.07.89

Abb. 18: Kap. 4. 8.



#### 4. DAS AUFNAHMEVERFAHREN

##### 4. 1. Notwendigkeit der Erfassung gewässerkundlicher Daten

Kapitel 1. 2. hat gezeigt, daß gewässerkundliche Daten kaum und nur lückenhaft vorhanden sind. Lückenlose und genaue hydrologische Daten sind u.a. für Stabilitätsberechnungen von Längs- und Querwerken (auch im Grünverbau) und v.a. für die Dimensionierung wasserbaulicher Anlagen (Kännel, Stauwehr) notwendig. Bevor man sich jedoch für solche künstliche Eingriffe entscheidet, sollte man sich über die Stellung der Fließgewässer in der Natur ein Bild machen. Die Ursachen, die massive Flußbauwerke unentbehrlich gemacht haben, werden oft übersehen.

Zur Notwendigkeit gewässerkundlicher Datenerhebung schreibt die

LÖLF (1985) :

Fließgewässer sind als wesentlicher Bestandteil der Landschaft neben ihrer Funktion im Naturhaushalt vielfältigen Nutzungen unterworfen. Nutzungen führen zu konkurrierenden Ansprüchen, die beim Handeln in der Landschaft einen Abwägungsprozeß erforderlich machen. Dieser Abwägungsprozeß spielt eine bedeutende Rolle bei Fragen des Schutzes und Eingriffen . . . . Für den Abwägungsprozeß sind moeglichst objektiv ermittelte Daten zugrunde zu legen.

Die Feststellung von KIRWALD (1944) über die Erfassung von Wildbächen ist grundsätzlich auf die Flüsse des Kathmandu-Tales übertragbar:

Die Erkundung und Erfassung der Zustände und Vorgänge im Wildbachgebiet hat sich zunächst auf die allgemeinen Verhältnisse zu erstrecken, dann auf die Vorgänge in den einzelnen Bachstrecken und schließlich auf das ganze Einzugsgebiet. Dabei ist jedoch nicht nur etwa der derzeitige Zustand festzustellen, sondern es sind vielmehr die Vorgänge zu erforschen, die diesen Zustand herbeigeführt haben, und die Ursachen und Wirkungen zu ermitteln, die für die Wildbäche kennzeichnend sind. . . . wir dürfen

im Wildbach keinen statischen Zustand erblicken, sondern einen ewig wechselnden Ablauf dynamischer Vorgänge, die in bestimmter Richtung gelenkt werden müssen.

Die Erfassung gewässerkundlicher Daten ist nicht mehr als eine Momentaufnahme der dynamischen Flußentwicklung. Die erste vollständige Erfassung der Fließgewässer im Kathmandu-Tal soll jedoch zum Verständnis der Vorgänge der Veränderungen beitragen. Das Erkennen komplexer Wechselbeziehungen ist die Grundlage für eine sinnvolle Planung:

anhand der erhobenen Daten kann in einem ersten Schritt die Analyse des Zustandes der Fließgewässer im Kathmandu-Tal durchgeführt werden. Selbst wenn die Erhebung bisher nur einmal erfolgt ist, so lassen sich doch stattgefundenen Entwicklungen und Veränderungen bis zum gegenwärtigen Zustand ableiten (Anamnese). Ferner kann festgestellt werden, inwieweit die Gewässer den Anforderungen der Umwelt, insbesondere der natürlichen Uferstabilität gerecht werden (Diagnose).

Erfasste Einflußgrößen auf die Fließgewässer geben Aufschluß darüber, wie sich die Situation möglicherweise in Zukunft entwickelt (Prognose). Der fünfte Schritt sieht den Vergleich von Diagnose und Prognose vor, damit geklärt werden kann, ob Handlungsbedarf besteht und flußbauliche Eingriffe stattfinden sollen. Gegebenenfalls wird dann als letzter Schritt mit einer flußbaulichen Therapie begonnen.

#### 4. 2. Ausgewählte Methoden der Fließgewässerbeschreibung

---

im deutschsprachigen Raum

---

Seit man in den letzten Jahren den Wert der Gewässer als unentbehrliches Biotop und wichtiges Landschaftselement erkannt hat, wird versucht neben der Gewässergüte auch den oekologischen Zustand von Flüssen und Bächen im Interesse des Natur- und Landschaftschutzes festzustellen.

Je nach Zielsetzung und Schwerpunkt der Untersuchung wurden mehrere Verfahren hierfür entwickelt.

Ob aus der Sicht der Landschaftspflege oder des Biotopschutzes, Schwierigkeiten treten immer dort auf, wo die Naturnähe eines Gewässers bewertet werden soll, da in den meisten Fällen der natür-

liche Bezugspunkt fehlt. Interessant ist deshalb neben dem Bewertungsverfahren das primäre Aufnahmeverfahren.

Für den Ausbau und die Unterhaltung von Fließgewässern unter oekologischen Aspekten hat der DEUTSCHE VERBAND FÜR WAS-SERWIRTSCHAFT UND KULTURBAU e.V. (DVWK, 1982) einen Bogen mit 32 Spalten zur Erhebung von Gewässerabschnitten erstellt. In freiem Text koennen auf einem Blatt Angaben u.a. zur "Linienführung", "Boeschung", "Lage" des Abschnittes, "Geologie" etc. gemacht werden.

Der "Gewässererhebungsbogen" ist für mögliche Ausbauvorhaben der einzelnen Abschnitte konzipiert. Angaben zum "Unterhaltungszustand", zur "Ufersicherungsart" etc. unterliegen der subjektiven Einschätzung des Bearbeiters und setzen Kenntnisse im Flußbau voraus.

Die Erhebung unterliegt keinem bestimmten Verfahren und kann auch nicht für eine Bewertung der Abschnitte herangezogen werden.

Die LANDESANSTALT FÜR ÖKOLOGIE, LANDSCHAFTSENTWICKLUNG UND FORSTPLANUNG NW und das LANDESAMT FÜR WASSER UND ABFALL NW (LoeLF, 1985) veroeffentlichten ein Bewertungsverfahren für den oekologischen Zustand von Fließgewässern.

Die Bewertung erfolgt nach dem Grad der Naturnähe von Struktur und Funktionen einzelner Merkmale.

Als Bewertungsmaßstab dient eine fünfstufige Skala, die den Gewässerabschnitt von natürlich (Stufe 5) bis naturfremd (Stufe 1) einstuft.

Zur Bewertung werden Merkmale herangezogen, die zur Charakterisierung des "Wirkungsgefüges" geeignet sind. Sie werden in den oekologisch unterschiedlichen Teilräumen getrennt untersucht. Dies sind: der aquatische Bereich, der amphibische Bereich, der terrestrische Bereich, Stillgewässer in der Aue und Quellen. Geeignete Merkmale sind: Geomorphologische Strukturelemente, Kleinbiotope, das Fließverhalten, Gewässergüte, Wasserpflanzengesellschaften, Ufervegetation, Vegetation der Aue, ausgewählte Tiergruppen. Gemäß ihrer natürlichen Ausprägung werden die Merkmale durch die fünfstufige Bewertungsskala klassifiziert. Die Untersuchung wird während der Vegetationszeit durchgeführt, um aussagekräftige Daten zu erhalten. Für jeden Untersuchungsabschnitt werden Feldprotokolle ausgefüllt, die einen Lageplan im Maßstab 1:2000 mit Legende enthalten. Durch Ankreuzen von Merkmalen und Ausprägungen werden Angaben über Geomorphologie, Hydrologie, Substrat und Strukturelemente gemacht. Durch Vorgabe bestimmter Kennarten soll die Aufnahme der Pflanzengesellschaften im Feldprotokoll erleichtert werden. Im Stammblatt ist u.a. die Lage des Untersuchungsgebietes und die Aufteilung der Untersuchungsabschnitte beschrieben. Bei der graphischen Darstellung wird für jeden einzelnen Untersuchungsabschnitt das Bewertungsergebnis als Balkendiagramm getrennt nach räumlichen Bereichen (s.o.) und der Zuordnung zu den Uferseiten eingetragen.

WERTH (1987) bildet für seine "Ökomorphologische Gewässerbewertung in Oberoesterreich" eine siebenstufige Bewertungsskala. Dabei geht er davon aus, daß das "anzustrebende biologische Optimum" dem natürlichen oder dem "gedachten" natürlichen Zustand entspricht.

Die Zustandsklassen beziehen sich auf den Natürlichkeitsgrad und reichen von natürlich bis naturfremd.

Für die Bewertung zieht WERTH Parameter heran, die die Geometrie, Sohle und Böschung des Gewässers beschreiben (Profil, Substrat, Gehölze etc.). Jeder Hauptparameter wird zunächst getrennt bewertet. Die "Gesamtzustandsklasse" ergibt sich aus der Addition der jeweiligen Einstufungen der Parameter und gilt für homogene Gewässerstrecken beidseitig. WERTH erläutert:

oeBei den Erhebungen selbst wird der gesamte Gewässerverlauf von oben nach unten begangen. Der Gewässerzustand der einzelnen (homogenen) Bach- oder Flußabschnitte wird an Ort und Stelle bewertet, und die charakteristischen Erhebungsergebnisse werden in . . . Kurzform notiert. Für wichtigere Gewässerstrecken wird ein eigenes Protokollblatt ausgefüllt, in dem zu den einzelnen Parametern nähere Angaben gemacht und im Detail bewertet . . . und Verbesserungsvorschläge gemacht" (werden).

oeDie kartographische Darstellung der Ergebnisse erfolgt in der bei Gewässergütekartierungen üblichen Bandform entlang der untersuchten Gewässer . . . mit den einprägsamen Farben Hellblau (Zustandsklasse 1), Hellgrün (2), Gelb (3) und Rot (4) für die Hauptklassen. . . . Hinweise auf die Größen der bewerteten Gewässer ergeben die unterschiedlichen Farbbandbreiten.oe

Beim internationalen Symposium Interpraevent 1988 in Graz stellte SCHANDA (1988) eine "Vorläufige Methode zur landschaftsoekologischen und landschaftsästhetischen Bestandsaufnahme und Bewertung von Fließgewässern" vor:

oeMit Hilfe eines umfassenden Formblattsatzes werden dabei die wichtigsten landschaftsoekologischen und landschaftsästhetischen Gegebenheiten und Charakteristika am und im Bachlauf sowie dem weiteren Umfeld im Zuge einer einmaligen Begehung erfaßt. Der Schwerpunkt liegt dabei auf den morphologischen und strukturellen Gegebenheiten sowie einer Grobcharakterisierung der Nutzungs- und Vegetationsverhältnisse. In einem Formblattsatz wird jeweils ein (relativ) einheitlicher Bach- bzw. Talabschnitt beschrieben, ergänzend sind zusammenfassende Beschreibungen des Gesamtgewässers sowie des Einzugsgebietes vorgesehen. . . . Zur besseren Nachvollziehbarkeit der Ergebnisse, als auch zur Erleichterung der Geländearbeit werden dabei moeglichst detaillierte Schlüsselbegriffe und verschiedene, moeglichst genau definierte Zustandsstufen, Größenklassen o.ä. vorgegeben.oe

Zur näheren Präzisierung und Gewichtung eines Merkmales benützt SCHANDA Häufigkeitszahlen (x,1,2,3). Zusätzlich ist für moeglichst viele Parameter und Merkmale eine Einstufung der Variabilität in drei Stufen (sehr variabel, wechselnd, relativ gleichfoermig) vorgesehen.

Zunächst bewertet SCHANDA Gewässerbett und Ufer anhand verschiedener Merkmale, wie morphologische Strukturelemente, Fließverhalten etc. (vgl. LÖLF, 1985). Als nächstes beurteilt er Bewuchs und Nutzung des Talbodens und der Hänge. Durch Zuordnung zu einer von fünf Klassen werden die Merkmalsgruppen in enger Anlehnung an LÖLF (1985) bewertet. Die Beurteilung schließlich von Landschaftsbild und Erlebniswert geschieht nach Kriterien, wie Ursprünglichkeit, Vielfalt und Geschlossenheit und unterliegt jedoch der Subjektivität des Betrachters.

Am Ende des Formblattsatzes erfolgt eine zusammenfassende Bewertung in Form einer Einstufung des Grades der Naturnähe sowie des Ästhetischen Gesamtwertes in einer siebenstufigen Skala. . . .

Die Arbeit von SCHANDA diente als Basis theoretischer Überlegungen für ein Verfahren zur Erfassung der Fließgewässer im Kathmandu-Tal. V.a. die genaue Definition von Schlüsselbegriffen schien eine Vereinfachung und Nachvollziehbarkeit der Geländearbeit, sowie die Vergleichbarkeit von Daten verschiedener Gewässerabschnitte und Bearbeiter zu gewährleisten.

#### 4. 3. Das Aufnahmeprinzip

##### 4. 3. 1. Die Aufloesung der Flüsse in homogene Aufnahmeabschnitte

Die Tatsache, daß sich ein Fluß oder Bach aus unterschiedlichen Gewässerzonen zusammensetzt muß bei dem Versuch einer zutreffenden Charakterisierung beachtet werden.

Die klassische Unterteilung in drei Gewässerzonen findet sich in der Biologie als Krenal (Quellzone), Rhitral (Zone des Gebirgsbaches), Potamal (Zone des Tieflandflusses) wieder. Für die geomorphologische Unterteilung ist die Unterteilung in Erosions-, Transport- und Sedimentations- oder Auflandungszone zweckdienlich. Aber selbst innerhalb dieser groben Zonierung sind die Flüsse morphologisch nicht einheitlich. Klimatische geologische und v.a. menschliche Einflußgroößen verändern lokal die Gewässermorphologie. Ein Fluß besteht aus einem Mosaik unterschiedlicher Abschnitte, die in ihrer Gesamtheit den Charakter des Gewässers ausmachen.

Zur Beschreibung muß der Flußverlauf also in Abschnitte aufgeteilt werden. Die Festlegung von scharfen Abschnittsgrenzen bezeichnet SCHANDA als problematisch. Am Bagmati konnten jedoch genaue Grenzen anhand sich verändernder Landschafts- und Gewässerstrukturen gezogen werden.

Bei Unsicherheiten der Grenzfestlegung war zu prüfen, ob die Abschnitte in Bezug auf ein bestimmtes Kriterium - je nach Ziel der Untersuchung koennen dies die Biotopausstattung, Landschaftsästhetik oder Erosionsverhältnisse sein - homogen sind. Die Abschnitte unterscheiden sich voneinander in diesem Punkt. Bei der vorliegenden Untersuchung war die Uferstabilität das Kriterium, das die Definition von Abschnittsgrenzen bestimmte und erleichterte.

Je stärker man einen Fluß in Abschnitte aufloest, desto größer wird dabei die Aussagekraft der erfaßten Abschnittsdaten und umgekehrt. Die Aufloesung erweist sich damit als Instrument, das unabhängig vom Aufnahmeverfahren die Genauigkeit der Darten regelt.

Bei der Wahl der Abschnittslänge muß man jedoch zwischen gewünschtem Informationsgehalt und dem Arbeitsaufwand abwägen. Für die Untersuchung wurde der Bagmat in 25 Abschnitte sehr stark aufgelöst, was in der Praxis nicht unbedingt notwendig erscheint. Die Abschnittslänge sollte 500 m in der Regel nicht unterschreiten.

4. 3. 2. Definierte Schlüsselbegriffe als Mittel zur standardisierten  

---

Beschreibung von Fließgewässern

---

Die Beschreibung und Darstellung der Flüsse und Bäche im Untersuchungsgebiet bezieht sich auf die beschriebene Problematik. Hierbei kam es dem Autor besonders darauf an, die dargestellte Situation (Kap. 3) mit geeigneten Parametern so genau wie möglich zu erfassen.

In Anlehnung an das Verfahren von SCHANDA ( 1988, Kap. 4. 2. ) werden zustandsbeschreibende Begriffe als Schlüsselbegriffe bezeichnet. Eine enge Definition der Schlüsselbegriffe (s. Anhang) soll der subjektiven Beurteilung des Bearbeiters bei der Aufnahme Grenzen setzen, wenngleich die Subjektivität auch nicht voellig ausgeschaltet werden kann.

In Form eines Multiple-Choice-Systems stehen dem Anwender verschiedene Begriffe zur Verfügung, durch welche er den jeweiligen Zustand der Flüsse und Bäche beschreiben kann.

Auf diese Art und Weise gelangt man zu einem standardisierten Verfahren, das -obwohl von verschiedenen Bearbeitern und an unterschiedlichen Flüssen und Abschnitten angewandt- vergleichbare Daten liefert. Die vorgegebenen Begriffe dienen dem Anwender gleichzeitig als Checkliste der aufzunehmenden Parameter. Sein Augenmerk wird auf die wesentlichen gewässermorphologischen Strukturen der Flußlandschaft gelenkt.

Ein weiterer Grund für die Anwendung von Schlüsselbegriffen war die Überlegung, die Interpretation der Daten durch Dritte - bspw. durch die Planungsbehoerde - möglich zu machen.

Die Zustandsbeschreibung soll also im Sinne einer Erhebung geschehen, die von RAMM und HOFMANN ( 1982 ) folgendermaßen definiert wird: "Bei Erhebungen muß man die Einflußgroessen so hinnehmen wie sie gegeben sind, der Untersuchende kann sie nicht verändernoe."



#### 4. 4. Erfassung und Kartierung problemrelevanter Strukturelemente

---

##### 4. 4. 1. Vegetation

---

Auf Grund ihrer uferstabilisierenden Wirkung wurde auf die Erfassung der Vegetation großen Wert gelegt.

Reste intakter Ufergehölze können Überzeugungsarbeit bei der Propagierung der Lebendbauweise im Flußbau leisten. Die Wirksamkeit der Pflanzen als Profilsicherung liegt in der fortlaufenden Durchwurzelung und Festigung des Bodens, in ihrem flächenabdeckenden Schutz der Böschungen, in der Regeneration und Selbstregulation (LANGE, LECHER, 1989). Bewachsene Uferböschungen zeichnen sich durch zunehmende Stabilität aus und bleiben nachhaltig funktionsfähig, wenn eine regelmäßige, angepaßte Pflege und Nutzung der Ufergehölze durchgeführt wird.

Als ökologisches System ist die Pflanzengemeinschaft in der Lage kleinere Beschädigungen an der Uferböschung selbständig auszugleichen.

In Anbetracht des wachsenden Energiebedarfs (Brennholz, Viehfutter) sind sie deshalb von großer Bedeutung für die ländliche Bevölkerung. Zudem sind intakte Ufersäume von besonderem landschaftsästhetischem Reiz, was vermutlich nicht nur von der zunehmenden Schar von Touristen im Kathmandu-Tal begrüßt wird.

Bei der Aufnahme wurde dem Vorhandensein und der Ausprägung eines Gehölzsaums besondere Aufmerksamkeit geschenkt. Die Länge und Dichte der Gehölzstreifen entlang den Ufern wurde auch für die Bewertung der Vegetation aus folgenden Gründen herangezogen:

- (1) Die starke Bodendurchwurzelung der Gehölze erhöht die Stabilität der Uferböschungen.
- (2) Es wird unterstellt, daß im Bereich bestehender Ufergehölze eine größere Artenvielfalt herrscht (Ausbildung eines Mikroklimas, Bodenbeschattung etc.). Dichte Ufersäume sind Lebensraum für Pflanzen und Tiere und verbessern die ökologischen Verhältnisse.

- (3) Bestockte Uferstreifen sind leicht auszumachen und zu quantifizieren. Die meisten Baumarten lassen sich durch Befragen der Bauern bestimmen.

Im folgenden GROß GESCHRIEBENE PARAMETER kommen in den Formblättern (vgl. Kap. 4.8.) vor. Bei der Wahl der Symbole für die Kartierung (vgl. Karte 4 u. Karte 7) bezieht sich der Autor teilweise auf GARDIMER u. DACKOMBE.

Bei der Aufnahme wird nach dem Vorhandensein von -BÄUMEN -STOCKAUSSCHLAG -STRÄUCHERN und deren Wuchsort -IN DER BÖSCHUNG oder -AUF DER BÖSCHUNGSSCHULTER gefragt. Für die Bewertung der Vegetation wurde die Häufigkeit folgender Kriterien herangezogen:

- a. stehen die Ufergehölze im EINZELSTAND
- b. ist der Ufersaum LÜCKIG oder
- c. GESCHLOSSEN

Mit kurzen Stichworten sollen zusätzlich noch Angaben über die wichtigsten Arten, Zustand und Nutzung der Gehölze gemacht werden.

Bei der Kartierung der Vegetation wird unterschieden zwischen - Einzelbaum (Solitär) - Baumreihe und - Heckengehölz, die in grüner Farbe eingezeichnet werden.

#### 4. 4. 2. Stabilisierende Elemente

---

Flußstabilisierende Elemente sind künstliche Bauwerke, die der Festlegung des Gewässerprofils dienen. Sie werden mit blauen Symbolen kartiert und gliedern sich in drei Gruppen verschiedener Bauweisen:

- a. Massivbauweise: Stahlbeton, Trockenmauern und zementierte Mauern.
- b. Drahtgabionen
- c. Einfache Bauwerke aus Sandsäcken oder Flechtzäune.

Auf dem Formblatt wird durch Ankreuzen die Lage und Funktionstüchtigkeit der Bauwerke angegeben. Länge und Höhe der Einbauten werden geschätzt und der Zweck des Bauwerkes kurz verbal beschrieben.

Je nach ihrer Lage im Querprofil werden sie als Längswerk, flußübergreifendes Querwerk oder als Bühne kartiert. Flechtzäune, die zur Ableitung von Bewässerungswasser schräg gegen die Stromrichtung angebracht sind, zählen jedoch zu den destabilisierenden Elementen ( Kap. 4. 4. 3. ) und werden rot eingezeichnet.

Die genaue Erfassung und Lokalisierung dieser Maßnahmen dient vorrangig zur Klärung flußbaulicher Fragen.

#### 4. 4. 3. Destabilisierende Elemente

---

Uferdestabilisierende Elemente bezeichnen sämtliche Formen der Erosion (Kap. 3.4), sowie erosionsfördernde menschliche Aktivitäten wie der Bau von -FLECHTZÄUNEN ZUR BEWÄSSERUNGS-AUSLEITUNG und -SANDENTNAHME ( Kap. 3.3.2 ).

Auf dem Formblatt wird die Länge der Uferschäden am linken und rechten Ufer geschätzt. Dabei wird getrennt zwischen:

- a. Uferschäden, die durch Unterspülung der Ufer entstanden sind
- b. Uferschäden anderer Ursachen (Viehtritt, Gully, oberirdischer, flächiger Uferabtrag).

Aus bereits dargelegten Gründen (Kap. 3. 4.) wurden diese beiden Erosionsformen unterschiedlich stark gewichtet (a. zweifach; b. einfach) und für die Bewertung des Ausmaßes der Erosion herangezogen.

Bei der Kartierung unterscheiden rote Symbole ferner zwischen:

- a. Progressiv fortschreitender Uferabbruch, der durch Unterspülung der Ufer hervorgerufen wird.
- b. Sukzessiver oberirdischer Uferabtrag. Die Fläche befindet sich im Stadium der schrittweisen Erosion oder der sukzessiven Regeneration.
- c. Instabiler, akuter Steilhangabbruch, durch Unterspülung des Talhanges oder einer mehreren Meter hohen Böschung.
- d. Sukzessiver Hangabrutsch. Die abgerutschte Böschung oder Talhang befindet sich im Stadium der schrittweisen Erosion oder der sukzessiven Regeneration.
- e. Instabile, fortschreitende Gullybildung (rückschreitende Erosion).
- f. Befestigter oder bewachsener Gully.

#### 4. 4. 4. Sonstige

---

Als sonstige Strukturelemente werden mit braunen Symbolen kleinere abwasserführende Gerinneeinleitungen, Abwasserkanäle, Müll- und Schuttdeponien lokalisiert, die zur Verschmutzung der Gewässer beitragen. Fahrwege ins Gewässer deuten oft auf Sandentnahme in großen Mengen hin, da hier der Sand per LKW abtransportiert werden kann. Im Formblatt findet man diese Strukturelemente unter dem Parameter "BEEINTRÄCHTIGUNG VON FLUßBETT UND UFERBÖSCHUNG" wieder. Zusätzlich sollen Brücken und von der Karte abweichende Uferlinien kartiert werden.

Karte groß Nr. 4

#### 4. 5. Anwendung des Aufnahmeverfahrens

##### 4. 5. 1. Arbeitsablauf

Bei der Aufnahme der 25 Abschnitte des Bagmati von Sundaridal bis Cobhar mit einer durchschnittlichen Länge von 1,2 km hat sich folgendes Vorgehen als günstig erwiesen:

- (1) Auswahl einer geeigneten Karte als Grundlage für die Aufnahme.  
Besonders bei der Kartierung der Strukturelemente hat sich der größte vorhandene Maßstab von 1 : 10.000 der Kathmandu Valley Map als zu klein erwiesen. Kartenskizzen im Maßstab 1 : 2.500 und 1 : 330 mußten zusätzlich angefertigt werden. Das Verfahren kommt auch ohne Kartengrundlage aus, was der ursprünglichen Konzeption entsprach. Die Karte ist jedoch als Hilfsmittel und zur besseren Übersicht sehr gut geeignet.
- (2) Kilometrierung des Flußverlaufes flußaufwärts. Nullkilometer ist der Mündungspunkt in das nächstgrößere namensgebende Gewässer. Beim Bagmati wurde der Nullpunkt an der indischen Grenze festgelegt.
- (3) Zweimalige Begehung des Flußabschnittes:
  - a. Beim ersten Abschreiten der Uferlinie erfolgt bereits die grobe Kartierung von Vegetation, Erosion und Einbauten und die Wahl der Abschnittsgrenze auf Grund des ersten Eindruckes und der Karte.
  - b. Beim Zurückgehen konzentriert sich der Bearbeiter auf die Formblätter, die er während des Begangs oder zum Schluß ausfüllen kann.
- (4) Zur besseren Darstellung des Abschnittes ist es zweckmäßig während der Begehung mindestens ein Photo zu machen, das die Charakteristika des Abschnittes darstellt.
- (5) Das Ausfüllen des Stammbblattes zum Gewässerabschnitt ist im Büro möglich und sollte sich auf die verwendeten Karten und geeignete Literatur stützen.

#### 4. 5. 2. Gestaltung und Handhabung der Formblätter

---

Das Kernstück des Aufnahmeverfahrens sind 4 Formblätter, mit denen als Feldprotokoll vor Ort gearbeitet wird. Sie werden ergänzt

durch ein BRÜCKENFORMULAR für die Zustandsbeschreibung der erosionsanfälligen Brücken (-bereiche) und einem STAMMBLATT ZUM GEWÄSSERABSCHNITT, das die genaue Lage des Abschnittes bezeichnet. Das Stammblatt wird dem 5-seitigem Formblattsatz obenauf gelegt und enthält allgemeine Daten, die im wesentlichen von topographischen Karten oder geeigneter Literatur abgeleitet werden können.

Bei der Gestaltung der Aufnahmeformulare (Feldprotokolle) wurde versucht durch sinnvolle Anordnung der Schlüsselbegriffe einen flüssigen Arbeitsablauf zu gewährleisten. So werden zunächst allgemeine Parameter zum äußeren Erscheinungsbild des Flusses abgefragt wie die TALFORM oder der GEWÄSSERVERLAUF. Mit Fragen nach gewässerstrukturierenden Elementen oder dem GEWÄSSERPROFIL wird das Augenmerk auf den engeren Bereich des Flusses gelenkt. Auf dem nächsten Blatt wird der Bearbeiter mit Angaben zur BEEINTRÄCHTIGUNG VON FLUßBETT UND UFERBÖSCHUNG und zu den EROSIONSVERHÄLTNISSEN auf gewässerverändernde Prozesse aufmerksam gemacht. Auf dem letzten Formular wird schließlich nach gewässerstabilisierenden Strukturen wie der VEGETATION oder EINBAUTEN gefragt. Durch Ankreuzen wird das Bestehen bestimmter Strukturelemente oder Merkmalsausprägungen (Schlüsselbegriffe) bestätigt, durch einen Strich verneint.

Bei der Frage nach den STRUKTURELEMENTEN, dem SOHLSUBSTRAT und der BEEINTRÄCHTIGUNG VON FLUßBETT UND UFERBÖSCHUNG schien uns eine Quantifizierung zur besseren Darstellung sinnvoll. Bei den EROSIONSVERHÄLTNISSEN und dem GEHÖLZSAUM war sie - jeweils für das rechte und linke Ufer getrennt - für die spätere Bildung von Zustandsklassen notwendig. In Anlehnung an SCHANDA wurden hierbei einfache Häufigkeitszahlen von 1-3 benutzt, um das Verfahren nicht zusätzlich zu erschweren. Sind die vorgegebenen Schlüsselbegriffe zur Beschreibung nicht ausreichend, können zusätzlich zu allen Punkten Anmerkungen zur besonderen Charakterisierung gemacht werden.

Quantitative Angaben in den Formularen sind Schätzwerte und mit einem individuellen Schätzfehler behaftet.

Alle Schlüsselbegriffe bezeichnen einen Durchschnittswert, der je nach Länge und Variabilität des Gewässerabschnittes an Aussagekraft verliert.



#### 4. 6. Bewertung und Darstellung der gewonnenen Daten

##### 4. 6. 1. Bewertungskriterien

Bei den vorgestellten Verfahren (Kap. 4. 2.) zur Beschreibung der Morphologie von Flüssen werden die Fließgewässer gemäß ihrer Naturnähe oder des Natürlichkeitsgrades (WERTH, 1979) klassifiziert. Bewertungsmerkmale sind das Vorhandensein und die Ausprägung von geomorphologischen Strukturelementen und oekologischen Indikatoren wie Kleinbiotope, Vegetation oder Gewässergüte. Die Bewertung der Naturnähe setzt voraus, daß man dem angetroffenen Zustand einen natürlichen Idealzustand gegenüberstellen kann. Dieser Idealzustand sollte in seiner Öko- und Geomorphologie an die naturräumlichen Gegebenheiten angepaßt sein. Der natürliche Bezugspunkt fehlt jedoch in den meisten Fällen. SCHANDA hilft sich mit dem "gedachten natürlichen Zustand" aus, der als Bezugspunkt für die Bewertung den fehlenden "Naturraum-Typus" ersetzen soll.

In jedem Fall muß der Bearbeiter über die Geo-Ökomorphologie des idealen Gewässertyps in Kenntnis gesetzt werden, um eine sachgerechte Bewertung vornehmen zu können. Die für die Einteilung der Abschnitte vorgesehenen Zustandsklassen sind je nach dem, wie stark sie dem natürlichen Gewässertyp entsprechen, unterschiedlich definiert. Die Einteilung in Zustandsklassen erfolgt nicht zwingend, sondern läßt dem Bearbeiter einen Ermessensspielraum für seine individuelle Einschätzung der Naturnähe der vorgefundenen Gewässersituation.

Bei der vorliegenden Arbeit wurde darauf verzichtet eine Bewertung der Naturnähe der Abschnitte vorzunehmen. Aus folgenden Gründen schien dies unzweckmäßig:

- (1) Ein natürlicher Bezugspunkt ist mit größter Wahrscheinlichkeit wegen der langanhaltenden menschlichen Beeinflussung im Kathmandu-Tal nicht zu finden.
- (2) Für die Definition eines gedachten Naturraum-Typus liegen keine ausreichenden Untersuchungen vor. Die Verwendung gewässeroekologischer Beschreibungen anderer Naturräume

(bspw. LÖLF, 1985) ist für das Kathmandu-Tal nicht wissenschaftlich abgesichert.

- (3) Für die Aufnahme und Bewertung (Ermessensspielraum) wäre gut ausgebildetes Fachpersonal mit gewässerökologischen Kenntnissen notwendig. Das Verfahren würde zu aufwendig.
- (4) Eine Bewertung des Natürlichkeitsgrades würde die existentiellen Bedürfnisse der Bevölkerung unbeachtet lassen.

Der Verfasser beschränkt sich drauf zwei Aufnahmeparameter für eine Bewertung heranzuziehen: die Erosionsverhältnisse und der Gehölzsaum. Dadurch wird in 5 Zustandsklassen das Ausmaß der Erosion und das Vorkommen von Ufergehölzen dargestellt. Die Vorteile sind:

- Die Bewertung wird der vielfältigen Funktion der Gehölzstreifen gerecht.
- Beide Parameter sind ein Gradmesser für die Uferstabilität.
- Das Vorkommen von Gehölzen und Erosionsschäden geben die ökologischen Verhältnisse wieder, wenn auch nur in beschränktem Maße.
- Die Bewertung erfolgt auf Grund von Häufigkeitszahlen, die quantitativ abgesichert sind. Die Schätzung der Parameter kann ohne große gewässerökologische Kenntnisse vorgenommen werden.

#### 4. 6. 2. Bildung von Zustandsklassen

---

BEWERTUNG DES GEHÖLVORKOMMENS UND DES EROSIONSAUßMAßES. Für das linke und rechte Ufer getrennt wird der Anteil des einzelständigen, lückigen oder geschlossenen Gehölzsaumes geschätzt und mit Häufigkeitszahlen eingetragen. Die Zahlen haben folgende Bedeutung:

- 1: punktuell, maximal auf 1/3 der Uferlänge vorkommend
- 2: über kürzere Strecken, ca. auf 30 - 70% der Uferlänge
- 3: über längere Strecken, ca. auf 70 - 100% der Uferlänge

Die Gehoelzhäufigkeit des linken und rechten Ufers wird je nach ihrer Individuendichte gewichtet:

Einzelstand = einfach  
lückig = zweifach  
geschlossen = dreifach

Die Gesamtsumme der gewichteten Häufigkeitszahlen ergibt die Wertzahl, die einer bestimmten Zustandsklasse zugeordnet wird.

In gleicher Weise wird bei der Bewertung der Erosion vorgegangen. Da sich Erosionsschäden auf einer Uferseite selten über 50% der Uferlänge ausdehnen (einem Prallhang folgt ein erosionsgeschützter Gleithang) bezeichnen die Häufigkeitszahlen getrennt für jeden Uferabschnitt:

- 3: eine Schädigung von bis zu 50% der Uferlänge / stark
- 2: eine Schädigung des Ufers von bis zu 1/4 der Uferlänge / mittel
- 1: schwache, punktuell auftretende Schäden am Ufer

Auf Grund des größeren Ausmaßes der Uferschäden, die durch Unterspülung entstehen, werden Uferschäden verursacht durch Unterspülung der Ufer zweifach gewichtet, Uferschäden anderer Ursachen einfach. Die Gesamtsumme ergibt wiederum die klassenbildende Wertzahl.

GEHÖLZSAUM		EROSION	
WERTZAHL	ZUSTANDSKLASSE	WERTZAHL	ZUSTANDSKLASSE
0 - 2	V	0 - 1	I
3 - 7	IV	2 - 4	II
8 - 12	III	5 - 7	III
13 - 17	II	8 - 10	IV
18 - ...	I	11 - ...	V

Die Zustandsklassen werden gemäß der geschätzten Häufigkeit der Gehölze wie folgt definiert:

- 
- I : GESCHLOSSENER, BEIDSEITIGER GEHÖLZSAUM
  - II : LÜCKIGER - TEILW.GESCHLOSSENER, BEIDSEITIGER GEHÖLZSAUM
  - III : LÜCKIGER, ÜBER KURZE STRECKEN BEIDSEITIGER GEHÖLZSAUM
  - IV : GERINGER, LÜCKIGER BEWUCHS DER UFER MIT GEHÖLZEN
  - V : KEINE UFERGEHÖLZE ODER VERNACHLÄSSIGBARER ANTEIL
- 

Das Ausmaß der Erosion wird durch folgende Zustandsklassen beschrieben:

- 
- I : KEINE ODER VERNACHLÄSSIGBARE (natürliche) EROSION DER UFER
  - II : GERINGE EROSION DER UFER
  - III : MITTLERE EROSIONSSCHÄDEN AN BEIDEN UFERN
  - IV : STARKE, ÖRTLICH BEIDSEITIGE EROSIONSSCHÄDEN, TEILWEISE UNTERS PÜLTE UFER
  - V : SEHR STARKE, BEIDSEITIGE EROSIONSSCHÄDEN, V.A. DURCH UNTERS PÜLUNG DER UFER
- 

#### 4. 6. 3. Darstellung der gewonnenen Daten

---

GRAPHISCHE DARSTELLUNG DER ZUSTANDSKLASSEN. Die Zustandsklassen sind als Flächendiagramm dargestellt (Karte 5). Die Höhe der Abschnittsflächen beschreibt die Zustandsklasse, wobei eine Zustandsklassenänderung 0,5 cm entspricht: Erosionszustand I = 0,5 cm, V = 2,5 cm. Gehölzvorkommen I = 2,5 cm, V = 0,5 cm. Die Länge der Flächen entspricht der Länge des Gewässerabschnittes. Alle Gewässerabschnitte hintereinandergestellt ergeben den Verlauf des Bagmati von Sundarijal bis Cobhar. Auf diese Art und Weise wurden sowohl die Zustandsklassen als auch die Lage und Form der einzelnen Flußsegmente flächenbezogen dargestellt. Gleichzeitig konnte dem Erosionszustand das Gehölzvorkommen

gegenübergestellt werden. Als Bezugssystem dient die topographische Karte "Kathmandu Valley Map" im Maßstab 1 : 50.000. Die Darstellung (Karte 5) wurde um 10% verkleinert.

Für die graphische Darstellung wäre auch ein Linien- oder Säulendiagramm geeignet. Wenngleich durch das Säulendiagramm die Abschnittslänge noch dargestellt werden könnte, so fehlt doch in beiden Diagrammen der räumliche Bezug der Abschnitte zum Gesamtverlauf des Flusses.

Die farbige Differenzierung der Zustandsklassen, wie WERTH (1987) sie beschreibt, ist für die einfache Vervielfältigung als schwarzweiß Kopie nicht geeignet. Farbkopien sind zur Weitergabe der Information für das Verfahren zu teuer und lassen sich zudem in Kathmandu kaum anfertigen.

KARTE UND FORMBLATT. Die farbige Kartierung der Vegetation, der Einbauten und der Erosionserscheinungen auf der Landkarte (Karte 4 u. Karte 7) geben sehr übersichtlich das grobe Erscheinungsbild des gesamten Untersuchungsabschnittes wieder.

Die ausgefüllten, nachvollziehbaren Formblätter (vgl. Kap. 4.8.) beschreiben die einzelnen Abschnitte differenzierter, indem sie Charakteristika und Beeinträchtigung des Gewässers erfassen, die in der Karte nicht dargestellt werden können.

Photographien der Flußabschnitte, Skizzen des Querprofils und Brückenskizzen (Kap. 4.8.) sind neben der verbalen Beschreibung als anschauliche Darstellungsform der Gewässermorphologie eine wertvolle Informationsquelle.

Durch die Quantifizierung der Erosion und der Ufergehölze auf den Formularen lassen sich die Daten zur Bildung von Zustandsklassen verarbeiten.

Karte 5 der Zustandsklassen

#### 4. 7. Potentielle Erosionsgefährdung der Uferabschnitte

In Anlehnung an die Arbeit von WEISE et. al. ( 1984 ) wurde versucht durch die Gesamtbetrachtung erosionsbegünstigender Elemente besonders labile Abschnitte auszuweisen. Kriterien, die für die Erosionsgefährdung herangezogen wurden, waren:

- (1) Erosionszustand
- (2) Gehoelzvorkommen
- (3) Talentwicklung
- (4) Geologie

Der Zusammenhang zwischen den Kriterien und der Erosionsanfälligkeit der Ufer ist statistisch nicht belegt und beruht auf Beobachtungen während der Aufnahme und Erkenntnissen wie sie in Kap. 3. 4. 1. und 3. 4. 2. dargelegt sind. Der Autor geht dabei von folgenden Annahmen aus:

- (1) Bestehende Erosionsschäden an den Uferboeschungen sind Angriffspunkte für weitere Erosion.
- (2) Uferboeschungen ohne Gehoelzsaum sind erosionsanfälliger als bestockte Ufer. Fehlende Gehoelze implizieren große menschliche Beeinflussungen oder sind der natürlichen Erosion zum Opfer gefallen.
- (3) Die Talentwicklung ist ein Maß dafür, wie stark ein Fluß mäandriert (Kap. 3. 4. 2.) . Die Prallufer mäandrierender Flüsse sind der Erosionskraft des Wassers stärker ausgesetzt als gestreckte Uferlinien.
- (4) Die Erodierbarkeit des Ufer- und Sohlensubstrats hängt von der Textur und Bodenart ab. Feinkoerniges, lockeres Material erodiert leichter als verfestigtes oder grobblockiges Gestein.

Für die Bewertung der potentiellen Erosionsgefährdung wurde die Summe der Zustandsklassen (Kriterien 1 - 4) zu Grunde gelegt. Neben den Zustandsklassen für Erosion und Gehoelzsaum mußten noch für die Talentwicklung und Geologie Zustandsklassen gebildet werden, die sich von den Annahmen 1- 4 wie folgt ableiten:

---

Talentwickl.	Zustandsklassen
100 - 109 %	I : gestreckt
110 - 115 %	II : gestreckt - gewunden
116 - 130 %	III : gewunden - mäandrierend
131 - ... %	IV : mäandrierend

---

---

Zustandskl.	Geologie
I	: Grundgestein / Fels
II	: Kalimati
III	: Gesteinsschutt / Geroell
IV	: Sand / sandiger Kies

---

Die einfache Addition der Klassen von Vegetation, Erosion, Talentwicklung und Geologie ergibt eine Wertzahl. Diese Zahl wird erneut 4 Klassen zugeordnet:

---

Wertzahl	Zustandsklasse
4 - 7	I : geringe potentielle Gefährdung der Ufer
8 - 11	II : mäßige potentielle Gefährdung der Ufer
12 - 15	III : mittlere - große potentielle Gefährdung der Ufer
16 - 18	IV : sehr große potentielle Gefährdung der Ufer

---

Die Abschnitte koennen nun mit ihrer potentiellen Erosionsgefährdung beschrieben werden. Dem Autor kam es bei dieser zusammenfassenden Bewertung nicht auf die Allgemeingültigkeit der Daten an, vielmehr wollte er mit dieser Art der Darstellung die Extreme hervorheben. Eine verlässliche Aussage über die Wahrscheinlichkeit eintretender Ufererosionen kann auf Grund der vielen komplexen Einflußgroößen nicht gemacht werden. Die getroffenen Aussagen beziehen sich zudem ausschließlich auf das Untersuchungsgebiet.

Umseitig sind ein Lageplan der untersuchten Abschnitte ( Karte 6 ), sowie die Zustandsklassen und die Abschnittslänge dargestellt (Tab.3).



Lageplan der Abschnitte Karte 6

Tab. 3: ZUSTANDSKLASSEN

Abschnitt	Vegetation					Erosion					Geologie				Talentwicklung				potentielle Erosionsgef.				
	I	II	III	IV	V	I	II	III	IV	V	I	II	III	IV	I	II	III	IV	I	II	III	IV	
1	500m	x						x				x					x				x		
2	700m	x						x				x	(x)				x				x		
3	600m	x						x				x	(x)				x				x		
4	500m		x					x					x					x				x	
5	6000m				x					x				x					x				x
6	1000m			x						x			(x)		x				x				x
7	400m	x						x					(x)		x				x				x
8	300m	x						x					x						x				x
9	600m			x				x						x					x				x
10	2000m				x					x				x					x				x
11	3800m				x					x				x					x				x
12	600m			x				x					(x)		x				x				x
13	350m	x						x					x						x				x
14	450m				x			x					(x)		x				x				x
15	400m			x						x				x					x				x
16	400m		x							x				x					x				x
17	400m			x						x				x					x				x
18	300m			x						x				x					x				x
19	2700m				x					x				(x)		x				x			x
20	800m			x						x				x		(x)			x				x
21	3600m				x					x				x					x				x
22	1000m			x						x				x					x				x
23	1100m				x					x				x					x				x
24	2100m					x				x				x						x			x
25	500m				x					x				x						x			x
31.100m																							
I		2.850m(9,2%)					4.700m(15,1%)					3.525m				8.350m				3.850m			
II		3.000m(9,6%)					5.700m(18,3)					9.550m				3.800m				8.850m			
III		3.800m(12,2%)					5.200m(16,7%)					1.150m				10.250m				3.900m			
IV		4.400m(14,2%)					1.000m(3,2%)					16.875m				8.700m				14.500m			
V		17.050m(54,8%)					14.500m(46,7%)					(54,3%)				(28%)				(46,7%)			

(x) = Geologische Übergangszone. Halbierung d. Abschnittslänge in x und (x).

Tabelle 3 faßt die Ergebnisse der 25 untersuchten Abschnitte zusammen:

In der ersten Spalte ist die Abschnittsnummer und die jeweilige aktuelle Länge aufgeführt, die teilweise von der kartographischen Länge abweicht (vgl. Kap. 2. 2.).

In der zweiten bis sechsten Spalte ist für jeden Abschnitt die entsprechende Zustandsklasse durch ein Kreuz kenntlich gemacht. Für Abschnitte, die aufgrund ihrer Ausdehnung und anhand der geologischen Karte ( SHARMA, NAUTIYAL, 1966 ) nicht eindeutig einer geologischen Zustandsklasse zugeordnet werden konnten, wurde der Mittelwert aus den entsprechenden geologischen Einstufungen zur Bewertung der potentiellen Erosionsgefährdung herangezogen. Getrennt für jede Spalte ist unter der Tabelle die Gesamtlänge der einzelnen Zustandsklassen aufsummiert. In Klammer ist der prozentuale Anteil an der gesamten untersuchten Flußlänge (31,1 km) angegeben.

Hervorzuheben ist, daß 54,8% der Gesamtflußlänge der Vegetationszustandsklasse V entsprechen (keine Ufergehölze oder vernachlässigbarer Anteil).

Auf 14,4 km, das ist fast die Hälfte der Länge des Bagmati im Kathmandu-Tal, kann der Zustand der Ufer mit der Erosionszustandsklasse V beschrieben werden: "Sehr starke, beidseitige Erosionsschäden, v.a. durch Unterspülung der Ufer."

Diese Schäden kommen zum größten Teil im Alluvium des Talbodens vor, wo stabilisierende Ufergehölze weitgehend beseitigt wurden. Zusätzlich schreitet die Ufererosion durch das starke Mäandrieren des Bagmati in diesem Bereich permanent mit großen Bodenverlusten fort.

Die Bewertung der potentiellen Erosionsgefährdung mit der Zustandsklasse V bezieht sich auf diese labilen Bereiche. Auf 46,7% seiner Gesamtlänge im Kathmandu-Tal weist der Bagmati eine "sehr große potentielle Gefährdung der Ufer" auf.

4. 8. Fallbeispiel

Stammblatt zum Gewässerabschnitt

Gewässerabschnitt,		Bagmati 17
Lage und Bezeichnung:		bei Brücke New Baneswar
		km 168,2 - km 167,8 ( vgl. Abb. 4 )
<hr/>		
Photos Nr.:	17 a.(vgl. Abb. 18, S.55)	Kartierungsmaßstab: 1:10.000 u. 1:2.500
Aufnahmestandort:	km 168,0 gegen oberstrom	Kartenblatt Nr.: Kathmandu Valley Map Sheet 6/III Kathmandu
<hr/>		
Geologie:	Kies, Sand, sandiger Lehm	Groesse des Einzugsgebietes: ca. 70 km
<hr/>		
Seitenbäche:	keine	Brücken: New Baneswar km 167,95
<hr/>		
Lauflänge:	400m	Seehöhe: 1296mü.NN. beikm168,2 1292mü.NN. beikm167,2
<hr/>		
Gefälle:	0,4%	Laufentwicklung: 105%
<hr/>		
Fließrichtung:	Süd-süd-west	Vorausgehende Witterung: 3,4mm am 7.8.89 19,5 mm am 8.8.89
<hr/>		
Besonderheiten; Hinweise auf Forschungsberichte, Schutzgebiete, Aufforstungen Pegel etc. Der Abschnitt liegt in einer artesischen Zone. (Geological Map of Ktm.-Valley)		
Zustandsklassen:	Gehölzsaum IV (Wertzahl: 6 ) Erosion III (5 ) potentielle Erosionsgefährdung III (12)	
<hr/>		
Bearbeiter:	Weidenbach	Datum: 08 /08 /89

TALFORM	TALBREITE	TALHANGNEIGUNG
Kerbtal	bis 25 m	flach
-	-	x x
Sohlental	bis 50 m	mäßig
Muldental	bis 100 m	steil
Schwemmlandebene	bis 300 m	sehr steil
	bis 600 m	senkrecht
	> 600 m	überhängend
Anmerkung:		
NUTZUNG DES GEWÄSSERUMLANDES		
li re	li re	
Kulturpflanzen bewässert	Siedlungsbereich	
Viehweide	Hecken/Strauchlandschaft	
x x	Wald	
Ödland		
Anmerkung:		
GEWÄSSERZONE		
Erosionsstrecke	AKTUELLE AKKUMULATION	Sedimentation am Gleitufer
Gleichgewichtsstrecke		oberhalb v. Schwellen und Engstellen
Auflandungsstrecke		Auflandung von Ufer und Flußbett
Anmerkung:		
GEWÄSSERVERLAUF		
gestreckt	WASSERFÜHRUNG	AUSBAUZUSTAND
verzweigt	episodisch	Naturgewässer
gewunden	periodisch	naturnah
mäandrierend	ganzjährig	ausgebaut
tangiert Talhänge		
Anmerkung:		
STRUKTURELEMENTE (mit Häufigkeitszahlen 1,2,3)		
-   Prallufer	-   Schotter-/Sandbänke	
-   Prallwand	-   Geschiebe von Seitenbächen	
Gleitufer	Engstellen/Schlucht	
1   Buchten	-   Felsblöcke im Flußbett	
Kolke	Wasserfälle/Felsschwellen	
Sonstige:		



---

ERSCHLIEßUNG DES UFERS

Pfad/Weg führt zum Gewässer

Pfad/Weg entlang des Ufers

nur über Terrassen/Felder erreichbar

Anmerkungen: Fahrweg links über die Böschung zur Sandentnahme und  
Schuttablagerung

---

BEEINTRÄCHTIGUNG VON FLUßBETT UND UFERBÖSCHUNG (mit Häufigkeitszahlen 1,2,3)

Vieheintrieb

Müll-/Schuttdeponie

Bewässerungsausleitung

Religiose Stätten/Tempel

Sandentnahme

künstlicher Absturz/Stauwehr

Fahrweg ins Gewässer

Brücken

Einleitung

Sonstige :

---

EROSIONSVERHÄLTNISSE

- li re
- I) \_ 1 Uferschäden verursacht durch Unterspülung der Ufer  
(mit Häufigkeitszahlen 1,2,3)
- II) 3 \_ Uferschäden anderer Ursachen  
(mit Häufigkeitszahlen 1,2,3)
- zu I) Uferabbruch am Prallhang  
Uferabbruch an geraden Ufern  
Steilhangabrutsch  
Unterspülung von Brückenfundamenten  
Unterspülung von Einbauten  
Unterspülung von Ufergehölzen
- zu II) Uferschäden durch Viehtritt  
rückschreitende Erosion (Gullyerosion)  
oberflächiger Uferabtrag

Anmerkungen:

keine ausgeprägte Prallhangausbildung, rechtes Ufer durch  
partielle Stromstrichführung gegen die Böschung punktuell  
beschädigt.

Angelegter Fahrweg am linken Ufer erodiert.

---

---

VEGETATION

AQUATISCHER BEREICH

unbewachsen  
Makrophyten  
Algen  
Schwimmblattpflanzen

AMPHIBISCHER BEREICH/UFERBÖSCHUNG

unbewachsen  
Gräser  
krautige Pflanzen  
Hochstaudenfluren

wichtigste Arten : Artemisia vulgaris , Canabis sativa , häufige,  
blau blühende Distel, moeglicherweise  
Carduus edelbergii , ( nepal. Name: Thakol )

GEHÖLZSAUM

li re

Bäume  
Stockausschlag  
Sträucher  
in der Boeschung  
auf der Boeschungsschulter

li re

Einzelstand  
lückig  
geschlossen  
mit Häufigkeitszahlen 1,2,3

wichtigste Arten, Zustand und erkennbare Nutzung der Gehoelze :  
Salix spec. , Sambucus adnata , Pyrus pashia , Duranta repens , Populus spec.

Zweireihige Weiden Pflanzungen bei km 168,1 li zur Sicherung der Bucht

Schlechter Zustand der Weiden, stehen bei Mittelwasser unter Wasser.

---

EINBAUTEN

	km	que	läng	li	mi	re	Länge*Hoehe	~ Funktion	volle	gefähr.
ohne	km 167,9	-	x	-	-	x	140m x 2m	-	x	-
GABIONEN										
FLECHT~	-									
ZÄUNE,										
SAND~										
SÄCKE etc.										
MASSIV~										
BAUWERK										

Kurzbeschreibung: Einbauten zur Brückensicherung; wurden durch ufer~  
seitige Abwassereinleitung erodiert.

---



BRÜCKEN - FORMULAR

GEWÄSSERNAME            Bagmati 17  
UND ABSCHNITT:        Bag. 17

      LAGE UND            Brücke bei New Baneswar  
BEZEICHNUNG:        km 167,95

      PHOTOS NR.:        17 a. (vgl. Abb. 18 )

      LICHTE HÖHE:        7 m

      PROFILBREITE:      von Widerlager zu Widerlager 50 m ; jedoch durch  
                          Gabionen und Boeschung auf 20 m begrenzt.

      PFEILERANZAHL:    2 ; li Pfeiler in die Uferboeschung eingebunden.

      PFEILERBREITE:    4 m

      EROSIONSTIEFE      re Pfeilerfundament ca. 1,5 m tief freigespült.  
DER FUNDAMENTE:

      UFERZUSTAND UND    li ,re : verkrautet.  
      VEGETATION IM     li : Fahrweg unter der Brücke von o.S. nach u.S. .  
BRÜCKENBEREICH:        Sandentnahme und Müllablagerung.  
                          re : Abwassereinleitung verursacht Schäden.

      EINBAUTEN:        Gabione 140 m    2 m re unter der Brücke , 40 m o.S.  
                          100 m u.S. , v.a. durch Abwassereinleitung stark be-  
                          schädigt.  
                          Mauerwerk 80 m    1 m uferseits der re Gabione zur  
                          Sicherung des Widerlagers.

      SKIZZE:

Leerseite

## 5. DISKUSSION

### 5. 1. Kritische Beurteilung der Ergebnisse

Die Morphogenese der Fließgewässer wird von der Geologie und dem Klima beeinflusst. Beide Faktoren sind im Himalaya und im Kathmandu-Tal von einzigartiger Ausprägung und bedingen eine eigene Landschaftsdynamik. Beim Vergleich der Morphologie mit anderen Naturräumen sind die unterschiedlichen Geofaktoren zu berücksichtigen. Landschaftsdynamische Prozesse im Kathmandu-Tal sind zunächst auf ihre verändernden Kräfte hin zu untersuchen.

Die heutige Gestalt der Flüsse und Bäche im Untersuchungsgebiet ist einerseits das Resultat starker natürlicher Erosion, andererseits die Folge der Überbeanspruchung der Gewässer durch den Menschen.

Mehr als anderswo sind die Menschen im überbevölkerten Becken von Kathmandu auf die nachhaltige Nutzung natürlicher Ressourcen angewiesen. Der steigende Energiebedarf führt zur Zerstörung des Gehölzsaumes. Ausufernde Flüsse zerstören fruchtbares Land. Die zunehmende Bausandgewinnung aus dem Flußbett ist ein Eingriff in das Geschiebegleichgewicht, der v.a. im urbanen Bereich heute noch nicht absehbare Folgen mit sich bringt.

Eine Dokumentation und Bewertung der Flußmorphologie im Kathmandu-Tal liegt zuvorderst im Interesse der Planungsbehörde für den Flußbau. Die Anwendung des Verfahrens soll aufzeigen wo Handlungsbedarf besteht und eine gezielte Planung möglich machen.

Zur Erfassung der entscheidenden Einflußgrößen im Kathmandu-Tal ist das vorgestellte Verfahren konzipiert. Die Zustandsbeschreibung bezieht sich auf die geschilderte Problematik, die systematische Aufnahme aller wichtigen Flüsse und Bäche im Tal ist dadurch möglich.

Die Daten sind durch die einheitliche Methode der Erhebung vergleichbar. Definierte Schlüsselbegriffe schränken die Subjektivität ein und vereinfachen die Aufnahme. Die Quantifizierung zweckdienlicher Parameter ermöglicht die Bildung von Zustandsklassen

für Erosionsausmaß und Gehölzvorkommen. Der Aufwand der Beschreibung steht in angemessenem Verhältnis zu den gewonnenen Ergebnissen. Die Erfassung der Daten ist nachvollziehbar und sie können als Planungsgrundlage herangezogen werden.

Die Darstellung des Gewässerzustandes erfolgt übersichtlich durch die Karte, detailliert durch die Formblätter und vergleichend durch die flächenbezogene Graphik der Zustandsklassen.

Die Bewertung der potentiellen Erosionsgefährdung hebt extrem geschädigte Uferabschnitte hervor.

Prinzipiell ist die Methode der Zustandsbeschreibung in verschiedenen Naturräumen anwendbar. Bewertungs- und Aufnahmeparameter müßten gegebenenfalls dem Untersuchungsschwerpunkt angepasst werden.

Das Verfahren ist so entworfen, daß es auch ohne Kartengrundlage durchgeführt werden kann. Es eignet sich für Gebiete, die nicht ausreichend oder nur in kleinem Maßstab kartographisch erfaßt sind.

Während der Erprobung hat sich gezeigt, daß erhobene Durchschnittswerte an Aussagekraft verlieren je länger der Abschnitt ist. Selbst wenn ein Abschnitt in Bezug auf die Uferstabilität homogen erscheint, so kann trotzdem die Variabilität anderer Aufnahmeparameter innerhalb eines Abschnittes schwer wiedergegeben werden (Bsp. Böschungneigung, Profildbreite).

Der Aufloesung des Flusses in unendlich kleine Abschnitte zur Behebung dieses Mangels steht der größere Aufwand und eine unüberschaubare Datenfülle gegenüber.

Ein anderes Problem ist der individuelle Schätzfehler bei der Aufnahme einzelner Parameter. Je nach Bearbeiter weicht die Schätzung mehr oder weniger von der tatsächlichen Situation ab. Der Vergleich von Daten unterschiedlicher Anwender wird durch diesen Fehler eingeschränkt. Bei verschiedenen Abschnitten, die vom gleichen Bearbeiter aufgenommen werden, kann man jedoch davon ausgehen, daß der Schätzfehler die Vergleichbarkeit der Daten nicht beeinträchtigt, da er personenbezogen gleich groß bleibt.

Die Erprobung fand während der Vegetationszeit statt, als die Flüsse viel Wasser führten. Welchen Eindruck man bei einer Aufnahme in der Trockenzeit gewinnen würde, ist nicht bekannt. Insbesondere die Abschätzung der Uferschäden und der Gehölzvegetation könnte durch den hohen Wasserstand und die Fülle der Pflanzen im Monsun stark von den Daten einer Beschreibung in der Trockenzeit abweichen.

Die Zustandserfassung beruht auf einer Momentaufnahme. Einerseits veralten die Daten durch die rasche Veränderung der Gewässer~morphologie sehr schnell, andererseits bietet sich die Möglichkeit durch eine spätere Aufnahme die Dynamik der Landschaftsver~änderung zu erforschen. Zu dieser Untersuchung moechte der Autor an dieser Stelle besonders anregen.

Die Bewertung von Erosion und Gehoelzsaum unterliegt folgenden Einschränkungen:

- . Die Gewichtung der Parameter beruht nicht auf gemessenen Werten des unterschiedlichen Erosionsausmaßes oder der unterschiedlichen Pflanzenzahl des entsprechenden Gehoelzsaumes.
- . Moeglicherweise führt sie zu einer Über- bzw. Unterbewertung bestimmter Strukturen.
- . Bei der Zuordnung der Wertzahlen in Klassen geht Information verloren. Ähnliche Abschnitte vermitteln durch die Klasseneinteilung den Eindruck großer Unterschiede.
- . Die Differenzierung des linken und rechten Ufers wird in der Beschreibung der Zustandsklassen nur in beschränktem Maße berücksichtigt.
- . Die Bewertung ist mit einem individuellen Schätzfehler bei der Aufnahme behaftet.

Bei der Bewertung der potentiellen Erosionsgefährdung muß folgendes berücksichtigt werden:

- . Neben den ausgewählten Bewertungskriterien (Gehoelzvegetation, Erosionsausmaß, Talentwicklung, Geologie) wird die Erosion durch eine Vielzahl anderer Faktoren beeinflusst.
- . Ein Zusammenhang zwischen den Bewertungskriterien und der Erosionsanfälligkeit der Ufer ist statistisch nicht belegt.
- . Die Gewichtung der Talentwicklung und der Geologie beruht nicht auf wissenschaftlichen Messungen, die fundierte Aussagen über die Erodibilität der Ufer unter verschiedenen Voraussetzungen zulassen würden.

## 5. 2. Schlussfolgerung

Da es keine gewässermorphologischen Daten für das Kathmandu-Tal gibt, erscheint das dargestellte Aufnahme- und Bewertungsverfahren für die systematische Erfassung der Flüsse und Bäche geeignet. Es ist speziell für die vorgefundenen Verhältnisse im Kathmandu-Tal ausgelegt. Inwieweit es sich für das andere flußbauliche Schwerpunktgebiet am Bagmati im Terai eignet, muß vom River Training Project ausprobiert werden.

Für die Analyse natürlicher und anthropogener Einflußgrößen auf die Gewässermorphologie hat es schon im Vorfeld der Erarbeitung brauchbare Daten geliefert.

Durch die Bewertung des Zustandes wird das Restvorkommen an Ufergehölzen am Bagmati im Untersuchungsgebiet deutlich: insgesamt wurden 31,1 km untersucht. Auf 54,8% der Länge des Bagmati entspricht das Vorkommen von Ufergehölzen der Zustandsklasse I. D.h. auf über der Hälfte der Flußlänge sind die Ufer unbewachsen. Das Ausmaß der Erosion verhält sich entsprechend: auf 46,7% der Gesamtlänge entsprechen die Erosionsverhältnisse der Zustandsklasse V.

Es ist zu wünschen, daß auf Grund der Erfassung der Flüsse und Bäche Erfahrungen über Funktion und Wirkung einheimischer Pflanzen zur Sicherung von Uferboeschungen gesammelt werden können.

Arbeitsintensive ingenieurbiologische Maßnahmen zur Gewässerregulierung sind angesichts der besonderen Umstände im Kathmandu-Tal dem konventionellen materialintensiven Ausbau der Gewässer vorzuziehen. Die Eigeninitiative der Bauern sollte hierbei unterstützt und auf ihre Kenntnisse und Erfahrungen zurückgegriffen werden.

Um jedoch den vielfältigen Nutzungsansprüchen der Bevölkerung gerecht zu werden, müssen die Planungsbehörden im Kathmandu-Tal fachübergreifend zusammenarbeiten.

6. LITERATURVERZEICHNIS

- ARBEITSGEMEINSCHAFT FÜR VERGLEICHENDE HOCHGEBIRGSFOR~  
SCHUNG, MÜNCHEN ( 1977 ) : Kathmandu Valley : Maps 1 : 10 000 ,  
1 : 50 000 . München : Geo Buch Verlag.
- BOESCH, H. ( 1974 ) : Untersuchungen zur Morphogenese im Kath~  
mandu Valley. Seperatabdruck aus der Geographica Helveti~  
ca, Heft Nr. 1-74. Arbeiten aus dem Geographischen Institut  
der Universität Zürich. Serie A, Nr. 325. 26 S.
- BÖNECKE, G., DINGLER, B. ( 1987 ) : Anleitung zur oekologischen Be~  
wertung kleiner und mittlerer Fließgewässer. Freiburg : Forst~  
liche Versuchs- und Forschungsanstalt Baden-Württemberg,  
Abteilung Landespflege, 19 S.
- CARSON, B. ( 1985 ) : Erosion and Sedimentation Processes in the  
Nepalese Himalaya. ICIMOD Occasional Paper No. 1; Kathman~  
du : International Centre for Integrated Mountain Develop~  
ment (ICIMOD), 39 S.
- DEPARTMENT OF IRRIGATION, HYDROLOGY AND METEOROLOGY,  
KATHMANDU ( 1974 ) : Surface water records of Nepal : Supplement  
No. 7. 1972.
- DEPARTMENT OF IRRIGATION, RIVER TRAINING PROJECT, KATHMAN~  
DU ( 1988 ) : River Training in Kathmandu Valley. A long-term con~  
cept : Proposal prepared for Pashupati Area Development  
Trust.
- DEUTSCHER VERBAND FÜR WASSRWIRTSCHAFT UND KULTURBAU,  
e.V. ( 1982 ) : Arbeitsanleitung zur Anwendung von Nieder~  
schlag-Abfluß-Modellen in kleinen Einzugsgebieten: Teil I  
Analyse. DVWK-Regeln 112, Hamburg, Berlin : Verlag Paul Pa~  
rey, 35 S.
- DEUTSCHER VERBAND FÜR WASSERWIRTSCHAFT UND KULTURBAU,  
e.V. ( 1983 ) : Fachwoerterbuch für Bewässerung und Entwässer~  
ung: Englisch, Deutsch, Franzoesisch, Spanisch. 2. erw. Aufl.  
Bonn: DVWK, 1009 S.

- DEUTSCHER VERBAND FÜR WASSRWIRTSCHAFT UND KULTURBAU,  
e.V. (DVWK, 1984) : Ökologische Aspekte bei Ausbau und  
Unterhaltung von Fließgewässern. DVWK Merkblätter 204,  
Hamburg, Berlin : Verlag Paul Parey, 188 S.
- DONGOL, GOPAL M.S. ( 1985 ) : Geology of the Kathmandu fluvial  
lacustrine sediments in the light of new vertebrate fossil oc-  
curences. In : Journal of Nepal Geological Society. December  
1985. Kathmandu. S. 43 - 57.
- FEESER, V. ( 1983 ) : Einführung in die Geologie für Bauingenieure.  
3. Auflage, Braunschweig: Institut für Geologie und Paläonto-  
logie, Tech. Universität Braunschweig. 225 S.
- FLEMMING, R.L. Jr. ( 1977 ) : The General Ecology, Flora, and Fauna  
of Midland Nepal. 2. Auflage. Kathmandu : Curriculum Deve-  
lopment Centre , Tribhuvan University. 106 S.
- F.P.A.N.-DI.SVI. PROJECT ( 1988 ) : Pollution Monitoring of the Bag-  
mati River : Preliminary Report 1988. Kathmandu. Nepal. 27 S.
- GARDIMER, V. , DACKOMBE, R. : Geomorphological Field Manual.  
London: Allen and Unwin.
- GILMOUR, D. A. ( 1985 ) : Reforestation or Afforestation of Openland  
- A Nepal Perspective : Vortrag während des Internationalen  
Workshops über" Land Use Planning in a Watershed Context".  
Gympie, Australien: Queensland Forestry Departement. Kath-  
mandu: Nepal-Australia Forestry Project, 25 S.
- HAFFNER, W. ( 1979 ) : Nepal Himalaya : Untersuchungen zum ver-  
tikalen Landschaftsaufbau Zentral - und Ostnepals. Band XII  
der Erdwissenschaftlichen Forschung. Wiesbaden : Franz  
Steiner Verlag. 125 S. IIX.
- HAGEN, T. ( 1960 ) : Nepal: Koenigreich im Himalaya. Bern : Kümmer-  
ly und Frey. 119 S. + 70 Bildtafeln.
- Her Majesty Initiates Afforestation Camp. Kathmandu: The Rising  
Nepal, Tageszeitung vom 21.09.89 .
- HIS MAJESTY'S GOVERNMENT, KATHMANDU ( 1967 ) : Surface water  
records of Nepal : Supplement No. 1. 1966.



- JACKSON, J. K. ( 1987 ) : Manual of Afforestation in Nepal: with sections on Bamboos by C.M. Stapleton and Daphne by J.-P. Jeanrenaud. Kathmandu: Nepal - United Kingdom Forestry Research Project / Forest Survey and Research Office / Department of Forest. XII + 402 S.
- KANDEL, G.P. ( 1978 ) : Report on suspended sediments in Kathmandu Valley. Kathmandu : Department of soil and water conservation. 16 S.
- KIRWALD, E. ( 1944 ) : Forstliche Wasserhaushaltstechnik einschließlich Wildbachverbauung. Neumann, Neudamm, 362 S.
- LANDESANSTALT FÜR ÖKOLOGIE, LANDSCHAFTSENTWICKLUNG UND FORSTPLANUNG NW, RECKLINGHAUSEN, LANDESAMT FÜR WASSER UND ABFALL NW, DÜSSELDORF. ( LÖLF, 1985 ) : Bewertung des oekologischen Zustandes von Fließgewässern. Essen : Woest-Druck Verlag. 65 S.
- LANGE, G. , LECHER, K. ( 1989 ) : Gewässerregulierung / Gewässerpflege: Naturnaher Ausbau und Unterhaltung von Fließgewässern, 2. überarb. Auflage. Hamburg, Berlin : Parey. 301 S.
- MIEROW, D., SHRESTA, T.B. ( 1978 ) : Himalayan Flowers and Trees. Kathmandu, 1978.
- MÜLLER, ULRIKE ( 1984 ) : Die ländlichen Newar-Siedlungen im Kathmandu-Tal : Eine vergleichende Untersuchung sozialer und oekonomischer Organisationsformen der Newar. Giessen : Giessener Geographische Schriften. Selbstverlag des Geographischen Instituts der Justus Liebig Universität Giessen. Heft 56. IX 173 S.
- MYERS, N. ( 1985 ) : Der Öko-Atlas unserer Erde. Stuttgart, München: Deutscher Bücherbund GmbH, S. 41 + S. 169.
- NIEMEYER-LÜLLWITZ, A., ZUCCHI, H. ( 1985 ) : Biologie : Fließgewässerkunde. Ökologische fließende Gewässer unter besonderer Berücksichtigung wasserbaulicher Eingriffe. Frankfurt, Berlin, München : Diesterweg/Saale. 224 S.
- PANDAY, KK. ( 1982 ) : Fodder Trees and Tree Fodder in Nepal. Bern, Birmensdorf : Swiss Development Cooperation, Berne, Swiss Federal Institute of Forestry Research, Birmensdorf. 107 S.

- POLUNIN, O., STANTON, A. ( 1984 ) : Flowers of the Himalaya. Delhi, 1984.
- RAMM, B., HOFMANN, G. ( 1982 ) : Biomathematik. 2. Auflage, Stuttgart: Enke Verlag, 221 S.
- SCHANDA, F. ( 1988 ) : Vorläufige Methode zur landschaftsoekologischen und landschaftsästhetischen Bestandsaufnahme und Bewertung von Fließgewässern. In: Tagungspublikation Bd. 4 des Internationalen Symposiums Interpraevent 1988. Graz. S. 279-294.
- SCHREIBER, H. ( 1989 ) : Geo-Special: The Himalayas. Vol. 1, No. 1, Hamburg: Gruner + Jahr, 166 S.
- SCHWEINFURTH, U. ( 1957 ) : Die horizontale und vertikale Verbreitung der Vegetation im Himalaya. Bonner Geographische Abhandlungen. 372 S.
- SHARMA, P.N., NAUTIYAL, S.P. ( 1966 ) : Geological Map of Kathmandu Valley : Scale 1 : 63. 360. Geological Survey of India.
- SHARMA, C.K. ( 1974 ) : Ground water resources of Nepal. Kathmandu: veröffentlicht von Mrs. Sangeeta Sharma, Kathmandu. 140 S.
- SHARMA, C.K. ( o.J. ) : River Systems of Nepal. Kathmandu : veröffentlicht von Mrs. Sangeeta Sharma. Kathmandu. 214 S.
- SHRESTA, T.K. ( 1979 ) : Studies on resources biology and ecology of fresh waters of Kathmandu Valley, with particular reference to fish production management and cooperation. Unveröffentlichte Studienarbeit. Research Division Tribhuvan University, Kathmandu.
- STATISTISCHES BUNDESAMT WIESBADEN ( Hrsg. ) ( 1987 ) : Länderbericht Nepal 1987. Stuttgart u. Mainz : W. Kohlhammer. 88 S.
- STORRS, A., STORRS, J. ( 1984 ) : Discovering Trees. Kathmandu : Sahayogi Press. 368 S.
- VAN DYK, J. ( 1988 ) : Long Journey of the Brahmaputra. In: National Geographic, Vol. 174, No. 5, S. 672-710.
- VAN GRUISEN, LISA et al. ( 1988 ) : Apa Guides : Nepal. München : Nelles Verlag. 351 S.

- WAGNER, G. ( 1931 ) : Einführung in die Erd- und Landschaftsge~  
schichte: Mit besonderer Berücksichtigung Süddeutschlands.  
Öhringen: Rau, 622 S.
- WEISE, O., CHRISTIANSEN, T., DICKHOF, A., HAHN, A., LOOSER, U.  
SCHORLEMER, D. ( 1984 ) : Die Bodenerosion im Gebiet der  
Dhauladhar Kette am Südrand des Himalaya/Indien. Giessen :  
Giessener Geograph. Schriften. Heft 54. IV + 69 S. Selbstver~  
lag des Geographischen Instituts der Justus-Liebig-Universität  
Giessen.
- WARTH, H. (o.J.) : Wer hat dich, du armer Wald . . . .?: Die Krise in  
Nepal. Bad Honnef: Deutsche Stiftung für internationale Ent~  
wicklung. Heft 7, 274 S.
- WERTH, W. ( 1987 ) : Ökomorphologische Gewässerbewertungen in  
Oberoesterreich (Gewässerzustandskartierungen). Österreicherich~  
sche Wasserwirtschaft, Jahrgang 39 , Heft 5/6. S. 122 - 129.
- YOSHIDA, M., IGARASHI, Y. ( 1984 ) : Neogene to quaternary lacu~  
strine sediments in the Kathmandu Valley, Nepal. In: Journal  
of Nepal Geological Society, vol. 4, Special Issue. Kathmandu.  
S. 73 - 100.
- ZELLER, J., TRÜMPLER, J. ( 1984 ) : Rutschungsentwässerung: Hin~  
weise zur Bemessung steiler Entwässerungsgräben. Birmens~  
dorf : Eidgenoessische Anstalt für das forstliche Versuchswe~  
sen. Teufen: Verlag Flück-Wirth, 276 S.

7. ANHANG

---

7. 1 ERLÄUTERUNGEN ZUM STAMMBLATT

---

Für jeden Gewässerabschnitt wird ein Stammblatt zu den Formulare~  
n angefertigt. Angaben zu diesem Deckblatt sind allgemeine Be~  
schreibungen des Abschnitts und koennen Karten und anderer Lite~  
ratur entnommen werden.

GEWÄSSERABSCHNITT, LAGE UND BEZEICHNUNG:

Die Abschnitte werden in Fließrichtung bis zur Mündung in den  
nächst größeren Fluß von 1 bis n durchnumeriert. Zur Bezeichnung  
kann eine sinnvolle Abkürzung angegeben werden (Bsp. Bag. 23  
für den 23. Abschnitt des Bagmati). Die genaue Lage wird anhand  
der Kilometrierung, die als Vorarbeit auf der entsprechenden Karte  
eingetragen werden muß, angegeben (von km x bis km y). Kilome~  
ter Null ist die Mündung in ein Gewässer hoererer Ordnung.

PHOTOS NR.:

Numerierung der Photos und Bezeichnung des Aufnahmestandortes  
(li, re, o.S., u.S., km).

KARTENMAßSTAB UND NAME DER KARTE:

Bsp. Kathmandu-Valley 1:10.000, Sheet 10 Patan / IV.

GRÖÖE DES EINZUGSGEBIETES:

meint die kumulative Größe jeweils von der Quelle bis zum flußun~  
teren Ende des entsprechenden Abschnitts.

SCHUTZGEBIETE AM GEWÄSSER:

aus der Karte, eventuell Alter und Art des Schutzgebietes sowie  
Neuaufforstungen.

SEITENBÄCHE:

Anzahl und Namen der wichtigsten sowie deren Lage (bei km ...).

BRÜCKEN:

Anzahl und Namen.

LAUFLÄNGE:

anhand der Kilometrierung, eventuell korrigiert durch aktuelle Feld~  
aufnahmen.

TALENTWICKLUNG:

ist das Verhältnis von tatsächlicher Lauflänge des Gewässerabschnitts zur Luftlinienentfernung des Anfangs und Endpunktes des Abschnitts mal 100 (%). Diese Verhältniszahl ist nur sinnvoll, wenn sich der Abschnitt in einem topographisch homogenen Gebiet befindet und die Linienführung nicht durch geologische Hindernisse erzwungen ist.

SEEHÖHE:

aus der Karte, anhand von Meßpunkten oder Hoehenschichtlinien.

GEFÄLLE:

Hoehendifferenz durch Lauflänge mal 100 (%).

FLIEßRICHTUNG:

aus der Karte, oder mittels Kompaß im Gelände.

VORAUSGEHENDE WITTERUNG:

Niederschlagsmessungen des der Feldaufnahme vorausgegangenen Tages aus Tageszeitung.

GEOLOGIE:

Genaue Angaben zur Geologie koennen der Literatur oder der geologischen Karte des Kathmandu Valleys von NAUTIYAL und SHARMA, Geological Survey of India, 1966, entnommen werden.

Literaturangabe: Journal of Nepal Geological Society:

Ausgabe vom Mai 1984 und Dezember 1985.

DATUM:

vom Tag der Aufnahme

BESONDERHEITEN:

Pegelmessungen, Hochwasserereignisse, Hinweise auf Projekte und Forschungsarbeiten am Gewässer.

## 7. 2 ERLÄUTERUNGEN ZU DEN FORMBLÄTTERN

---

### ALLGEMEINES

Alle Angaben, die gemacht werden, sollen durchschnittliche Schätzwerte sein, die das Erscheinungsbild eines Abschnittes so genau wie möglich beschreiben sollen.

Für den Anfang ist eine Eichung der Schrittlänge oder das Mitführen eines Meßstabes (geeignet ist auch ein Regenschirm) sinnvoll, um die Schätzungen zu überprüfen.

Zutreffende Angaben werden mit einem Kreuz gekennzeichnet. Nicht zutreffende werden durch einen Strich verneint. Mehrfaches Ankreuzen zur Beschreibung eines Parameters ist möglich.

Durch re, li, o.S., u.S. kann, wenn notwendig, eine genauere Bestimmung vorgenommen werden. Dabei bedeuten:

- re: rechtes Flußufer in Fließrichtung gesehen
- li: linkes Flußufer in Fließrichtung gesehen
- o.S.: oberstrom, flußaufwärts
- u.S.: unterstrom, flußabwärts

Bei "TALHANGNEIGUNG", "BÖSCHUNGSNEIGUNG", "NUTZUNG GEWÄSSERUMLAND" sowie bei "EROSIONSVERHÄLTNISSE" und "VEGETATION" sind Angaben für das linke und rechte Ufer getrennt zu machen.

Bei "STRUKTURELEMENTE", "SOHLSUBSTRATE", "EROSIONSVERHÄLTNISSE" und "VEGETATION" (nur Gehölzsaumdichte) werden durch die Häufigkeitszahlen 1, 2, 3 gewichtet. Für die beiden letztgenannten Parameter werden beide Ufer getrennt betrachtet. Es bedeuten:

- 1 : punktuell / spärlich / vereinzelt / schwach
- 2 : über kürzere Strecken / untergeordnet / mäßig / mittel
- 3 : über längere Strecken / vorherrschend / häufig / stark

#### TALFORM

Kerbtal oder V-Tal:

Schlental oder U-Tal:

Muldental, ausgedehnte Talsenke:

Schwemmlandebene (Bsp. Terai):

Unter Anmerkungen koennen auffallende Talstrukturen erwähnt werden (Oxbowlake, Umlaufberg, trockenengefallene Seitentäler, Schlucht etc.).

#### TALBREITE

Profilbreite des Gewässers plus angrenzende Ebenen links und rechts.

#### TALHANGNEIGUNG

flach	0-10 Grad	sehr steil	45-80 Grad
mäßig	10-30 Grad	senkrecht	80-90 Grad
steil	30-45 Grad	überhängend	90 Grad und mehr

#### NUTZUNG GEWÄSSERUMLAND

Viehweide: ausgedehnte Weideflächen. Nicht gemeint ist damit der gehütete Vieh eintrieb auf den schmalen unproduktiven Uferstreifen zwischen Felder und Fluß.

Ödland: ungenutzte, oft verkrautete Flächen, meistens in Siedlungsnähe

Wald: mit hochgewachsenen Bäumen be-  
stockte Fläche, im Gegensatz zu Hek-  
ken und Sträuchern.

Hecken-/Strauchlandschaft: devastierte Waldflächen, auch Sukzes-  
sionsflächen, Shrub-land.

Siedlungsbereich: bebaute Grundstücke, Gärten etc.

Anmerkungen: hier kann auf einen vermuteten  
Zusammenhang zwischen Wasser  
haushalt des Umlandes und dem  
Gewässer hingewiesen werden, falls  
nicht aus den angekreuzten Punkten  
ersichtlich.

#### GEWÄSSERZONEN

Erosionsstrecke: Erosion größer als Sedimentation; Erosion und  
Transport finden statt.

Gleichgewichtsstrecke: Erosion entspricht ungefähr der Sedimentation;  
eine Umlagerung findet statt.

Auflandungsstrecke: Erosion kleiner als Sedimentation; Ablagerung  
findet statt.

#### AKTUELLE EROSION

Erkennungsmerkmale sind Schäden im Flußbett, wie Kolke, oder  
unterspülte Brückenpfeiler.

#### GEWÄSSERVERLAUF

Verzweigte Gewässer kommen hauptsächlich im Terai vor. Dabei  
fließen mehrere Kanäle innerhalb eines ausgedehnten Flussbettes,  
oder eigenständige kleinere Stroeme bilden ein Flußsystem.



#### WASSERFÜHRUNG

episodisch: nur bei außerordentlichen Regenfällen wasserführend.  
periodisch: nur in der Regenzeit wasserführend.  
Durch Befragen der Anwohner, oder durch Abwägen des momentanen Abflusses und der Jahreszeit, sowie durch die Ausgestaltung (Bewuchs, Ausprägung) des Flußbettes abzuleiten.

#### AUSBAUZUSTAND

Ausbau meint einen massiven Eingriff über längere Strecken des Gewässers in das Gewässerbett zur Veränderung des Querschnittsprofils. Naturnahe Gewässer sind mehr oder weniger vom Menschen beeinflusst und haben nicht mehr den natürlichen mehr den natürlichen weitgehend unberührten Charakter des Naturgewässers.

#### STRUKTURELEMENTE

Prallufer und Gleitufer sind die wesentlichen Erscheinungen eines mäandrierenden Flusses. Wenn der Stromstrich gegen den Talhang stroemt und es dabei zum mehreren Meter hohen, senkrechten Abbruch kommt, spricht man von Prallwand.  
Buchten sind größere seitliche Ausbuchtungen der Uferlinie.  
Kolke entstehen durch Tiefenerosion. Man erkennt sie an Unregelmäßigkeiten der Wasseroberfläche.  
Wasserfälle und Felsschwellen sind natürliche Abstürze, die das Fließkontinuum des Gewässers unterbrechen (vgl. künstl. Absturz).  
Sonstige koennen sein: Flachwasserstrecken, Steilufer etc.

#### BEEINTRÄCHTIGUNG VON FLUßBETT UND UFERBÖSCHUNG

Vor allem Wasserbüffel werden zum Abweiden der Uferstreifen am Fluß gehütet oder zum Baden über die Boeschung in den Fluß getrieben.

Bewässerungsausleitungen gehen mit Uferboeschungsdurchbrüchen einher, wenn das Reisfeld nicht innerhalb des Flußprofils liegt. Das Wasser wird dabei mittels Bambusbuhnen und/oder Grassoden so~ wie Querwerken ausgeleitet.

Auch Ausleitungen durch Massivverbau sind hier gemeint.

Fahrwege ins Gewässer dienen meist der Sandabfuhr. Es koennen aber auch Furten zur Überquerung des Gewässers sein.

Einleitungen: künstliche Einleitungen, wie Abwasserkanäle, Dohlen, Gerinne und Abwassergräben. Keine Bäche und keine Flüsse (werden extra erwähnt).

Müllu.Schuttdeponie: Uferboeschungen, die offensichtlich zur Müll- und Schuttablagerung genutzt werden.

Religioese Stätten: UfertreppenundVerbrennungsplätze, sogenannte Ghats.

Künstlicher Absturz: massive Querwerke, die das Fließkontinuum des Gewässers unterbrechen (Stauwehr etc.).

Sonstige: andere Nutzungen und Beeinträchtigungen des Bettes und der Uferboeschung.

#### ERSCHLIEßUNG DES UFERS

Das Ufer ist leicht zugänglich über einen ausgetretenen Pfad oder einen befahrbaren Weg, der entlang des Gewässers oder ins Ge~ wässer führt. Es ist nur über Terrassen und Felder zu erreichen, oder es ist unerschlossen und schwer zugänglich, wenn alle drei Punkte verneint werden.

#### EROSIONSVERHÄLTNISSE

Die schwerwiegendsten Uferschäden werden im Kathmandu-Tal durch Unterspülung des Ufers hervorgerufen. Dabei werden die leicht erodierbaren fluviatilen und lakustrischen Sedimente unter einem mehr oder weniger starken Humushorizont ausgespült, wo~ durch der obere Uferteil nachbricht. Lediglich Kalimati-Horizonte (schwarze Tonerde) zeigen sich stabiler gegenüber Unterspülung.

Zunächst sollen Häufigkeitsangaben für beide Ufer getrennt gemacht werden, wobei die Häufigkeitszahl 3 eine Schädigung durch Unterspülung von bis zur Hälfte und mehr der Länge des entsprechenden Ufers angibt. Ziffer 1 beschreibt eine schwache, punktuell auftretende Schädigung, Ziffer 2 eine Schädigung des Ufers von bis zu 1/4 seiner Länge. Eine Verneinung durch einen Strich bedeutet, daß Erosionsschäden der entsprechenden Form nicht festgestellt wurden.

Zusätzlich sollen die zutreffenden Erscheinungsformen der Erosionsart unter zu a) angekreuzt werden.

Mit geringeren Auswirkungen werden Ufer durch oberflächigen Abtrag (z. Bsp. bei Hochwasser), rückschreitender Erosion (Gullyerosion), Viehtritt und andere Faktoren verursacht.

Zunächst sollen wiederum Häufigkeitsangaben unter b) für jede Uferseite gemacht werden. Die Ziffern 1,2,3 werden entsprechend (siehe oben) verwendet. Unter zu b) sollen auch hier zusätzlich durch einfaches Ankreuzen die beobachteten Erosionserscheinungen aufgenommen werden.

Unter Anmerkungen koennen andere Ursachen und uferschädigende Faktoren aufgeführt werden.

#### SOHLSUBSTRAT

Ton	bis zu 0,002 mm
Schluff	0,002 - 0,063 mm
Sand	0,063 - 2,0 mm
Kies	2,0 - 63,0 mm
Steine	63,0 - 200,0 mm
Großgeschiebe	mehr als 200 mm

Bei Großgeschiebe durchschnittliche Größe (Durchmesser) und maximale Größe angeben.

#### UFERSUBSTRAT

Hier ist nicht das abgelagerte Geschiebe am Ufer gemeint, sondern die verfestigten Bodenhorizonte des Ufers.

Beispiel: Sand-S, sandig-s  
Schluff-U, schluffig-u  
Lehm-L, lehmig-l (Dreikornngemenge aus S,U,T)  
Ton-T, tonig-t

So bedeutet also: uS - schluffiger Sand  
sL - sandiger Lehm  
lT - lehmiger Ton  
oder Grundgestein, Fels, Konglomerat etc.

Die Beschaffenheit der Ufer im Kathmandu-Tal ist hauptsächlich durch die Ablagerungen von Seesedimenten (lakustrische Sedimente) des spät-würmeiszeitlichen Kathmandu-Sees (vor rund 29.000 Jahren) sowie durch die Bildung von Schwemmkegeln an den Talflanken und in Form von Glimmersandausschwemmungen von den Flanken des Sheopuri Lekh im Norden gekennzeichnet. Nach der Verlandung des Sees wurde durch die Erosion der Flüsse das Schichtprofil teilweise aufgeschlossen, gleichzeitig aber durch postglaziale und rezente fluviale Ablagerungen jüngere Horizonte gebildet. Dort wo sich die Flüsse nur wenig eintiefen befinden sich die Ufer im Bereich dieser alluvialen Schichten. Durch das Einfallen der fluvio-lakustrinen Schichten von Süden nach Norden, der unterschiedlichen Eintiefung der Gewässer sowie durch Störungen des geologischen Aufbaus und durch tektonische Bewegungen kommt es zu unterschiedlichen Substratverhältnissen entlang der Ufer.

Zur Beschreibung der Uferbeschaffenheit müssen die einzelnen Horizonte aufgeführt werden. Der obere Horizont ist meist humoser Oberboden (Ah-Horizont), dessen Mächtigkeit lediglich von Interesse ist. Von größerer Bedeutung sind die unteren sohnahen Horizonte, die die Ausbildung des Flußbettes mitbestimmen. Sie werden gemäß Ihrer Textur mit Abkürzungen wie sL, uS etc. beschrieben, bei unterschiedlicher Mächtigkeit durch Angabe derselben.

Beispiel: geringer Ah - mächtiger uL - uS  
= geringer Humushorizont über mächtigem Horizont aus schluffigem Lehm, der über einem schluffigen Sand-Horizont gelagert ist.

Die Abkürzungen sandig, schluffig, lehmig, tonig koennen beliebig mit den Hauptbodenarten Sand, Schluff, Lehm, Ton kombiniert werden. Am Bagmati kommen vor:

- im noerdlichen Teil: sandiger Kies mit Steinen,  
    schluffig kiesiger Sand  
    S, sL, uL ...

- im südlichen Teil: Sand, Feinsand, Ton  
    sL, uL, tL, sT, slT, sT, uT ...

Zu vermerken sind auch auffällige Unregelmäßigkeiten innerhalb eines Abschnittes, oder z. Bsp. ausstreichende Horizonte wie Kali~mati, ein dunkel bis schwarzer, toniger Horizont, oertlich mit Einla~gerungen von Torfbändern oder Sand.

Zusätzlich koennen Angaben gemacht werden über Beobachtungen von anstehendem Grundgestein, Boeschungsaufbau, Horizontabfolge und Mächtigkeit.

(Siehe Anhang: Schlüssel zur Bestimmung der Bodenart des Fein~bodens).

#### GEWÄSSERPROFIL

- a) Profiltiefe: Entfernung von Sohle bis Boeschungsschulter
- b) Profilbreite: Entfernung zwischen linker und rechter Boeschungs~schulter
- c) Sohlbreite
- d) Ufer
- e) Boeschung

Die Boeschungsneigung wird durch das Verhältnis von vertikaler Höhe vom Boeschungsfuß bis zur Boeschungsschulter zu der horizontalen Entfernung der beiden Punkte angegeben (1:n). Ist die Sohle wegen starker Trübung oder zuviel Wasser nicht einsehbar, so muß sie anhand der Profilausprägung, der geschätzten Wassertiefe, unterschiedlichen Fließgeschwindigkeiten innerhalb des Querprofils etc. abgeleitet werden.

Von einem typischen Querprofil des Abschnittes soll eine Skizze angefertigt werden, auf der die Ausbildung des Flußbettes (Sohle oder Sohlen, Sandbänke, Ufer) und der Boeschung ersichtlich sind.

#### ABFLUß

(zum Zeitpunkt der Aufnahme)

- NQ: Niedrigwasser. Boeschungen und Uferteile sind trocken, der Abfluß beschränkt sich auf den tiefsten Teil der Sohle.  
MQ: Mittelwasser. Ufer und Teile der Boeschung (Vegetation) sind im Wasser.  
HQ: Hochwasser. Boeschung unter Wasser, bis Profiloberkante.

Fließgeschwindigkeit (mittels Schwimmkörper und Stoppuhr), mittlere Wassertiefe und benetzte Breite dienen der Schätzung des Abflusses und können an geeigneter Stelle des Abschnitts gemeinsam aufgenommen werden.

VEGETATION

aquatischer Bereich	: Unterwasserzone
Makrophyten:	mit bloßem Auge sichtbare pflanzliche Organismen
amphibischer Bereich:	Wasserwechselzone
Hochstauden:	PflanzenderRoehrlichtzone(Binsen,Rohrkolben..).
krautige Pflanzen:	nicht verholzende Pflanzen
Gehoelzsaum:	Gehoelze entlang der Gewässer
Baum:	mit einer Achse (Sproß) aufwachsendes Gehoelz
Stockausschlag:	Austreiben mehrerer Triebe am Wurzelstock nach dem Fällen eines Baumes.
Hecken u. Sträucher:	die Ausbildung eines axialen Hauptsprosses unterbleibt, verholzende Triebe.
Einzelstand:	Solitärbäume, die ohne Konkurrenz aufgewachsen sind oder freigestellt wurden.
lückig:	keine Berührung untereinander, jedoch durch gegenseitige Beschattung etc. Ausbildung eines Kleinklimas moeglich.
geschlossen:	Pflanzen berühren sich, dichter Gehoelzsaum.

Angaben der Häufigkeit nur für die Erscheinungsformen Einzelstand, lückig, geschlossen und für beide Uferseiten getrennt. Im Besonderen bedeuten:

- 1 : spärlich, punktuell, maximal auf einem Drittel der Uferlänge vorkommend.
- 2 : untergeordnet, über kürzere Strecken, 30 - 70 % der Uferlänge.
- 3 : vorherrschend, über längere Strecken, ungefähr auf 70 - 100 % der Länge der entsprechenden Uferseite vorhanden.

Werden alle drei Erscheinungsformen durch einen Strich verneint, so befindet sich keine Gehoelzvegetation am Gewässer.

Unter Anmerkungen : Angaben zum Zustand der Vegetation, erodiert, geschneitelt, verbissen, beschnitten, Futterbaum, Brennholznutzung, Zusammenhang zwischen Erosion und Vegetation, Beschattung des Gewässers.

#### EINBAUTEN

Massivbauwerke: Stahlbeton, zementierte Mauern, auch Trockenmauern  
Gabionen: steinverfüllte, rechteckige Drahtkoerbe.  
Flechtzäune: meist aus Bambus, mit Reisig oder/und Grassoden verfestigt. Hier auch Sandsäcke und andere einfache Verbaumaßnahmen.  
Längswerke werden durch "längs" und "li" bzw. "re" verdeutlicht.  
Querwerke: - Bühnen werden durch Ankreuzen von "quer" und "li" bzw. "re" gekennzeichnet.  
- Sohlswellen etc. werden durch "quer" und "mi" definiert.

Unter Anmerkung nähere Angaben zum Zustand, Alter, Stabilität, Funktionsfähigkeit etc.  
Kurzbeschreibung des Bauwerkes und seines Zwecks, um Unklarheiten zu vermeiden.



### 7. 3 ERLÄUTERUNGEN ZUM BRÜCKENERHEBUNGSBOGEN

---

Bei den Feldaufnahmen koennen auf einem Bogen mehrere Brücken verzeichnet werden, bei der Reinschrift soll jedoch für jede Brücke ein Bogen verwendet werden.

Zur Erleichterung der Schätzungen von Hoehe und Breite empfiehlt es sich, ein Segment des Brückengeländers abzumessen und durch Abzählen des Segments über dem entsprechenden Bereich die Masse zu ermitteln.

#### GEWÄSSERNAME UND ABSCHNITT:

Name des überbrückten Flusses und Bezeichnung des Abschnitts, in dem sich die Brücke befindet.

#### LAGE UND BEZEICHNUNG:

anhand der Kilometrierung die Lage angeben und, falls vorhanden, den Namen der Brücke, oder Name der Straße. Bsp.: Bagmati Brücke, Straße nach Bhaktapur.

#### PHOTOS NR.:

Es ist sinnvoll, von jeder Brücke ein, wenn noetig mehrere Photos zu machen, die wichtige Stellen wie Brückenpfeiler, Widerlager, Einbauten zeigen. Zusätzlich Blickrichtung beim Photographieren abgeben (o.S., u.S.).

#### HÖHE:

geschätzte lichte Hoehe von Profilsohle bis Brückenunterkante.

#### PROFILBREITE:

lichte Breite vom Fußpunkt des linken Widerlagers zum Fußpunkt des rechten Lagers (auch bei schräg zur Horizontalen verlaufenden Widerlagern).

#### PFEILERANZAHL:

Anzahl der Brückenpfeiler und falls noetig ihre Anordnung (Bsp.: 3 Pfeilerreihen a` 5 Pfeiler).

#### PFEILERBREITE:

auf dm genau schätzen.

EROSIONSTIEFE VON FUNDAMENTEN UND ZUSTAND DER LAGER:

Pfeilerfundamente unterscheiden sich durch ihre Form und ihr Aussehen vom eigentlichen freistehenden Teil des Pfeilers. Oft bildet ein "Betonbalken", der die einzelnen Pfeiler in Längsrichtung zu einer Pfeilerreihe verbindet, eine deutliche Grenze zwischen Fundament und stützendem Teil. Dieser Längsbalken befindet sich beim Neubau einer Brücke auf der Bettsohle. Zusätzlich erkennt man an Verfärbungen des Betons, bis zu welcher Tiefe die Pfeiler ursprünglich im Sohlsubstrat bzw. im Wasser gestanden sind. Der freigelegte Teil des Fundamentes ist auf dem genau abzuschätzen und einzutragen (Wassertiefe mitrechnen). Schäden an Lagern können auf gleiche Weise angegeben oder verbal beschrieben werden.

UFER IM BRÜCKENBEREICH:

Eine kurze Beschreibung des Brückenbereichs (li, re, o.S., u.S.), Art der Vegetation, Schäden der Ufer, Fahrwege, Deponien, Einleitungen, andere Nutzungen im Brückenbereich (oft Sandentnahme). Beschreibung von Einbauten, die zum Schutz der Brücke angelegt sind (Länge x Höhe, Zustand und Funktionsfähigkeit).

SKIZZE:

Eine Skizze soll insbesondere darüber Auskunft geben, welche Breite des Profils für den Abfluß genutzt wird und welcher Teil verlandet ist. In welchem Winkel fließt der Fluß gegen die Brücke? Anordnung der Pfeiler im Querschnitt. Wo befinden sich Einbauten? Wo tritt Erosion auf? Wo wird Sand entnommen? Eintragungen von geschätzten Entfernungen sowie Angabe der Nordrichtung auf der Skizze.

## EINIGE FELDNOTIZEN ZU DEN FLUßABSCHNITTEN

-----

BEGANG DES BAGMATI VON SUNDARIJAL BIS ZUM STAUBECKEN BEI NAGMATI MÜNDUNG (28.07.1989).

Ein Kilometer oberhalb der Nagmatimündung rechten Talhang hochgestiegen, bei zweiter Verzweigung des Nagmati (Mühle) zu den Häusern von Mulkharka (ungefähr 1900m ü.NN) weitergegangen. Von dort wieder Abstieg zum Bagmati Wasserreservoir (Staubecken). Aufstiegszeit Sundarijal/Mulkharka 3 Stunden. Aufgefallen ist der neue Weg, der sich entlang den Hängen des Nagmati windet, nachdem er den Bagmati überquert hat. Ein Nepali gibt Auskunft, daß dieser Weg von Burhanilkant herführt.

Der Bagmati bildet ein V-Tal aus, mit Wasserfällen und Großgeschiebe bis 5m Durchmesser. Oft erfolgt Wasserentnahme zur Bewässerung und Stromerzeugung/Trinkwasser für Sundarijal water supply. Alnus ist vor allem im unteren weniger steilen Teil die bestimmende Baumart der Hänge. Dort sind auch noch einzelne Kieferbestände (geringer Beschirmungsgrad) zu sehen. Die Hänge sind teilweise stark devastiert. Flußaufwärts überwiegt shrub-land oder Terrassen (vor allem Mais, etwas Reis) am Südhang von Mulkharka. Die Terrassen sind in erstaunlich gutem Zustand.

Eine Kartierung ist bei der geringen Breite des Gewässers auf der Karte schwierig. Nur wenig anthropogene Einflüsse sind festzustellen: Staubecken, Gabionen bei water supply Sundarijal, Tempelstätte (Hoehle) bei Nagmati Mündung, Bewässerungsausleitung, die jedoch im Fels integriert ist und keine große Beeinflussung des Gewässers bewirkt.

BEGANG KM 184 BIS 183,2 (12.08.1989).

10% Gefälle, heute nur teilweise begangen, Hangabrutsche, ausschließlich Alnus (Erle) Bewuchs.

BEGANG KM 183,2 BIS 182,8 (12.08.1989).

Teilweise Vegetation, Alnus, Salix, Artemisia vulgaris. Sehr viel ban mara in der Boeschung und am Ufer. Fels an Auskolkungsstelle km 182,8. Kolke und Felsbrocken an der Grenze zum nächsten Abschnitt. Vieh weidet in der Boeschung. Gefälle ungefähr 5%.

BEGANG KM 182,8 BIS 177,7 (12.08.1989).

Lemon gras (pirhe) wächst widerstandsfähig im Wasserbereich. Schützt Ufer bei km 180,5 offensichtlich, obwohl dort Boeschung schon angekratzt ist. Nur zwei kleine Bäumchen auf ganzer Strecke. Ausschließlich Reisanbau. Der ehemalige Verlauf der zerstörten Uferlinie läßt sich durch die Abbruchstellen der Terrassenwälle im Bereich eines Prallhanges abschätzen: Seit dem Anlegen der Felder bis jetzt ungefähr 2 -3 m lateraler Abbruch. Prallhänge sind uferseits nur schwerlich zu begehen, da man durchs Reisfeld muß. An Gleithängen Schotterbänke mit ban mara, pirhe ghans, Gras. Auf minimalen Flächen am Ufer, die nicht für den Reisanbau genutzt werden, werden Kühe geweidet. Kalimati widerstandsfähig im Stromstrich: Foto zeigt die Ausformung eines vom Wasser geformten Kalimatibrockens.

#### BEGANG VON TALIMCOK BIS ARSENAL (ARMY CAMP) AM 27.7.1989.

Eine Kartierung scheint eine wertvolle Informationsgrundlage zu sein, Probleme gibt es jedoch mit dem sich ständig ändernden Flußlauf und der Orientierung, da die Schneider Karte nicht den tatsächlichen Flußverlauf beschreibt. Für die Strecke war ich drei Stunden unterwegs. Die ständige Orientierung anhand der Karte und die Kartierung der Strukturelemente etc. hält auf. Laut Auskunft der Bauern von Talimcok wird Utis nicht als Viehfutter benutzt, sondern für Brennholz geschneitelt.

#### BEGANG GOKARNESHWAR BIS BODHNATH BRÜCKE (14.08.1989).

Fast nur linksseitiger Bewuchs mit Alnus, nil kanda, Holunder, titepati. Kein gleichmäßiges Gefälle. Kein Unterschied im Gefälle zwischen oberem Teil und unterem Teil des Abschnittes anhand der Rauigkeit der Sohle festgestellt. Die Ufer werden beidseitig mit Sicheln pfleglich abgemäht (oberer Teil des Abschnittes). Rechts einzelne erodierte Uferstellen, keine Ausleitungen in diesem Bereich (oberer Teil des Abschnittes). Der untere Teil des Abschnittes wird durch die fehlende Vegetation vom oberen Abschnitt abgegrenzt. Das Flußbett weidet sich aus (Profilbreite von ungefähr 19m auf ungefähr 30m). Der Fluß fängt an zu meandrieren. Ausleitungen und Abbrüche, sowohl Vieheintrieb zum Weiden auf die Ufer. Sandentnahme fast auf dem ganzen Abschnitt durch Befahren des Flußbettes. Mäander Ausdehnung anhand der Entfernung Prallhang-Gokarna ban Mauer festgestellt: Heute 55m, vor 18 Jahren (Grundlage Luftbild) noch ca. 100m. Am dritten Mäander oberhalb Brücke Bodhnath. An dieser Stelle wird ein ca. 80cm mächtiger humoser Ah-Horizont abgebrochen. Auch am ersten Mäander links oberhalb der Brücke. Ansonsten sind Abbrüche alter verlandeter Gleithänge zu erkennen. Gabionen, die in ihrer Funktion durch Unterspülung gefährdet sind. Brücke wurde von dem Müll-Projekt der GTZ, welches seit 1980 besteht, gebaut, um die Mülldeponie, die sich ungefähr 500m weiter rechts befindet, anfahren zu können. Früher war dort eine Holzbrücke. Das Sickerwasser der Müll-Deponie fließt in den Bagmati (Auskunft Dieter Mutz, GTZ). Abschnittsgrenze bei Prallhang an der Flughafenerhebung.

#### ABSCHNITT NoERDLICH FLUGHAFEN (14.08.1989).

Dieser Abschnitt ist durch hohe Steilhangabbrüche und -abrutsche gekennzeichnet. Der Fluß tangiert auf gesamter Länge den linken Talhang (Flughafen). Links und rechts Reisanbau. Viele Ausleitungen zur Bewässerung. Starker Vieheintrieb am Umlaufberg? bei km 173. Am Prallhang bei km 170,5 links tritt Grundgestein am Flußufer zutage.

#### NOTIZ VOM 25.07.1989 ZUR ABSCHNITTSGRENZE BEI KM 173,6.

Unterschiede der zwei vorangehend erwähnten Abschnitte sind vor allem der Gewässerverlauf (gestreckt bis gewunden und gewunden bis mäandrierend). Dies bedingt eine Veränderung der Strukturelemente: Prall- und Gleithänge sind im südlichen Abschnitt prägend. Dies bedingt wiederum eine ausgeprägte Seitenerosion an Prallhängen sowie das Auftreten von Buchten. Hinzukommen Hangrutsche, die vom Gewässer verursacht sind, da dieses die Talhänge direkt unterspült. Jeglicher

Gehölzsaum fehlt ganz. Neben Reis wird auch Mais bis ans Ufer angebaut. Der Gewässerverlauf ist insgesamt unruhiger als im nördlichen Abschnitt. Kleineres Geschiebe (keine Steine) ist festzustellen. Unterscheidungsmerkmale sind 1. Gewässerführung, Verlauf, 2. Erosionszustand und Verhalten, 3. Gewässerstrukturelemente, hinzukommt Gehölzsaum, Größe des Feingeschiebes.

ABSCHNITT BEI GUJESWARI-TEMPEL (14.08.1989).

Stark verkrautet, mit wenigen Erlen, Holunder, titepati, nil kanda, lantana camera bewachsen, links Baumallee.

BEGANG SÜDLICH BRÜCKE PASUPATINATH (07.08.1989).

Eindeutige Abschnittsgrenzen. Abschnitt südlich Pasupatinath ungefähr 400m lang. Rechts verkrautet, links vegetationslos (Gras). Dann beginnt flußabwärts ein beidseitig bewaldeter Uferabschnitt (ungefähr 200m lang, km 168,5). Brücke über Ring- road nicht in Schneider Karte eingezeichnet. Der bewaldete Uferabschnitt wird nur links begangen: Steilufer mit Weiden, Pappeln, Celtis australis (Khare) und Heckengehoelz. Hinter der linken Böschung befindet sich eine ca. 3m tiefe Ausbuchtung, 50m lang, 15m breit. Die Bucht ist mit Reis bepflanzt, ein schmaler Durchbruch am unteren Ende verbindet sie mit dem Fluß. Ein Junge gibt Auskunft, daß man hier Sand gegraben habe. Im weiteren Verlauf fällt die sorgsame Behandlung des Ufersaums auf. Pappeln und Weiden sind gepflanzt und teilweise durch Flechtzäune geschützt. Pappeln und Weiden stehen teilweise im Wasser. Direkt angrenzend sind Mais- und Gemüsegärten. O.g. Brücke ist sehr stark erodiert.

ABSCHNITT 100 METER OBERHALB, 200 METER UNTERHALB DER BRÜCKE VON BANESWAR ( 08.08.1989).

Dieser Abschnitt ist gekennzeichnet durch: Sandentnahme, Brückenerosion, örtlich eingestürzte Längsgabionen, Abwasserleitung, starke Gewässerbelastung. Vegetation: Verkrautung, canabis, titepati, Holunder, mayal-Baum. Junge Weiden stehen verkümmert zweireihig im Wasser, dienen der Sicherung der Bucht links oberhalb Brücke. Müllablagerung im Brückenbereich (s. Skizze und Foto). 200m flußabwärts verbessert sich die Ufervegetation. Zuerst rechts Pappeln geschlossen, dann links Weiden geschlossen bis lückig, rechts Weiden geschlossen bis lückig.

ABSCHNITT TROLLEY BUS BRÜCKE BIS MÜNDUNG MANOHARA (10.08.1989).

Brücke stark erodiert, Sandentnahme, Abwassereinleitung. Abschnitt stark mäandrierend. Tatsächlicher Gewässerverlauf weicht von der Karte ab: Laterale Veränderung der Uferlinie um ca. 50m. Abgrenzung des letzten Abschnittes vor der Mündung (ca. 400m): Einseitiger Weiden-, Pappel-, Melia-, Holunderbewuchs.

BEGANG VOM MANOHARA BIS BISNUMATI ( 23.08.1989).

Problem der Schätzung der größeren Profil- und Sohlbreite. Profilbreite von

50 bis 110m, keine typische Prallhangausbildung. Neubau der Brücke bei Manohara Mündung findet statt.

#### ABSCHNITT BISNUMATI MÜNDUNG BIS RING ROAD BRÜCKE ( 24.08.1989).

Der Bisnumati wurde kurz vor der Mündung in den Bagmati mit Gabionen befestigt und mit Müll das linke Ufer geschüttet und von der GTZ bepflanzt, deren Kompostieranlage angrenzt (Auskunft Dieter Mutz GTZ ). Starker Bewuchs vor allem des linken Ufers mit Celtis, Morus, Salix, Holunder, Bambus, Melia. Nutzung der angrenzenden Flächen links: Kleinstrukturierte Gemüsegärten, Reisfelder, vereinzelt Sandentnahme in kleinen Mengen am Ufer. Weiter oben links Bambusbühnen am Ufer. Die mittlere Insel wird beweidet, auch dort vereinzelt Sandentnahme. Wie kommt es zu dem alten Weiden-, Meliabestand am linken Ufer? Auch rechts beträchtlicher Weidenbestand mit Ausleitung, die aus der Ferne erkannt wird, mit Bambusverbau. Unterhalb der Brücke setzt sich der Weidensaum beidseitig fort.

#### ABSCHNITT SÜDLICH RING ROAD BRÜCKE BIS COBHAR ( 24.08.1989).

Stinkende Abwassereinleitung am rechten Ufer unterhalb des water supply (sewage) Gebäudes, verlandetes Ufer, Ödland und Sandentnahme. Unterhalb der Hängebrücke bei Aphaldol verengt sich der Fluß. Rechts Uferfiltratentnahme (Auskunft Dieter Mutz, GTZ) links oben Rieselfelder kurz vor Cobhar tritt Kalimati an den Ufern auf, der größere Erosionsschäden am Prallhang verhindert. Hohe Uferboeschung, 5 bis 10m. Boeschungsschüttung rechts, stabilisierter Hangrutsch rechts, Kolke im Flußbett.

#### BEGANG DER COBHAR GORGE ( 27.08.1989).

Oberhalb der Schlucht mündet der Nakhu Khola. Erosionsbucht vor Schluchteingang. Schlucht selber ist nur spärlich bewachsen mit Valayo, Khiroo, oben stehen Kiefern, vereinzelt Alnus. Unterhalb der Schlucht dichter Gehölzsaum links mit vielfältigen Arten: Celtis, Mayal, Melia, Alnus... Weiden fehlen. Links Uferabbruch an sekundärem Prallhang, der aber bewachsen ist und sich trotz Viehweide (s. Foto) der Stroemung in geschwungener Form entgegenstellt. Vermutlich Kalimatischichten.

SIGNS AND SYMBOLS

STABILIZING ELEMENTS  
( blue )

WATTLE (CLAYONNAGE,  
SANDBAG, ETC.)

GROYNE (CLAYONNAGE,  
SANDBAG, ETC.)

GABION  
ALONG BANK

GROYNE (GABION)

BANK PROTECTION (BRICK  
MASONRY, STONE, ETC,)

WEIR, BAR (CONCRETE,  
STONE ORBRICK MASONRY)

MISCELLANEOUS ( brown )

SEWAGE CHANNEL, PIPE....

SEWAGE DITCH

BRIDGE (JEEPABLE)

FOOTBRIDGE

DESTROYED BRIDGE

RUBBISH, DUMP

JEEPABLE ROAD INTO RIVER

SANDBANK, BAR

EMBAYEMENT (ACCRETION  
WITH SEDIMENTS)

SLIP-OFF SLOPE BANK

DESTABILIZING ELEMENTS  
( red )

PROGRESSIVE  
BANK CAVING

SUCCESSIVE  
SLOUGHING

PROGRESSIVE  
LANDSLIDE

SUCCESSIVE OR  
STABLE LANDSLIDE

PROGRESSIVE  
GULLYEROSION

GULLY  
GROWN OR STABLE

TAKING OF SAND

TAKING OF WATER  
FOR  
IRRIGATION WITH  
CLAYONAGE, SANDBAG

VEGETATION (green)

SINGLE TREE

STAND OF TREES

HEDGE

HERBAL PLANTS

GRAS