

12 Zusammenfassung

Thema dieser Dissertation ist die Erfassung und Modellierung von Erosions- und Bodenerosionsrisiken in einem Flusseinzugsgebiet in Äthiopien. Ziel ist die Entwicklung eines einfach zu handhabenden Modells, welches mit wenigen aussagekräftigen Eingabeparametern in Entwicklungsländern eingesetzt werden kann. Das Einzugsgebiet des Flusses Bilate liegt im südlichen äthiopischen Rift Valley, zum Teil auf der westlichen Grabenflanke und dem äthiopischen Hochland. Es hat eine Ausdehnung von ca. 5500 km², innerhalb dessen ein große Anzahl unterschiedlicher Landschaftscharakteristiken auftreten. Die Entstehung dieser unterschiedlichen Landschaften hängt stark mit der Entstehung des äthiopischen Hochlandes und der Riftbildung im Quartär zusammen. Der geologische Untergrund besteht hauptsächlich aus basaltischen und intermediären Gesteinen und nur in der Nähe zum See Abaya stehen junge tertiäre Sedimente an. Im äthiopischen Hochland haben sich in der Regel Nitisole und Luvisole gebildet, während im Rift Valley Vertisole und Cambisole die vorherrschenden Bodentypen sind (FAO, 1998). Wie die Böden, so variiert auch das Klima im Einzugsgebiet deutlich: Nach KÖPPEN (1931) herrscht im Hochland ein Cwb Klima, während das Rift Valley von Aw beziehungsweise Bsh Klimaten geprägt ist. Auch die Landnutzung ist zweigeteilt: Im Hochland und an der Grabenschulter sind intensiver Anbau von Bohnenfrüchten, Encete (falsche Banane), Teff und Hirse die hauptsächlich Landnutzung. Dagegen wird im Rift Valley extensive Weidewirtschaft betrieben. Vereinzelt angesiedelte staatliche landwirtschaftliche Betriebe werden häufig bewässert. Zudem findet man in Rift Valley in einzelnen Regionen privaten Ackerbau. Gerade das äthiopische Hochland, hier vor allem die Gurage Berge und die Grabenschulter, weisen eine sehr hohe Bevölkerungsdichte auf, die deutlich über dem Durchschnitt von Äthiopien liegt. Demgegenüber ist das Rift Valley relativ dünn besiedelt. Durch die extrem hohe Bevölkerungsdichte im äthiopischen Hochland ist der Druck auf die natürlichen Ressourcen insgesamt sehr groß, insbesondere im Hinblick auf die Erschließung landwirtschaftlicher Nutzflächen.

Die Entwicklung des methodisch konzeptuellen Modells DESER (**D**etermination of **E**rosion and **S**oil **E**rosion **R**isk) erfolgte in zwei wesentlichen Schritten: Zum einen wurden Eingabedaten (wie z. B. Landnutzung sowie Erosions- und Bodenerosionschäden) während mehrerer Feldaufenthalte erhoben, zum anderen wurden sekundäre Informationen, wie zum Beispiel Niederschlagsdaten, bei Institutionen und Ministerien eingeholt. In einem weiteren Schritt wurden alle Daten auf die Fläche interpoliert oder an vorhandene Daten angepasst und

anschließend für die Modellierung in ein sich überlagerndes Rasterdatenset umgewandelt. Die Modellierung selbst erfolgte semiquantitativ und auf Basis empirischer Erfahrungen. Zur Kalibrierung des Modells wurden sowohl Schadenskarten als auch Satellitenbildinterpretationen und Luftbilder verwendet.

Da das Einzugsgebiet mehrere sich stark voneinander unterscheidende Landschaftscharakteristiken aufweist, wurde es in drei Landschaftseinheiten unterteilt. Die Charakterisierung der Landschaftseinheiten erfolgte auf Basis der Geofaktoren Höhe über NN, Hangneigung, Hanglängen und Reliefkrümmung. Daraus ergaben sich drei geomorphologische Einheiten: das (1) ‚äthiopische Hochland‘, das (2) ‚Rift Valley‘ und eine Einheit (3) ‚Täler und Becken‘. Im Einzugsgebiet wurden acht Untersuchungsräume ausgewählt, die zum Teil kleine Einzugsgebiete sind oder aber Räume mit regionaltypischen Landschaftseigenschaften. In den Untersuchungsräumen wurden Erosions- und Bodenerosionsschäden sowie Akkumulationsräume kartiert. Des Weiteren wurden Landnutzung, Bodenerhaltungsmaßnahmen und andere menschliche Aktivitäten aufgenommen. Die Untersuchungsgebiete *Ana*, *Doyancho*, *Hage* und *Ofi* liegen im äthiopischen Hochland, *Bedesa* und *Dimtu* im ‚Rift Valley‘, während *Sedebo* und *Agega* im Übergang von Hochland bzw. Grabenschulter zum ‚Rift Valley‘ liegen. In der geomorphologischen Einheit (3) ‚Täler und Becken‘ wurden keine Untersuchungsgebiete ausgewählt, da der Zugang nur unter enormem zeitlichen und logistischen Aufwand möglich war.

Die Einheit (2) ‚Rift Valley‘ ist geprägt durch ein schwach hügeliges und zum Teil flaches Relief. Die landwirtschaftlichen Nutzflächen sind hier größer als im Hochland. Neben großflächigen staatlichen Landnutzungsbetrieben wurde hier auch eine Militärbasis aufgebaut.

Der limitierende Faktor für die Landwirtschaft in der geomorphologischen Einheit (2) ‚Rift Valley‘ ist die Ressource Wasser: Hohe Niederschlagsvariabilität aber auch hohe Niederschlagssummen stehen einer hohen Evapotranspiration gegenüber. Entsprechend gering ist die Bevölkerungsdichte und extensive Weidewirtschaft ist die vorherrschende Landnutzung. Erosions- und Bodenerosionsschäden sind in großen Bereichen des (2) ‚Rift Valley‘ von untergeordneter Bedeutung. Erosionsschäden durch Winderosion wurden nicht berücksichtigt. Ein große Ausnahme stellen die Bereiche parallel der Flüsse dar. Hier wurden ausgedehnte degradierte Flächen ausgebildet die auf bis zu fünf Meter unterhalb der ursprünglichen Geländeoberfläche erodiert sind.

Die geomorphologische Einheit (3) ‚Täler und Becken‘ weist ein hügeliges bis stark hügeliges Relief auf, das jedoch in sich sehr homogen ist. Hier werden Höhen bis zu 3.300 Meter über NN gemessen, die direkt einhergehen mit höheren Niederschlägen und kälteren Temperaturen als im restlichen Einzugsgebiet. Es überwiegt ganzjährig grüne Vegetation. Die hohe Vegetationsbedeckung führt zu deutlich geringeren Erosions- und Bodenerosionsschäden. Nur im südlichen Bereich dieser geomorphologischen Einheit sind starke Erosions- und Bodenerosionsschäden zu verzeichnen, die in der Regel immer in Verbindung mit Eukalyptusanpflanzungen auftreten. Im südlichen Zentrum liegt ein intramontanes Becken, welches als großer Akkumulationsraum angesehen wird. Nur am Rand dieses Beckens treten Erosionsformen auf.

Für das Einzugsgebiet wurde eine Analyse der Niederschlags-Abflussdynamik durchgeführt. Verfügbare Niederschlagsdaten erlauben eine Abschätzung der durchschnittlichen monatlichen und jährlichen Niederschlagsmengen. Die Niederschlagsintensitäten konnten jedoch aufgrund der eingeschränkten zeitlichen wie auch räumlichen Datenverfügbarkeit nicht analysiert werden. Aus diesem Grund wurde ein Niederschlagsintensitätsindex auf der Basis von Tages- und Monatsdaten erstellt. Es existieren nur wenige Pegeldaten im Einzugsgebiet, die zudem große Datenlücken und nur wenige sich überlappende Zeitfenster enthalten. So war eine aussagekräftige Analyse der Niederschlags-Abflussdynamik nicht möglich. Jährliche und monatliche Abflussdaten variieren entsprechend den Niederschlagssummen, jedoch ist ein direkter Vergleich der Niederschlagsvolumina mit Abflussvolumina aufgrund der stark zergliederten Zeitreihen nicht möglich.

Die Analysen der physikalischen und chemischen Parameter der Proben von Böden und Bodensedimenten ergaben keine signifikante Übereinstimmung zu Werten der FAO Bodenklassifizierung. Die Ergebnisse zeigen jedoch die hohe Anzahl an verschiedenen Böden und Varianten aus Boden und Bodensedimenten. Zudem wird deutlich der Einfluss der Reliefpositionen aufgezeigt. Eindeutig im Gelände beobachtete Eigenschaften bestimmter Bodenprofile konnten durch die Laboranalysen nicht nachgewiesen werden, jedoch wurde anhand einiger Laboranalysen die Erodibilität der Böden bestimmt.

Die Erfassung von Erosion und Bodenerosion zeigt einerseits die hohe räumliche Variabilität von Landnutzung, Klima und Bodenparameter, andererseits wird die Gleichförmigkeit innerhalb der geomorphologischen Einheiten deutlich. Innerhalb der Einheiten sind die Niederschläge, der Oberflächenabfluss und die Bodentypen relativ

gleichförmig und bedingen typische Erosions- und Bodenerosionsformen: Hohe Jahresniederschläge und starke Niederschlagsintensitäten führen auf Böden mit ähnlichen Bodenparametern wie die der Nitisole, Luvisole und Leptosole häufig zu Rillen- und Rinnenerosion sowie zu Gullybildung, vor allem auf ackerbaulichen Nutzflächen im äthiopischen Hochland. Geringere Jahresniederschläge und höhere Niederschlagsintensitäten führen in der geomorphologischen Einheit (2) ‚Rift Valley‘ überall dort zur Ausbildung weitläufiger Degradationsflächen, wo die die subrezentten Böden überlagernde pyroklastische Lage durch menschliche Einflüsse aufgebrochen wurde. Auf dieser pyroklastischen Lage ist ihrerseits rezente Bodenbildung zu beobachten, so dass sie nur an Anschnitten ausstreicht.

Hohe Jahresniederschläge und geringere Intensitäten führen in der geomorphologischen Einheit (3) ‚Täler und Becken‘ auf Phaeosem zu mäßigen Erosions- und Bodenerosionsschäden. Auf Luvisolen dagegen sind die Schäden ausgeprägter und auf land- und forstwirtschaftlichen Nutzflächen entstehen hier Gullies und Badlands.

Vorkommen und Art der auftretenden Erosionsformen spiegeln das Erosions- und Bodenerosionsrisiko wieder. Um dieses Erosions- und Bodenerosionsrisiko zu simulieren, wurde ein konzeptionelles Modell entwickelt. Hierzu wurde ein klassifizierter Landbedeckungsindex (LCCI = Land Cover Class Index) entwickelt, der auf der Satellitenbildinterpretation der Bänder 1-3 von Landsat TM basiert. Dieser LCCI kann auch aus Geländekartierungen abgeleitet werden. Der lediglich aus Satellitenbildern rechnerisch ermittelbare Vegetationsindex NDVI wurde demzufolge nicht genutzt. Die höchste LCCI Klasse konnte für das ‚äthiopische Hochland‘ und für die ‚Täler und Becken‘ abgeleitet werden, während diese Klasse im ‚Rift Valley‘ fast vollständig fehlt. Das häufige Auftreten der LCCI-Klasse ‚blanker Boden‘ im äthiopischen Hochland spiegelt das Aufnahmedatum der Satellitenbilder wieder. Im November/Dezember liegen alle ackerbaulichen Nutzflächen brach. Satellitenbilder aus der Regenzeit können jedoch aufgrund der hohen Wolkenbedeckung nicht genutzt werden.

Zur Modellbildung wurden ein digitales Geländemodell sowie hiervon die ersten und zweiten Ableitungen (Hangneigung, Hanglänge und Reliefkrümmung) in einem GIS (ArcInfo, ArcView) errechnet. Zudem wurden flächendeckende, kontinuierliche Datensätze erstellt, die neben den FAO Daten wie Bodentypen, Korngrößen und Steinbedeckung auch interpolierte Punktdaten aus Laboranalysen und von Klimastationen enthalten. Das digitale Geländemodell basiert auf Daten der ‚Shuttle Radar Topography Mission‘ (SRTM). Ein Abgleich dieser Höheninformationen mit denen aus topographischen Karten (1:50.000 und

1:250.000) ermöglichte die Nivellierung von Seenflächen. Flussverläufe wurden in das Geländemodell implementiert mit dem Ziel, für die Modellierung kontinuierliche Abflusslinien zu erhalten. Alle Daten wurden in Gridformat mit Zellgrößen von 100 x 100 Metern transformiert und im UTM Koordinatensystem, Zone 37 N, Kartendatum Adindan (Äthiopien) gespeichert.

Das entwickelte Modell zur Abschätzung des Erosions- und Bodenerosionsrisikos enthält folgende Datensätze:

1. Das digitale Geländemodell zur Wiedergabe der Höhe, der potentiellen Energie und der Vegetationszonen nach HURNI (1982).
2. Die Hangneigung als Einflussgröße der Erosivität von Oberflächenabfluss.
3. Die Reliefkrümmungen führten zu konvergierenden oder divergierenden Oberflächenabflüssen und verstärken oder vermindern somit die Erosivität
4. Die Hanglängen als Einflussgröße der Erosivität von Oberflächenabfluss.
5. Bodentypen zeigen entsprechend ihrer chemischen und physikalischen Eigenschaften unterschiedliche Erosionsanfälligkeit auf.
6. Die Korngrößenverteilung der Sandfraktion beeinflusst die Erodibilität der Böden.
7. Der Gehalt an organischem Kohlenstoff beeinflusst die Aggregatsstabilität und damit die Erosionsanfälligkeit der Böden.
8. Die Landbedeckung (LCCI) beeinträchtigt sowohl die erosiven Kräfte durch Regentropfen, gibt aber auch Hinweis auf die Bodenstabilität entsprechend des Pflanzenbewuchses.
9. Niederschläge verstärken Erosion und Bodenerosion, gleichzeitig aber führen sie zu höherer Bodenfeuchte. Somit ist sowohl positive als auch negative Rückkopplung gegeben.
10. Anthropogener Einfluss, abgeleitet aus Signaturen von topographischen Karten wie Pfade oder Gebäude, lässt Rückschlüsse auf die Einschätzung des aktuellen Erosions- und Bodenerosionsrisikos zu.

Alle Faktoren wurden in das Model eingebracht, wobei unterschiedliche Gewichtung der einzelnen Faktoren zur Modellkalibrierung genutzt wurden. Die Kalibrierung erfolge über den Abgleich des Erosions- und Bodenerosionsrisikos mit kartierten Schäden aus den

Untersuchungsgebieten, wobei darauf hingewiesen wird, dass das modellierte Erosions- und Bodenerosionsrisiko eine qualitative Bewertung darstellt.

Die Verifikation der qualitativen Ergebnisse erfolgte über den Abgleich des Erosions- und Bodenerosionsrisikos mit Bodenabtragskarten, die nach der Universal Soil Loss Equation (USLE) berechnet worden sind. Auch Schadenskarten und Satellitenbildinterpretationen, die nicht für die Kalibrierung verwendet worden waren, wurden für die Verifikation herangezogen. Gute Übereinstimmungen der detaillierten Schadenskarten zu den modellierten Risikokarten zeigen die Güte des Modells.

Das Modell wurde entwickelt, um Erosions- und Bodenerosionsrisiken in Entwicklungsländern unter semiariden bis semihumiden Klimaten abschätzen zu können. Zudem wurde das Modell so gestaltet, dass es lokal angewendet und einfach zu handhaben ist, aber auch für unterschiedliche Bedürfnisse weiterentwickelt werden kann. Diese Intention führte dazu, dass im Gegensatz zu vielen anderen Erosions- und Bodenerosionsmodellen lediglich eine Auswahl von bekannten und physikalischen und chemischen Eingabeparametern herangezogen wurde, da die Aufnahme und Untersuchung einer Vielzahl von Parametern auch mit hohem zeitlichen und kostenintensivem Aufwand verbunden ist. Besonders diese geringe Anzahl an Eingabeparametern ist die Stärke dieses Modells, die gesteigert wird durch eine einfache Handhabung und der Verwendung von Standardsoftware und der Entscheidungsmöglichkeit über die Nutzung von Satellitenbildern oder aber der Bodenkartierung vor Ort.