

|  |           |
|--|-----------|
| Inhaltsverzeichnis .....   | I         |
| Abbildungsverzeichnis.....   | V         |
| Tabellenverzeichnis .....  | VII       |
| Kartenverzeichnis .....  | IX        |
| <b>ZUSAMMENFASSUNG.....</b>  | <b>XI</b> |
| <b>0 EINLEITUNG .....</b>  | <b>1</b>  |
| <b>1 PROBLEMSTELLUNG.....</b>  | <b>2</b>  |
| 1.1 Einführung in das Untersuchungsgebiet und seine aktuelle Problematik .....   | 2         |
| 1.2 Bisherige Arbeiten .....   | 5         |
| 1.3 Methodischer Hintergrund - Definitionen .....  | 6         |
| 1.3.1 Nachhaltigkeit - Sustainability als Leitprinzip .....  | 6         |
| 1.3.2 Ressourcen-Management als institutioneller Rahmen .....  | 7         |
| 1.3.3 Environmental Impact Assessment - Adaptive Environmental Assessment and<br>Management als Verfahren und methodische Instrumente..... | 8         |
| 1.3.4 Ökologische Planung und Ökosystemforschung als inhaltliche und<br>methodische Rahmgebung .....                                       | 10        |
| 1.3.5 Fazit.....   | 11        |
| 1.4 Formulierung und Begründung des Themas - Zielsetzungen .....   | 13        |
| 1.5 Iteratives Arbeits- und Auswertungskonzept.....  | 15        |
| <b>2. THEORETISCHE GRUNDLAGEN UND METHODIK.....</b>  | <b>16</b> |
| 2.1 Landschaftsökologische Konzepte .....  | 16        |
| 2.1.1 Zum Ökosystem- und Standortbegriff, als räumlicher Bezug der Studie.....   | 16        |
| 2.1.2 Landnutzung als Schnittstelle zwischen landschaftsökologischer<br>und sozio-ökonomischer Forschung .....                             | 17        |
| 2.1.3 Hierarchischer Systemansatz .....  | 18        |
| 2.2 Das räumliche Informationssystem (Prinzip der Kleinsten Gemeinsamen Geometrie) .....   | 20        |
| 2.3 GIS-Konzepte, Datenmodelle.....  | 23        |
| 2.3.1 Projektion und kartographischer Bezug .....  | 24        |
| 2.3.2 Das Vektor-Datenmodell .....   | 26        |
| 2.3.3 Relationales Datenmodell - Attributverwaltung zur Kleinsten Gemeinsamen Geometrie.....   | 27        |
| 2.3.4 Topologisches Prinzip des TIN (Triangular Irregular Network) .....   | 29        |
| 2.4 Datenqualität und Fehlerquellen .....  | 31        |
| 2.4.1 Lagegenauigkeit und räumliche Auflösung .....  | 31        |
| 2.4.2 Logische Konsistenz.....   | 32        |
| 2.4.3 Attributive Genauigkeit.....   | 32        |
| 2.4.4 Zeitabhängigkeit und Vollständigkeit räumlicher Informationen.....   | 33        |
| 2.4.5 Fazit.....   | 34        |

|          |   |           |
|----------|---|-----------|
| 2.5      | Der räumliche Bezug der Studie.....   | 34        |
| 2.5.1    | Die regionale Untersuchungsebene.....   | 34        |
| 2.5.2    | Testgebietsebene.....   | 35        |
| <b>3</b> | <b>DAS UNTERSUCHUNGSGEBIET, DATENEbenen (LAYERS), VORANALYSE .....</b>  | <b>40</b> |
| 3.1      | Klima-Datenbasis.....   | 40        |
| 3.1.1    | Zum Klima von Laikipia East.....  | 40        |
| 3.1.1.1  | Allgemeine Übersicht.....   | 40        |
| 3.1.1.2  | Räumliche und zeitliche Variabilität der Niederschläge.....   | 41        |
| 3.1.1.3  | Temperatur und potentielle Evaporation.....   | 42        |
| 3.1.2    | Die Karte der agro-klimatischen Zonen nach BRAUN (1982).....  | 43        |
| 3.1.3    | Die Karte der Isohyeten.....  | 46        |
| 3.1.4    | Die Karte der Häufigkeit von Starkregenereignissen.....   | 50        |
| 3.1.5    | Abschließende Betrachtungen zur klimatologischen Datenbasis.....  | 53        |
| 3.2      | Geologie des Untersuchungsgebietes.....   | 54        |
| 3.2.1    | Geschichtlicher Abriss der tektonischen und vulkanischen Ereignisse.....  | 54        |
| 3.2.1.1  | Das Mozambique Orogen.....  | 54        |
| 3.2.1.2  | Tertiärer Vulkanismus und Rift-Bildung.....   | 55        |
| 3.2.2    | Digitale Datenbasis 'Lithologie Laikipia East'.....   | 56        |
| 3.2.2.1  | Erstellung der Karten- und Datenbasis.....  | 56        |
| 3.2.2.2  | Digitale lithologische Karte von Laikipia East.....   | 57        |
| 3.2.3    | Stratigraphie und Geochemismus der Lithologien.....   | 61        |
| 3.2.3.1  | Der Basement-Komplex.....   | 61        |
| 3.2.3.2  | Vulkanite.....  | 66        |
| 3.2.3.3  | Sedimentauflagen und -gesteine.....   | 72        |
| 3.2.4    | Abschließende Betrachtung zur Datenbasis der Lithologie.....  | 75        |
| 3.3      | Physiographie.....  | 76        |
| 3.3.1    | Reliefformenkomplexe und Reliefformen.....  | 76        |
| 3.3.1.1  | Rumpfflächen mit z.T. ausgeprägten Flachtälern (West-Mukogodo - nordwestlicher Teil von Laikipia East).....       | 76        |
| 3.3.1.2  | Rumpfflächen mit Inselbergen und ausgeprägten Tälern sowie Flachtälern mit Rahmenhöhen (Testgebiet Mukogodo)..... | 79        |
| 3.3.1.3  | Rumpfbergländer (Mukogodo Escarpment).....  | 84        |
| 3.3.1.4  | Schwach zertalte oder rumpfflächenartige Vulkanitdecken (Testgebiet Matanya).....                                 | 85        |
| 3.3.1.5  | Stark zertalte Vulkanitdecken in Kontakt mit vulkanischen Bergländern (Testgebiet Kalalu).....                    | 88        |
| 3.3.2    | Kompilierung der Kartenebene der Landformen in Anlehnung an das Kenyanische Konzept.....                          | 89        |
| 3.3.3    | Klassifikation Dränagenetz.....   | 95        |
| 3.3.4    | Digitales Geländemodell (Digital Terrain Model - DTM).....  | 96        |
| 3.3.4.1  | Generierung des DTM Laikipia East, 1:250.000, mit dem TIN-Ansatz.....   | 96        |
| 3.3.4.2  | Digitale Geländemodelle Testgebiete 1:50.000.....   | 98        |
| 3.3.4.3  | Ableitbare Datensätze (hier: Hangneigungsgradienten, Höhenstufen).....  | 100       |
| 3.3.5    | Abschließende Beurteilung d. physiographischen Datenbasis.....  | 109       |

|   | Seite      |
|---|------------|
| 3.4 Vegetation .....  | 110        |
| 3.4.1 Zur Vegetationsökologie von Laikipia East .....   | 110        |
| 3.4.1.1 Zum Gliederungsprinzip Biome, Ökotope, Orobiome .....   | 110        |
| 3.4.1.2 Zonale, azonale und extrazonale Vegetation - zum Begriff der relativen Standortkonstanz .....   | 111        |
| 3.4.1.3 Zum Savannenbegriff und Antagonismus Grasland-Gehölze .....   | 113        |
| 3.4.1.4 Die Rolle des Feuers und der Beweidung im Hinblick auf Vegetationsveränderungen .....   | 116        |
| 3.4.1.5 Abschließende Bemerkungen .....   | 118        |
| 3.4.2 Zur Vegetationskartierung von Laikipia East .....   | 118        |
| 3.4.2.1 Diskussion des phytognomisch-floristischen Kartieransatzes und seines methodischen Umfeldes im Untersuchungsraum .....                            | 118        |
| 3.4.2.2 Die Vegetationskarte Laikipia East M 1:250.000 .....  | 121        |
| 3.4.3.3 Teilkorrektur der Datenbasis und Aufnahmeverfahren in den Testgebieten M 1:50.000 .....   | 133        |
| 3.4.4 Abschließende Beurteilung zur Datenbasis der Vegetation .....   | 148        |
| 3.5 Landnutzung als Schnittstelle zwischen der Geo-Biosphäre und dem sozio-ökonomischen System .....  | 149        |
| 3.5.1 Bedeutung des Landnutzungsregimes für die Risiken der Bodenwasser- und Bodenverluste, im Kontext dieser Studie .....                                | 149        |
| 3.5.2 Landnutzung und Viehdichten Laikipia East .....   | 157        |
| 3.5.2.1 Charakterisierung der Landnutzungstypen und Nutzergruppen .....   | 163        |
| 3.5.3 Zusätzliche Erhebung der Überweidung in den Testgebieten als Modellvariable des aktuellen Nutzungsdrucks .....                                      | 168        |
| 3.5.4 Abschließende Beurteilung zur Datenbasis 'Land Use - Land Ownership' .....  | 175        |
| <b>4 GENERIERUNG SYNTHETISCHER BODENKARTEN MIT DEM GIS .....</b>  | <b>176</b> |
| 4.1 Prozesse der Gesteins- und Bodenverwitterung .....  | 176        |
| 4.1.1 Physikalische Gesteinsverwitterung .....  | 177        |
| 4.1.2 Chemische Verwitterung (Bodenverwitterung) .....  | 178        |
| 4.1.3 Oxidation .....   | 179        |
| 4.1.4 Bildung und Umwandlung von Tonmineralien .....  | 179        |
| 4.1.5 Tonverlagerung .....  | 181        |
| 4.1.6 Karbonatanreicherung .....  | 182        |
| 4.1.7 Bildung von Eisen und Mangankonkretionen - Lateritisierung .....  | 182        |
| 4.2 Faktoren der Bodenbildung im Untersuchungsgebiet (eine Zusammenschau der wesentlichen Einflüsse für die Ableitung der synthetischen Bodenkarte) ..... | 184        |
| 4.2.1 Klima .....   | 185        |
| 4.2.2 Lithologie .....  | 188        |
| 4.2.3 Topographie .....   | 192        |
| 4.2.4 Vegetation .....  | 196        |
| 4.2.5 Zeit .....  | 197        |
| 4.3 Konzeption der synthetischen Bodenkarte .....   | 198        |
| 4.3.1 Geostatistische Voranalyse .....  | 199        |
| 4.3.2 Rechenvorschriften - Zuordnungsmatrizen .....   | 204        |
| 4.3.2.1 Testgebiet Mukogodo .....   | 204        |
| 4.3.2.2 Testgebiet Kalalu .....   | 205        |
| 4.3.2.3 Testgebiet Matanya .....  | 207        |

|          |   |            |
|----------|---|------------|
| 4.3.2.4  | Untersuchungsgebiet Laikipia East.....  | 208        |
| 4.3.3    | Erläuterung der ausgewiesenen Bodeneinheiten.....   | 210        |
| 4.3.3.1  | Beschreibung der ausgewiesenen Bodeneinheiten.....  | 210        |
| 4.3.3.2  | Physikalische Bodeneigenschaften.....   | 218        |
| 4.4      | Resultate (inkl. Modellkritik und Verifikation).....  | 219        |
| 4.4.1    | Testgebiet Mukogodo als Beispiel für Catenen auf relativ uniformen Lithologien.....   | 219        |
| 4.4.2    | Testgebiet Kalalu als Beispiel für zusammengesetzte Catenen auf komplexen lithologischen Verhältnissen.....                           | 225        |
| 4.4.3    | Testgebiet Matanya, als Beispiel für Catenen auf vulkanischen Sedimenten.....   | 231        |
| 4.4.4    | Untersuchungsgebiet Laikipia East.....  | 235        |
| 4.5      | Abschließende Betrachtungen zum Konzept der synthetischen Bodenkarte, Diskussion der Validität, Empfehlungen.....                     | 242        |
| <b>5</b> | <b>RISIKOANALYSE DER BODENWASSER- UND BODENVERLUSTE.....</b>  | <b>245</b> |
| 5.1      | Zur Methodik des Risikobewertungsmodells Laikipia East.....   | 246        |
| 5.1.1    | Aufbau der Modellverknüpfungsstrukturen, nach Ökosystem-Bilanzmodellen und empirischen Modellen zur Abschätzung des Bodenabtrags..... | 246        |
| 5.1.2    | Ökologische Risikoanalyse und Einsatz von Bewertungsmatrizes als Mittel zur Lösung der Teilschritte.....                              | 250        |
| 5.1.2.1  | Indikatoren und relative Eichung des Modells.....   | 252        |
| 5.1.2.2  | Aggregationsverfahren.....  | 254        |
| 5.1.2.3  | Zur Problematik semi-quantitativer Matrix-Modelle.....  | 255        |
| 5.2      | Das räumliche Bewertungsmodell zur Beurteilung der Risiken von Bodenwasser- und Bodenverlusten in Laikipia East.....                  | 256        |
| 5.3      | Resultate und Diskussionen.....   | 280        |
| 5.3.1    | Testgebiet Mukogodo.....  | 280        |
| 5.3.1.1  | Risiken der Bodenverluste.....  | 280        |
| 5.3.1.2  | Risiken der Bodenwasserverluste.....  | 283        |
| 5.3.2    | Testgebiet Kalalu.....  | 286        |
| 5.3.2.1  | Risiken der Bodenverluste.....  | 286        |
| 5.3.2.2  | Risiken der Bodenwasserverluste.....  | 289        |
| 5.3.3    | Testgebiet Matanya.....   | 292        |
| 5.3.3.1  | Risiken der Bodenverluste.....  | 292        |
| 5.3.3.2  | Risiken der Bodenwasserverluste.....  | 295        |
| 5.3.4    | Untersuchungsgebiet Laikipia East.....  | 298        |
| 5.3.4.1  | Risiken der Bodenverluste.....  | 298        |
| 5.3.4.2  | Risiken der Bodenwasserverluste.....  | 304        |
| 5.4      | Abschließende Beurteilung des Modellansatzes.....   | 309        |
| 5.4.1    | Aussagefähigkeit und Gültigkeitsbereich der Resultate.....  | 309        |
| 5.4.2    | Bemerkungen zur (Teil-) Dynamisierbarkeit der Modellaussagen.....   | 310        |
| 5.4.3    | Erforderliche Überprüfung der Modellsensivität.....   | 310        |

|          |   |            |
|----------|---|------------|
| <b>6</b> | <b>SCHLUSSFOLGERUNGEN UND EMPFEHLUNGEN</b> .....  | <b>311</b> |
| 6.1      | Methodenspezifische Möglichkeiten der Weiterentwicklung GIS-basierter räumlicher Analysen ..... | 311        |
| 6.2      | GIS als Management-Grundlage in Dritt-Welt Projekten .....                                      | 312        |
| 6.2.1    | Möglichkeiten des Methodik-Transfers unter Einbezug von Partnerorganisationen.....              | 312        |
| 6.2.2    | Konsequenzen für die projektinterne GIS-Ausbildung .....  | 312        |
| 6.3      | GIS als Mittel der Entscheidungshilfe für die lokale Administration und Planung .....           | 313        |
| <b>7</b> | <b>SCHLUSSWORT</b> .....  | <b>314</b> |
|          | <b>LITERATURVERZEICHNIS</b> .....   | <b>315</b> |

#### **ABBILDUNGSVERZEICHNIS:**

|          |   |     |
|----------|---|-----|
| Abb. 1:  | Leitbild, methodische und institutionelle Rahmgebung der Arbeit .....           | 12  |
| Abb. 2:  | Zielsetzungen der aktuellen Studie .....  | 14  |
| Abb. 3:  | Iterative Vorgehensweise bei der aktuellen Studie .....                         | 15  |
| Abb. 4:  | Schematische Darstellung eines regionalen Mensch-Umwelt-Systems .....           | 18  |
| Abb. 5:  | Darstellung des hierarchischen Systemansatzes.....                              | 20  |
| Abb. 6:  | Aufbau des flächenbezogenen Informationssystems SCG - KGG .....                 | 22  |
| Abb. 7:  | Topologisches Datenmodell .....   | 27  |
| Abb. 8:  | Zusammenhang zwischen Geometrie und Verknüpfung der Merkmalsebenen der KGG..... | 28  |
| Abb. 9:  | Topologische Struktur des TIN-Datenmodells.....                                 | 30  |
| Abb. 10: | Repräsentatives Klimadiagramm für das Laikipia Plateau .....                    | 43  |
| Abb. 11: | Histogramm der Flächenstatistik, Lithologie Laikipia East .....                 | 61  |
| Abb. 12: | Idealisierte Darstellung der 'Superficial Deposits' .....                       | 73  |
| Abb. 13: | Inselbergtypen .....  | 80  |
| Abb. 14: | Landformen- und Hangmodell in neun Einheiten .....                              | 89  |
| Abb. 15: | Histogramm der Flächenstatistik, Landformen Laikipia East .....                 | 92  |
| Abb. 16: | Flußdiagramm der iterativen Vorgehensweise bei Erstellung der DTMs.....         | 99  |
| Abb. 17: | Histogramm des Hangneigungsspektrums Laikipia East .....                        | 103 |
| Abb. 18: | Histogramm der Hangneigungsspektren Testgebiet Mukogodo.....                    | 104 |
| Abb. 19: | Histogramm der Hangneigungsspektren, Testgebiet Kalalu .....                    | 104 |
| Abb. 20: | Histogramm der Hangneigungsspektren, Testgebiet Matanya.....                    | 106 |
| Abb. 21: | Histogramm der Höhenverteilung Laikipia East .....                              | 106 |
| Abb. 22: | Blick auf einen degradierten Ausläufer des Mukogodo Forests.....                | 117 |
| Abb. 23: | Blick auf die Il Polei - Inselberggruppe.....                                   | 128 |