

## **1. Einleitung**

### **1.1 Problemstellung und Zielsetzung**

In den letzten Jahrzehnten ist vor dem Hintergrund der wachsenden Weltbevölkerung und der daraus resultierenden Abhängigkeit von der Natur, aber auch aufgrund des immer stärker werdenden Einflusses des Menschen auf seine natürlichen Lebensräume das Verständnis von Interaktionen zwischen dem Menschen und seiner Umwelt in den Mittelpunkt geomorphologischer Forschung gerückt. Die zentralen Themen umfassen die aktuelle Formung der Erdoberfläche, die Einflüsse des Menschen auf die Reliefsphäre, holozäne Umweltrekonstruktionen sowie den Bereich der Naturgefahren und Naturrisiken. Der aktuelle Stand deutscher und internationaler geomorphologischer Forschung ist in einem Positionspapier des deutschen Arbeitskreises für Geomorphologie (AK Geomorphologie 2005) wiedergegeben, das noch in diesem Jahr in einer Ausgabe der Zeitschrift für Geomorphologie publiziert wird.

Von besonderem regionalen Interesse sind hierbei die Hochgebirge der Erde. Zum einen befinden sich die höchsten Gebirgsregionen außerhalb des direkten Einflusses des Menschen. Somit können die geomorphologischen Auswirkungen von Klimaveränderungen studiert werden und Proxydaten für Modellierungen zukünftiger Klimaänderungen und ihre Wirkung auf die Erdoberfläche liefern. Zum anderen sind die Lebensräume in den mittleren und unteren Höhenlagen der Hochgebirge stark von den geomorphologischen Prozessen der obersten Höhenstufen betroffen. So beeinflussen Fließverhalten und Sedimentfracht der in den Gipfelbereichen entspringenden Flüsse beispielsweise die Trinkwasserversorgung der Menschen, Massenbewegungen aus den obersten Höhenstufen können ihre Infrastruktur zerstören. Eine nachhaltige Siedlungs- und Wirtschaftsweise ist nur möglich, wenn das gesamte System Hochgebirge verstanden wird, also auch der vom Menschen meist nicht genutzte Naturraum der obersten Höhenstufen.

Das für die vorliegenden Untersuchungen ausgewählte Untersuchungsgebiet weist einige zusätzliche Besonderheiten hinsichtlich seiner tektonischen Situation, seiner Topographie sowie seiner Lage im klimatischen Einflussbereich des ostasiatischen Monsuns, tropischer Wirbelstürme und Taifune auf, die es von gut erforschten Hochgebirgsregionen wie z.B. den Alpen oder dem Himalaja unterscheiden.

Die Insel Taiwan stellt einen hochdynamischen Landschaftsraum dar, der raschen geomorphologischen Veränderungen unterworfen ist. Eine Schlüsselrolle spielt dabei die zentrale Gebirgskette, welche, von NNE nach SSW streichend, nahezu die Hälfte der Fläche der Insel einnimmt. Taiwan hat eine Gesamtfläche von ca. 36.000 km<sup>2</sup>, was in etwa der Fläche Baden-Württembergs entspricht. Ein Drittel davon fallen auf Gebirgsbereiche oberhalb 1.000 m; der

höchste Gipfel, der Yushan, hat eine Höhe von 3.952 m. Aus dieser orographischen Situation ergeben sich hohe Reliefenergien, die gravitativen Massentransport fördern.

Aufgrund seiner Lage an der Grenze der eurasischen und der philippinischen Platte, die eine unterschiedliche Polarität aufweisen, ist Taiwan einem hohen Maß an Seismizität sowie aktiven Faltungs- und Stauchungsvorgängen unterworfen. In den Jahren 1991-2003 gab es in Taiwan durchschnittlich rund 1.000 wahrnehmbare Erdbeben pro Jahr (Statistical Yearbook of Taiwan 2004). Das stärkste Erdbeben in den letzten 100 Jahren, das Chi Chi-Erdbeben, hatte 1999 eine Magnitude von 7,3 auf der Richter Skala. In Folge des Erdbebens wurden mehr als 20.000 Bergstürze und Erdrutsche ausgelöst (Dadson et al. 2004). Die zentrale Gebirgskette setzt sich zu einem Großteil aus metamorphen Schiefen und Sandsteinen zusammen, die von zahlreichen Verwerfungen und Störungen durchzogen und damit äußerst erosionsanfällig sind.

Zu den endogenen Gegebenheiten kommt ein Niederschlagsregime, das Regenfälle mit großer Intensität und hohe jährliche Niederschlagssummen hervorbringt. Taiwan liegt im Einflussbereich des ostasiatischen Monsuns. Zudem ziehen durchschnittlich 3-4 Taifune pro Jahr über die Insel hinweg (Taiwan Yearbook 2004, Wu und Kuo 1999). Die mittleren Jahresniederschlagssummen variieren in Abhängigkeit von der Lokalität zwischen 1.200 bis zu 8.000 mm pro Jahr. Ein einzelner Taifun kann Niederschlagsintensitäten von über 1.000 mm in 24 Stunden mit sich bringen.

Die hohe Reliefenergie in Verbindung mit erosionsanfälligen Gesteinen und hohen Niederschlagsraten hat zur Folge, dass Gesamtabfluss und Sedimentfracht der Flüsse Taiwans zu den höchsten der Welt gehören. Die (linearen) fluvialen Erosionsraten werden mit bis zu 60 mm pro Jahr (Dadson et al. 2003) angegeben.

Obwohl der überwiegende Teil der Siedlungen und Städte Taiwans in den Küstenbereichen lokalisiert ist, spielt die Gebirgsregion eine wichtige Rolle in der Versorgung der Einwohner. Taiwan bezieht einen Großteil seines Trinkwassers aus 57 Stauseen (Taiwan Yearbook 2005). Wichtige Verbindungsstraßen führen durch die zentrale Gebirgskette und auch die landwirtschaftliche Nutzung ist bis in die mittleren Höhenbereiche ausgeweitet (z.B. Obst-, Reis- und Teeanbau).

Aus der großen Vulnerabilität hat sich in den letzten Jahren ein Interesse an Transportprozessen und Massenbilanzen von Sedimenten abgeleitet. Die Untersuchungen beschränken sich bislang auf die unteren und mittleren Flussläufe (z.B. Dadson et al. 2003, 2004, Fuller et al. 2003, Hartshorn et al. 2002, Hovius et al. 2000, Lin et al. 2006, Schaller et al. 2005). Überregionale fluviale Erosionsraten sowie deren zeitliche Variabilität werden in allen bekannten Untersuchungen aus lokalen Eintiefungsraten oder der Sedimentfracht der Flüsse im Mündungsbereich abgeleitet.

Die vorliegende Arbeit soll einen Beitrag zur Landschaftsanalyse speziell der obersten Höhenstufen leisten. Dabei liegt der Schwerpunkt auf der qualitativen Analyse geomorphologischer Formen und ihrer Hinweise auf das Prozessgefüge. Die konkreten Fragen lauten im einzelnen:

- Hat die rückschreitende Erosion bereits die höchsten Gipfellagen erreicht, d.h. gibt es eine terrestrische Obergrenze dominierender fluvialer Formung?
- Aus welchen Höhenlagen stammt das Material, das an den Flussmündungen zu extremen Sedimentfrachten führt?
- Gibt es möglicherweise Zwischenspeicher, die eine Relativierung der in den untersten Höhenstufen ermittelten Erosionsraten erforderlich machen?
- Ist eine periglaziale Höhenstufe ausgebildet, welche die Produktion von Lockersedimenten aufgrund von Frostverwitterung begünstigt?
- Wie sind die rezenten (boden-)klimatischen Bedingungen in den obersten Höhenstufen?

Der zweite Untersuchungskomplex betrifft die paläoklimatische Entwicklung Taiwans im Holozän. Für die Rekonstruktion des Paläoklimas im monsunal geprägten ostasiatischen Raum liegt Taiwan in einer Schlüsselposition. Die Insel liegt am Schnittpunkt zweier wichtiger klimatischer Achsen in dieser Region. Einer ozeanisch-kontinentalen Achse mit den Paläoklimaproxies aus marinen Sedimenten des Westpazifik (Sauerstoffisotopenstadien) und aus den Löß-, See- und glazialen Sedimenten des asiatischen Festlandes sowie einer meridionalen, küstenparallelen Achse zwischen dem pleistozänen Vergletscherungsgebiet Malaysias (Kinabulo), das rezent keine periglaziale Höhenstufe aufweist, und den japanischen Alpen, die, ebenfalls im Pleistozän vergletschert, heute eisfrei sind und eine periglaziale Höhenstufe ausweisen. Das Interesse an der paläoklimatischen Entwicklung Taiwans hat in den letzten Jahrzehnten stark zugenommen (Wei 2002). Untersuchungen zu holozänen Klimaschwankungen im Hochgebirge Taiwans wurden bislang jedoch nicht vorgenommen. Somit fehlen auch Erfahrungen im Bereich der Datierung holozäner Landformen in den obersten Höhenstufen. Ein weiteres Ziel dieser Arbeit ist es daher, einen Beitrag zum Verständnis der holozänen Klimaschwankungen in Taiwan zu leisten und dabei die Anwendbarkeit zweier unterschiedlicher Datierungsmethoden in diesem Gebiet zu untersuchen. Die Fragen lauten im einzelnen:

- Gibt es in den obersten Höhenstufen des Hochgebirges reliktsche Landformen, die Rückschlüsse auf holozäne Klimaschwankungen zulassen?
- Falls ja, ermöglichen Datierungen mittels Optisch Stimulierter Lumineszenz (OSL) und/oder die Dendrochronologie eine zeitliche Einordnung dieser Landformen?

Für die Bearbeitung der o.g. Fragen wurden zwei Untersuchungsgebiete ausgewählt, die im Norden (Nanhuta Shan, 3.742 m) und im Süden der Central Mountain Range (Yushan, 3.952 m) gelegen sind. Hinweise auf die bodenklimatischen Verhältnisse sollen Daten einer meteorologischen Messstation im Nanhuta Shan in 3.560 m Höhe geben, die im Rahmen der Geländeuntersuchungen für die vorliegende Arbeit aufgestellt wurde, da Bodentemperaturdaten im Hochgebirge von Taiwan bis dato nicht vorlagen.

## 1.2 Stand der Forschung

Ein internationales Forschungsinteresse an der Insel Taiwan mit geographischer Perspektive, speziell auch von deutscher Seite, lässt sich bis in das 19. Jahrhundert zurückverfolgen (s. z.B. bibliographische Sammlung von Fix 2005). Der Großteil der Publikationen hat einen inhaltlichen Schwerpunkt auf anthropologischen und ethnographischen Fragestellungen und einen überwiegend deskriptiven Charakter (z.B. Swinhoe 1858-1859, W. F. v. Richthofen 1901). Nur wenige beschäftigen sich mit den Gebirgsgebieten. Hervorzuheben sind die Arbeiten von F. F. v. Richthofen 1860, Honda 1897 und Stöpel 1898, welche sich ersten physisch-geographischen und geologischen Fragestellungen und Analysen widmen. Honda und Stöpel, die beide für sich die Erstbesteigung des Yushan (damals Niitakayama) beanspruchen, beschreiben die geologischen und vegetationsgeographischen Verhältnisse östlich des Yushan.

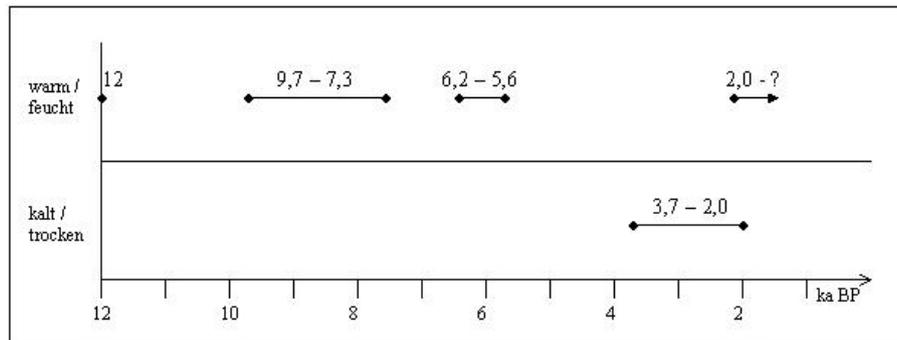
Quartärmorphologische Untersuchungen im Hochgebirge von Taiwan setzten erst zu Beginn des 20. Jahrhunderts ein. Kano (1932), Tanaka (1934), Tanaka und Kano (1934) und Panzer (1934) beschreiben glaziale Landformen aus dem Nanhuta Shan und dem Yushan. Ein Extrakt aus den Befunden der Geländearbeiten von Panzer 1933 am Yushan wurde von Rolshoven (1993) publiziert. Panzer weist mehrfach auf die starke rezente Erosion in den Tälern rund um den Yushan Hauptgipfel hin. Die nächsten bekannten Arbeiten stammen aus dem Jahr 2000. Böse (2000) inventarisiert glaziale Landformen in drei Hochgebirgsmassiven auf der Grundlage von Luftbildern und topographischen Karten. Yang (2000) ermittelt Indikatoren für eine Vergletscherung des Hsueh Shan. Er gibt zwei Vereisungsstadien an, für die er die jeweilige Schneegrenzabsenkung errechnet. Aus demselben Gebiet beschreiben Cui et al. (2000 und 2002) Kare, glaziale Kritzungen und Moränen. Sie sind die ersten, die, auf der Grundlage von Thermolumineszenz (TL)-Datierungen, eine zeitliche Einordnung einzelner Vereisungsphasen vornehmen. Weitergehende Arbeiten mit detaillierten geomorphologischen Kartierungen und OSL-Datierungen verschiedener Moränen, die eine genauere zeitliche Einordnung und eine Berechnung pleistozäner Schneegrenzabsenkungen ermöglichen, folgen (Hebenstreit und Böse 2003, Hebenstreit 2006, Hebenstreit et al. 2006, Ono et al. 2005).

Geomorphologische Untersuchungen zu holozänen bzw. rezenten Prozessen wurden bislang nur in den mittleren und unteren Gebirgsbereichen durchgeführt. Dabei liegt der Schwerpunkt deutlich auf Massenbewegungen (z.B. Lin, C.-W. et al. 2004, Lin, J.-C. et al. 2006, Chen und Petley 2005), dem Einfluss starkregeninduzierter Hochwasser (z.B. Lin und Jeng 2000), der Ermittlung von Erosionsraten (z.B. Hovius et al. 2000, Fuller et al. 2003, Chen et al. 2004, Dadson et al. 2003, 2004) sowie der Ermittlung von Massenbilanzen, welche in jüngerer Zeit kontrovers diskutiert wurden (z.B. Böse 2005, 2006, Hilley und Strecker 2004, Suppe 1981, Willet und Brandon 2002; s. Kap. 7.1).

Holozäne Klimaschwankungen in Taiwan wurden bislang anhand palynologischer Daten aus Seesedimenten (Liew und Huang 1994, Liew et al. 1995, Liew und Tseng 1999, Kuo und Liew 2000, Liew und Hsieh 2000, Liew et al. 2006), planktischer Foraminiferen und Mollusken in marinen Sedimenten (Chen und Liu 1996, Li et al. 1997, Chen und Huang 1998), chemischer Analysen von Seesedimenten (Yeh et al. 1995, Lou und Chen 1997) und Baumringanalysen (Tsou und Liu 1996) untersucht. Für das späte Holozän kommen statistische Untersuchungen auf der Grundlage meteorologischer Messwerte hinzu (Chen et al. 1999, Hsu und Chen 2002). Einen Überblick über Publikationen aus den Jahren 1990-2000 gibt Wei (2002). Die Ergebnisse der o.g. Studien sind in Tab. 1 zusammengefasst. Einen Überblick über die holozänen Kalt- und Warmphasen gibt Abb. 1.

Zeit	Klimatische Veränderung	Quelle
1786 AD	Mai-Juli-Temperatur 1,2°C wärmer als die Referenztemperatur der Jahre 1721-1992	Tsou & Liu 1996
1826 AD	JMT 1,4 °C unterhalb der Referenztemperatur der Jahre 1721-1992	Tsou & Liu 1996
1897-1997 AD	Temperaturzunahme um 1,14°C und regelmäßige Schwankungen, die mit ENSO korrelieren	Chen et al. 1999, Hsu & Chen 2002
1840 AD	Mai-Juli-Temperatur 1,2°C wärmer als die Referenztemperatur der Jahre 1721-1992	Tsou & Liu 1996
vor 1850 AD	Amplitude des 10-jährigen gleitenden Mittelwerts ist größer als nach 1850 AD	Tsou & Liu 1996
0,8 ka	Intervall mit erhöhten Niederschlägen im Holozän	Liew & Tseng 1999
2,0 - 1,5 ka	Meeresspiegel war an den Penghu Inseln 130-150 cm höher als heute	Chen & Liu 1996
2,4 - 1,5 ka	Intervall mit erhöhten Niederschlägen im Holozän	Liew & Tseng 1999
ca. 2 ka und jünger	relativ höhere Niederschläge als zuvor	Liew et al. 1995
ab ca. 2 ka	1-2°C wärmer als kalt-trockenes Intervall zuvor	Liew & Hsieh 2000
2,5 - 1,5 ka	feuchtes Intervall mit großer Anzahl Farnen	Liew & Tseng 1999
3,7 - 2,0 ka	kalt-trockenes Intervall	Liew & Hsieh 2000
3.730 - 2.030 BP	kälter als die Zeit davor	Liew & Huang 1994
4 - 2 ka	Holozänes Minimum der planktischen Foraminiferen <i>Pulleniatina obliquiloculata</i> im Okinawa-Becken als Indikator für niedrigere Wintertemperaturen	Li et al. 1997
4700 years ago	höchster holozäner Meeresspiegelstand an den Penghu Inseln: 2,4 m über dem heutigen	Chen und Liu 1996
6,2 - 5,6 ka	feuchtes Intervall mit großer Anzahl Farnen	Liew & Tseng 1999
6,2 ka	feuchtes Intervall mit großer Anzahl Farnen im Taipei-Becken	Liew & Tseng 1999
7 - 6 ka	Holozänes Maximum der planktischen Foraminiferen <i>Pulleniatina obliquiloculata</i> im Okinawa-Becken als Indikator für höhere Wintertemperaturen	Li et al. 1997
7,3 ka	feuchtes Intervall mit großer Anzahl Farnen im Taipei-Becken	Liew & Tseng 1999
7,9 ka	feuchtes Intervall mit großer Anzahl Farnen im Taipei-Becken	Liew & Tseng 1999
9,6 - 9,0 ka	feuchtes Intervall mit großer Anzahl Farnen im Taipei-Becken	Liew & Tseng 1999
9,7 - 7,3 ka	feuchtes Intervall mit großer Anzahl Farnen	Liew & Tseng 1999
11,5 - 9,6 ka	abrunder Anstieg planktischer Foraminiferen ( <i>Pulleniatina obliquiloculata</i> ) im Okinawa-Becken als Indikator für höhere Wintertemperaturen	Li et al. 1997

**Tab. 1** Klimatische Entwicklung während des Holozäns in Taiwan. Die Altersangaben sind den Publikationen entnommen. Angaben zu den verwendeten Kalibrierungskurven wurden nicht gemacht



**Abb. 1** Kalt- und Warmphasen während des Holozäns in Taiwan. Datenquellen: Liew und Huang 1994, Liew et al. 1995, Liew und Tseng 1999, Liew und Hsieh 2000