

## 1 Einführung

Vor dem Hintergrund des globalen Klimawandels und einer weltweit anwachsenden Bevölkerung wird der Handlungsbedarf zur Bekämpfung der Degradation von Landschaften immer dringlicher. Als besonders sensible und verwundbare Räume gelten hinsichtlich der Bodendegradation die Trockengebiete der Erde, zu denen der Jemen – einschließlich der Insel Socotra – zählt.

Für die Erfassung der Bodenentwicklung und Bodenheterogenität in den zunehmend ariden sommertrockenen Tropen (Trockentropen) ist die Analyse und Kennzeichnung der Böden insbesondere dann von Bedeutung, wenn es sich um eine Insel mit stark eingeschränkten Bodenressourcen sowie hoher Bio- und Geodiversität handelt, deren Unterschutzstellung seit einigen Jahren angestrebt wird. Um die dafür notwendigen pedologischen Grundlagen des Bodenschutzes zu schaffen, wurden geschichtete, polygenetische und degradierte Böden in drei Gebieten Socotras analysiert, gekennzeichnet und verglichen.

Aus Gründen der systematischen Erfassung der Böden wird die vorliegende Arbeit auf verschiedenen räumlichen und inhaltlichen Ebenen angesiedelt (Abb. 8.1, A-1). Die Landschaftsgliederung berücksichtigt räumliche Zwischenebenen, um Zustand und Prozess der Bodenentwicklung geökosystemar zu erfassen und zu vergleichen. Die Kennzeichnung der Böden basiert sowohl auf feldbodenkundlichen und mikromorphologischen als auch auf weiteren Laboranalysen, welche die Grundpfeiler der Klassifikation der Böden und Ermittlung von Indikatoren der Bodenentwicklung und Bodenheterogenität darstellen.

Die Relevanz dieses Ansatzes geht über die Kennzeichnung der Böden Socotras jedoch hinaus: Die vorliegende Arbeit kann als ein Beispiel der systematischen Kennzeichnung trocken-tropischer irreversibler Bodenevolution (FRIDLAND & BUYANOWSKIY 1977) und als Ergänzung der „Böden der Welt“ (ZECH & HINTERMAIER-ERHARD 2002) betrachtet werden.

### 1.1 Das Geoökosystem „Insel“

Inseln zeigen Plattengrenzen an, repräsentieren Korallenriffe, einzelne Vulkane oder stellen Barriereinseln dar (KLUG 1973, MENARD 1987, KELLETAT 1999). Geprägt durch Neotektonik, Monsun und topographisch bedingten Wechsel terrestrischer und mariner Überprägung spielen tropische Inseln in der Erforschung des Klimawandels eine wichtige Rolle. Hohe Windgeschwindigkeiten und torrentielle Abflüsse bestimmen die Geomorphodynamik insbesondere auf monsunal beeinflussten Inseln maßgeblich.

Sie sind Refugien mit hoher Biodiversität (MEURER 1998) und weisen als marginale Räume kulturelle Besonderheiten auf. Die Bedeutung von Inseln als „Refugialräume“ mit hoher Geodiversität erschließt sich deshalb auch für die geographische Forschung, da sie abgeschlossene, überschaubare terrestrische Ökosysteme darstellen.

Aus bodenkundlicher Sicht bieten sich neotektonisch geprägte und monsunal beeinflusste Inseln entlang mittelozeanischer Rücken als Forschungsobjekte an. Gleich dem Festland hängen

dort sowohl die Substratzusammensetzung und -aufbereitung als auch die Bodenentwicklung und Bodenheterogenität von Tektonogenese und Morphogenese sowie Exposition ab. Aber im Inselüberblick werden Gesetzmäßigkeiten in der kleinräumigen Verteilung von Sedimentationsräumen ersichtlich, die im Gegensatz zu den weitgespannten Beckenverebnungen der Festlandsmasse mit relativ geringem Aufwand im Gelände überprüft werden können. Ergebnisse aus Analysen der subrezent und rezenten Entwicklung der Substrate, der Böden und der Vegetation sind aufgrund von natürlich begrenzten Flächengrößen der intramontanen Becken, Wadis und Küstenebenen von wenigen Quadratkilometern relativ gut zu generalisieren und auf umgebende Naturräume (Tab. 8.1, A-27) mit ähnlicher Ausstattung übertragbar.

Arbeiten, welche die Überlegungen zur besonderen Rolle von Inseln in der Ökosystemforschung und verwandter Gebiete angeregt haben, sind vor allem in der Vegetationsökologie und Biodiversitätsforschung angesiedelt. Aber auch Geographen, Geologen, Geomorphologen und Bodenkundler haben sich mit der Bedeutung von Inseln für die Landschaftsentwicklung – nicht nur im Kontext endemischer Erscheinungen – befasst (u. a. KLUG 1973, 1977, ARNBERGER & ARNBERGER 1988, MEURER 1998, MIETH et al. 2003).

Die Bedeutung der Biodiversität der Insel Socotra rückte vor allem in den letzten beiden Jahrzehnten zunehmend in das Forschungsinteresse (CRONK 1985, 1997, MIES 1995, 1998, 1999, 2000, 2001, MILLER et al. 1996, WRANIK 1999, 2004, MILLER & MORRIS 2004). Die Erforschung der naturräumlichen Ausstattung Socotras zeigt Befunde, welche die Insel seit der Kreidezeit als eine abgeschlossene Landmasse charakterisieren, was sich in floristischem und faunistischem Endemismus widerspiegelt. Die gemeinsame erdgeschichtliche Vergangenheit Socotras mit der Arabischen Halbinsel, Afrika und anderen Inseln wie Madagaskar wiederum ist anhand von geologischer, floristischer und faunistischer Verwandtschaft belegbar. Der Aufbau des Basements sowohl des Omans als auch Somalias (BEYDOUN 1970, SAMUEL et al. 1997, FLEITMANN et al. 2004) sowie die Stratigraphie der tertiären und quartären Sedimente der Arabischen Halbinsel (JADO & ZÖTL 1984, AS-SARURI 1996, 1999, BEYDOUN 1998) stimmen mit den entsprechenden stratigraphischen Abfolgen auf Socotra überein, ebenso die Verbreitung des Weihrauches (MIES & ZIMMER 1993) und diverser faunistischer Spezies (WRANIK 2004). Die Forschungsergebnisse, die Socotra als Refugium im herkömmlichen Sinne definieren (CRONK 1985, 1997, MIES & BEYHL 1998, MIES 2000, MILLER 1996 et al., WRANIK 1999, MILLER & MORRIS 2001), werfen Fragen zu den edaphischen Standortbedingungen der Vegetationsverbreitung sowie der Degradationsmuster auf.

Ob Socotra vor 18 ka vergletschert gewesen ist, wie es CLIMAP 1976 darstellt (in PRESS & SIEVER 2003), bleibt äußerst fraglich, aber in der Ausprägung des oberflächennahen Untergrundes zeigen sich Ähnlichkeiten mit den Gebirgen Mitteleuropas. Auch auf Socotra sind Schuttdecken weit verbreitet.

## 1.2 Bodenentwicklung in den Trockentropen

### 1.2.1 Bodenbildung und Bodendegradation in semiariden Gebieten und auf Socotra

GANSSEN stellte im Jahre 1963 Böden Südwesafrikas vor, die er klimapedologisch einteilte. Bodenbildungen der semiariden Gebiete, welche die sommertrockenen Tropen (Trockentropen) einschließen, wurden in den darauffolgenden Jahrzehnten u. a. von MEYER (1979), BÜDEL (1981), ROHDENBURG (1983), STRAUB (1986), VOGEL (1988), GRUNERT (1988), SKOWRONEK (1988), ALAILY (1993), RÖSNER (1995), KEMPF (1997), BERTRAM & BROMAN (1999) und ZECH & HINTERMAIER-ERHARD (2002) bearbeitet. Die Bedeutung der Sekundärkarbonatisierung als pedogenetischer Prozess hoben im deutschsprachigen Raum vor allem BLÜMEL (1981) und EITEL (1994) hervor. Wichtige Ergebnisse zu Paläoböden in Trockenräumen lieferten u. a. DAN (1983), BLUME (1985), SKOWRONEK (1984), BRONGER & CATT (1989), RÖSNER (1995), FELIX-HENNINGSSEN & BLEICH (1996).

In semiariden Gebieten sind im Wesentlichen die Bodengruppen der Calcisols, Gypsisols, Solonchaks, Cambisols und Luvisols verbreitet. Hinzu gesellen sich nichtzonale Böden wie Fluvisols, Regosols und Leptosols (FAO-ISRIC-ITC 2002, FAO-UNESCO 2003).

#### *Socotra – bodenrelevanter Forschungsstand*

Zur Insel Socotra sind inzwischen über 1500 Referenzen aus unterschiedlichen Fachgebieten sowie von Forschungsreisenden nachgewiesen (u. a. WRANIK 1999, MILLER 2006). Flächendeckende Angaben zu den natürlichen Rahmenbedingungen der Bodenentwicklung sind nach wie vor auf dem Stand der 1980er Jahre (Abb. 8.9, A-9), lässt man Flora und Fauna (u. a. WRANIK 1999, 2004, MIES 2001, MILLER & MORRIS 2004) sowie Geologie (vgl. Abb. 8.8, A-8, GEOLOGICAL SURVEY AND MINERAL RESOURCES BOARD 2003) unberücksichtigt. Die Vielzahl der Arbeiten zeigt insgesamt, dass seit vielen Jahrhunderten ein großes Interesse an der Erforschung des gesamten Archipels, das heißt der vier Inseln Socotra, Abd Al-Kuri, Darsah und Samha, besteht. Bis dato fehlen aber detaillierte länderkundliche Grundlagen, wie sie für das Festland vorhanden sind (KOPP 2005), obwohl Socotra zum Jemen gehört (Gouvernat Al-Mukalla). Ein guter, wenn auch kurzer physisch-geographischer Einblick (KOPP 1999) lässt die Vielfalt der Insel diesbezüglich aber bereits erahnen.

Historische Quellen belegen die Erkundung Socotras seit dem 6. Jahrhundert durch europäische Missionare und Forscher (WELLSTEDT 1835, 1840, RAVENSTEIN 1876, BALFOUR 1881, GLASER 1890, BENT 1897, 1898, FORBES 1899, WINTERNITZ 1906, KOSSMAT 1907, PELIKAN 1907, HENNIG 1948, BOTTING 1958). Reiseberichte geben Einblick in die kulturelle, wirtschaftliche und landschaftliche Situation (Tab. 8.2, A-28).

Zu geologischen, klimatisch-hydrologischen, botanischen und geoökologischen sowie ökonomischen Grundlagen der agrarischen Landnutzung können neuere Arbeiten herangezogen werden, die einige wenige Ergebnisse zu pedologischen Rahmenbedingungen der Bodennutzung liefern (BEYDOUN & BICHAN 1970, CECCOLINI 2001, CRONK 1985, BAZARA'A 1990, 1991, HADDAD 1993, NAUMKIN 1993, TOLL & MOSS 1995, AS-SARURI 1996, MC ALISTER et al.

1996, MILLER et al. 1996, MILLER & MORRIS 2001, BRUGGEMANN 1997, ALI 1998, HARIRI 1998, KOPP 1999, WRANIK 1999, MIES & ZIMMER 1993, MIES 2001, FLEITMANN et al. 2004). Sie geben Einblicke in die aktuellen naturräumlichen Landnutzungsbedingungen der Insel Socotra, wie vegetationsökologische Grundlagen (MIES 2001) oder einen Überblick zur Verbreitung von Hirseanbauflächen (BAZARA'A 1991) und Küchengärten (CECCOLINI 2001).

Entlang ausgewählter Transekte nahm MIES (2001) neben der Vegetationsverbreitung edaphische Standortbedingungen auf. Am Beispiel der Hadiboh-Ebene (Süd) wird die Abfolge der Substrate in Abhängigkeit von Höhenlage und Vegetationstyp ersichtlich (Tab. 1.1).

Tab. 1.1: Standortbeschreibungen pflanzensoziologischer Aufnahmen (MIES 2001; gekürzt)

Gebiet	Böden und Substrate	Vegetation und Nutzung
Hamderoh-Plateau 450 bis 500 m ü. M.	Kalkboden und Kalkschotter in tiefen Felsspalten	Überweidete Buschwaldvegetation, Kleinsukkulenten
Hadiboh-Ebene (Süd) 10 bis 35 m ü. M. 35 bis 80 m ü. M.	Granit- und Kalksand und Kalkschotter Ab 35 bis 60 m Granit- und Kalksand Ab 60 bis 80 m Schluff und Granit- und Kalksand	Weideland <i>Croton/Jatropha</i> -Buschland mit Großsukkulenten
Hadiboh-Ebene (West) 10 m ü. M.	Granitsand und Schotter	Weideland
Mori-Ebene 0 m ü. M.	Dünne Sebkh-Auflage über salzigem Sand und Schotter über marinem Krustenkalk	Überweidete Halophytensträucher und Kräuter

Aber auch gebietstypische Unterschiede werden deutlich: Während schwach beweidete Flächen der Felshänge mit „Kalkschottern“ für die Verbreitung von Großsukkulenten (zum Beispiel *Adenium obesum*) charakteristisch sind, zeigen Kleinsukkulenten „Kalkböden“ in Felsspalten der Kalkhochflächen an. Degradationsursachen wurden im Rahmen der vegetationsökologischen Studie systematisiert (MIES 2001).

Trotz terminologischer Mängel („Schotter“ für Schutt oder „Kalkboden“ für *calcie soils*) wird klar, dass die transekt- und standortbezogene Aufnahme der Substrate und Böden (edaphische Standortbedingungen) einen wesentlichen Teil der Kennzeichnung ökologischer Rahmenbedingungen der Vegetationsverbreitung ausmacht.

Sie kann als initiale Untersuchung von Substraten und Böden auf Socotra verstanden werden.

#### *Eigene Arbeiten*

Ende 2003 wurden die ersten Substrate und Böden Socotras feldbodenkundlich aufgenommen und kartiert (Abb. 1.1), um die Bodenentwicklungen sowie die Bodenheterogenität in ausgewählten Untersuchungsgebieten zu kennzeichnen. Beim Aufschluss der trockentropischen Böden Socotras fiel auf, dass die genannten Bodengruppen der Tropen, Subtropen und des Mediterranraums nicht durch idealtypische Böden in homogenen Substraten, sondern durch geschichtete Böden in heterogenen Substraten repräsentiert werden und oftmals weder eindeutig abgrenzbare diagnostische Horizonte noch eine typische Horizontabfolge aufweisen (Kap. 5.4.4), was auch Befunde anderer Arbeiten über die Böden in Nahost oder Afrika



Abb. 1.1: Umgelagerte *Terrae rossae* in Taschen des tief verwitterten Kalksteins (Socotra 2004, A. Zander)

belegen (Kap. 2.2.2). Dennoch musste sich die Kennzeichnung der subrezent und rezenten Bodenbildungen vorerst grundlegend an den idealtypischen „Böden der Welt“ (ZECH & HINTERMAIER-ERHARD 2002) orientieren: In den untersuchten Gebieten Socotras sind von den genannten tropischen, subtropischen und mediterranen Böden hauptsächlich Cambisols, Calcisols, Fluvisols und Regosols verbreitet (PIETSCH 2006). Auf weitere Untersuchungsergebnisse außer denen

von MIES (2001) konnte nicht zurückgegriffen werden. Hilfreich waren aber eigene Erfahrungen und Erkenntnisse aus den Geländeuntersuchungen zu relief- substrat- und pedogenetischen Differenzierungen im südjemenitischen Hochland (PIETSCH 2001).

#### *Bodendegradationsforschung in den Trockentropen und auf Socotra*

Aus der Recherche zur Degradations- und Desertifikationsforschung in Afrika, Asien und Europa geht hervor, dass es bis dato keine Untersuchung zu degradierten Böden im Jemen und auf Socotra gibt (u. a. MENSCHING 1990, RUNGE & SPÖNEMANN 1992, HEBEL 1995, RIES 1995, 2000, MÄUSBACHER 1997, SPÄTH 1997, BARTH 1998, MENSCHING & SEUFFERT 2001, OPP 1998, KRÄNZLIN 2000, MBILINYI 2000, SEEGER 2001, DALELO 2001, BRECKLE et al. 2001, PINSTRUP-ANDERSEN 2001, BLUM 2002). Die Untersuchungen zeigen jedoch, dass Desertifikations- und Degradationsprozesse generell in allen semiariden Gebieten auftreten können (HERRMANN & STAHR 1996, MIEHLICH 2003). Sie machen darüber hinaus deutlich, dass durch die Steuerung anthropogener Eingriffe Schädwirkungen vermieden oder reduziert werden können, um den Grad der Boden- und Landdegradation möglichst gering zu halten. Integrierte Forschung, die Bodenentwicklung, Ressourcenmanagement und Planung umfasst, ist daher unumgänglich. Seit vielen Jahren wird diese Diskussion im Rahmen des DESERTNet\* und des AK Bodengeographie geführt (letztes Treffen 05. bis 06. Mai 2006).

Degradation kann alle natürlichen Geofaktoren betreffen, die in Wechselwirkung mit dem Geofaktor Mensch stehen. Desertifikation kann als Spezialfall der Landdegradation verstanden werden, der sich auf die Trockengebiete der Erde beschränkt (SEEGER 2001). Sie ist nicht mit Desertation zu verwechseln (u. a. BRECKLE et al. 2001). Hauptursachen der Desertifikation und Degradation in semiariden Gebieten sind vorrangig Überweidung, Abholzung und Brachfallen landwirtschaftlicher Flächen (WISCHMEIER & SCHMIDT 1978, MENSCHING 1990, HERRMANN & STAHR 1996, OPP 1998, GRUNERT & KAPPAS 1999, BRECKLE et al. 2001). Im Rahmen des GLASOD-Projekts wurde eine erste weltweite Inventur der Bodendegradation und ihrer Erscheinungsformen durchgeführt, die auf der Schätzung der degradierten Flächen beruht und wie folgt gegliedert ist (OLDEMAN 1991, RICHTER 1998):

- Verbreitung von Degradationsarten (Wassererosion, Winderosion, chemische und physikalische Degradation),
- Grad der Schädigung (leicht, mäßig, stark, extrem),
- Ursachen der Degradation (Entwaldung, Überweidung, falsche Bewirtschaftung, Übernutzung, Eintrag von Schadstoffen).

Es können gleichzeitig verschiedene Degradationsformen auftreten (Tab. 1.2), deren Degradationsart maßgeblich von der Art und dem Grad der anthropogenen Einflussnahme bestimmt wird. Eine omnipräsente Ursache-Folge-Beziehung stellt zum Beispiel die Bodenerosion auf vegetationsfreien Flächen dar. Rückgang der Vegetationsdichte und Bodenerosion sind eng miteinander verknüpft und bilden ein Degradationsmuster. Dies ist aus linien- und flächen- und punkthaften Formen zusammengesetzt (Kap. 5.6.4).

Tab.1.2: Degradationsformen und -arten (in Anlehnung an OLDEMANN 1991, HEBEL 1995, OPP 1998, RICHTER 1998, STOCKING 1998)

Degradationsformen	Degradationsarten	Folgen der Degradation
Bodendegradation	Wasser- und Winderosion Salzüberschuss Chemische Degradation Physikalische Degradation Biologische Degradation	Erodierte Böden Versalzte Böden Nitrifizierte Böden Verdichtete Böden Mineralisierte Oberböden
Vegetationsdegradation	Physiologische Schäden Rückgang der Vegetationsdichte Biodiversitätsrückgang Verdrängung von Arten	Biomasseverlust Sinkender Bedeckungsgrad Abnahme der Artenanzahl Ansiedlung von Unkräutern

Gespräche und Diskussionen mit der Biodiversitätsbehörde in Hadiboh (GEF *Global Environment Facility*) haben gezeigt, dass zum Verständnis der Biodiversität, deren Rückgang Ursachen im Klima- und Landnutzungswandel hat, auch bodenkundliche Grundlagen notwendig sind. Erste diesbezügliche Diskussionen wurden auf dem Internationalen Symposium in Aden 2003 geführt. Sie werden in Hadiboh (Socotra) in jährlichen Abständen fortgesetzt, wie zuletzt auf einem Workshop im März 2006 (Abb. 8.41, A-25).

Einen aktuellen Überblick über Böden und Bodendegradation auf Socotra gibt der Beitrag von PIETSCH im aktuellen *GEF-Project Report* der Biodiversitätsbehörde Hadiboh sowie der *Environmental Protection Authority* auf Socotra (2006).

### 1.2.2 WRB-Bodenklassifikation

Mit der WRB (*World Reference Base for Soil Resources*, FAO-ISRIC-ISSS 1998) wurde eine Bodenklassifikation entwickelt, die eine international verständliche und einheitliche Basis für die Geländeansprache und Systematik der Böden darstellt. Deren Richtlinien (FAO 1990, 2005) haben im Gegensatz zur KA 4 (AG BODEN 1994) oder KA 5 (AD-HOC-AG BODEN 2005) einen praktikablen Umfang, da sie die Bodentypen stärker generalisieren und keine Übergangsbodentypen, wie zum Beispiel „Braunerde-Rendzina“, zulassen.

Generalisierungen haben Vor- und Nachteile. Ein Vorteil der FAO-Richtlinien (FAO 2005) ist, dass Bodenkundler und Bodenkartierer ohne WRB-Vorkenntnisse Profile feldbodenkundlich relativ schnell und sicher aufnehmen können. Hinzu kommt, dass die FAO-Richtlinien kennwert- und merkmalsbasierte Klassifikationsschlüssel für die meisten bodenphysikalischen und bodenchemischen Parameter beinhalten. Dies ist für die statistische Auswertung der Profildaten von großer Bedeutung und vereinfacht auch in der Bodenkartierung einiges (Kap. 3.4). Ein großer Nachteil ist, dass sich aufgrund der Generalisierung der Bodentypen qualitative Besonderheiten in einem ausgewählten Bodenprofil nicht durch die bislang vorgesehenen Kombinationen der *diagnostic properties* mit bestimmten Bodenentwicklungsmerkmalen (*formative elements, features*) kennzeichnen lassen. Calcic Fluvisols sucht man in der Klassifikation derzeit vergeblich, obwohl diese Böden aus fluvialen Sedimenten mit Calciumkarbonatanreicherungen > 15% auf Socotra weit verbreitet sind. Andererseits ist verständlich, dass es trotz der Einbeziehung weltweit erhobener Daten schwer möglich ist, in einem international gültigen Regelwerk alle verbreiteten Bodenbildungen und entsprechende Kombinationsmöglichkeiten in einzelnen Gebieten oder Klimazonen zu berücksichtigen. Ein weiterer Mangel, der auf Schwierigkeiten in der Systematisierung von weltweit verbreiteten Substrattypen hinweist, ist die Vernachlässigung der Substratansprache auf der Grundlage einer Substratklassifikation (vgl. Kap. 5.2.4). Zwar wird der lithologische oberflächennahe Untergrund in den FAO-Richtlinien berücksichtigt, nicht aber seine oftmals mehrgliedrigen Verwitterungs- und Umlagerungsprodukte. Das mag daran liegen, dass die Idee von geschichteten Böden einerseits noch nicht weit verbreitet ist (LORZ 2005), die Substrate andererseits schwierig in den globalen Kontext der klimatisch und anthropogen induzierten Landschaftsformung einzuordnen sind. Deshalb sind, unabhängig vom Klassifikationssystem im nationalen oder im globalen Kontext, für Substrat- und Bodenansprache generell regionale oder gebietstypische Klassifikationsschlüssel notwendig (ALBRECHT et al. 2005).

### 1.3 Indikatoren in der Umweltforschung

Der Begriff „Indikator“ kann zunächst als überfachlicher Terminus verstanden werden, da er in allen Wissens- und Lebensbereichen Bedeutung erlangt hat. „Indikator“ ist dem lat. *indicare* entlehnt und bedeutet „anzeigen, angeben“.

Aus Recherchen zu wissenschaftlichen Studien, die mit dem Begriff operieren, geht hervor, dass er bis in die 1970er Jahre hinein fast ausschließlich im Rahmen medizinischer und biologischer sowie in ökonomischen und sozialen Studien Verwendung fand, beispielsweise als:

- Indikator in der Biologie und Ökologie: Bioindikatoren,
- Indikator des Wirtschaftswachstums: BIP,
- Indikator des Bevölkerungswachstums: Fertilität.

In einer Vielzahl von Arbeiten wurden Indikatoren für ökonomische, ökologische und soziale Zustände und Entwicklungen definiert (u. a. BÖHLING 1995, HOFFMANN-KROLL 1995, HESS

& LEHMANN 1998, GÜNTER 2002, JÄGER 2002). Von nationalen und internationalen Behörden und Institutionen wie dem Umweltbundesamt oder der UNEP-UNU und PLEC wurden Datenbanken zu Indikatoren erstellt (RAT DER SACHVERSTÄNDIGEN VON UMWELTFRAGEN 1994, FFU 1995, SCHRAMEK 2002, PLEC 2002). In Berichten zum Indikationsprojekt (FFU 1995) oder in Umweltgutachten (RAT DER SACHVERSTÄNDIGEN VON UMWELTFRAGEN 1994) werden Indikatoren und Konzepte vorgestellt, die jedoch nur bedingt praxistauglich sind.

Seit den 1990er Jahren werden Indikatoren definiert, die Anwendung in der Landschaftsanalyse und -planung gefunden haben. BASTIAN & SCHREIBER (1999) listen Bioindikatoren für Umweltschadstoffe und Landschaftsveränderungen auf und ordnen sie Dimensionsstufen zu. OPP (1999) beschreibt dort ein Indikatorensystem zur Erfassung u. a. von Verdichtungen in Böden. Die aktuellste und sehr komplexe Auflistung von Indikatoren der Umweltleistungsfähigkeit im globalen Vergleich gibt der PILOT 2006 ENVIRONMENTAL PERFORMANCE INDEX. Um das breite Spektrum der Indikatoren in der Umweltforschung (im weitesten Sinne) aufzuzeigen, seien im folgenden ausgewählte Indikatoren genannt:

- Umweltindikatoren (MOUAT et al. 1992, RAT DER SACHVERSTÄNDIGEN VON UMWELTFRAGEN 1994, RENNINGS 1994, HESS & LEHMANN 1998).
- Indikatoren für eine dauerhaft-umweltgerechte Entwicklung (RENNINGS 1994),
- Degradationsindikatoren (STOCKING 1998),
- Indikatoren für die Landschaftsbewertung (VOLK & STEINHARDT 1999),
- Biodiversitätsindikatoren (JEDICKE 2000),
- Bodendegradierungsindikatoren (SEEGERS 2001),
- Nachhaltigkeitsindikatoren (BIELIG 2002, JÄGER 2002).

Bereits Ende der 1970er Jahre fand der Terminus „Indikator“ in der geographischen, geomorphologischen und geoökologischen Forschung Anwendung. Indikatoren werden dort allgemein im Sinne von Anzeigern für Veränderung, Zustand oder Belastung des Landschaftsökosystems verwendet (LESER 1997). Es werden folgende Indikatoren postuliert:

- Mineralbestand als bodengenetischer Indikator (BLUME & RÖPER 1977),
- Böden als Indikatoren klimagesteuerter Landformung (SKOWRONEK 1984),
- Basaltschuttdecken als Indikatoren pleistozäner Reliefüberprägung (BREITBACH 1989),
- Küstenlinien als Indikatoren für Neotektonik und Eustasie (BRÜCKNER & RADTKE 1990)
- Bodenvariabilität als Indikator für Erosion in Hanglagen (ARMANTO 1992),
- Ermittlung von Indikatoren der Bodendegradation anhand der Aggregation von Böden (CAMMERAAT & IMESON 1998),
- Hauptlage und Oberlage als umweltgeschichtliche Indikatoren (SEMMEL 2002).

Eine kompakte Zusammenstellung und systematische Auseinandersetzung zur Bedeutung der Indikatorfunktion von Böden in der Landschafts- und Umweltforschung erfolgt bei OPP (1998).



## 1.4 Zielstellung

In der vorliegenden Arbeit wird ein „Konzept der integrativen Bodenentwicklung“ vorgestellt, das neben der Bodenbildung die Substratgenese sowie die Bodendegradation im zeitlichen und räumlichen Kontext berücksichtigt (Abb. 8.2, A-2). Auf der Grundlage dieses Konzeptes wird ein Bodenentwicklungsmodell erstellt (Kap. 2.2.3). Der integrative Ansatz unterstützt die derzeit noch spärlichen Bemühungen, Substrat- und Bodenentwicklung der Trockentropen systematisch zu erfassen und insbesondere Substratschichtungen in die Klassifikation einzubeziehen, wie es für die Ansprache von Böden aus periglaziären Lagen in Mitteleuropa inzwischen gängig ist. Ein Teilziel ist die Entwicklung und Anwendung einer Substratklassifikation.

Aufgrund fehlender Kenntnisse über die Böden Socotras wie auch aus den genannten Defiziten in der Systematisierung von Bodenentwicklungen der Trockentropen werden in diesem semiariden Gebiet, das seit dem Mesozoikum eine abgeschlossene Landmasse darstellt, Substrate und Böden systematisch und unter Bezug auf Vegetationsverbreitungs- und Nutzungsmuster untersucht. Anhand von Ergebnissen aus Einzelstandortanalysen sowie der Kennzeichnung von Bodenheterogenität in einem intramontanen Becken, einem Ausschnitt der nördlichen Küstenebene und einem Wadi-Mittellauf werden Aussagen zur subrezent und rezenten Bodenbildung getroffen. Hauptziel ist es, mittels einer modifizierten WRB-Klassifikation und auf der Grundlage einer neu entwickelten Systematik von Schutt- und anderen Umlagerungsdecken Bodenentwicklungen zu kennzeichnen, um auf tektonisch, klimatisch und nutzungsinduzierte Landschaftsentwicklung schließen zu können.

Zielbezogen lassen sich fünf Hypothesen aufstellen:

- Auf Socotra gibt es zwar Bodenbildungen der Tropen und Subtropen, jedoch sind sie nicht als idealisierte A-B-C-Böden, sondern als geschichtete und polygenetische Böden verbreitet.
- Diagnostische Bodenmerkmale sind eng an Gliederungsmerkmale der Schutt- und anderer Umlagerungsdecken gebunden. Schichtenkonforme Bodenbildungen treten überall dort auf, wo rezent Umlagerung erfolgt. Schichtenübergreifende Bodenbildungen sind typisch für Standorte mit Formungsruhe.
- Schichtungsmerkmale wie Schichtenanzahl oder Substratumlagerungsart sind an bestimmte Reliefsituationen mit charakteristischen Schichttypen gebunden.
- Basierend auf den Verbreitungsmustern trockentropischer Schuttdecken lässt sich eine naturraumspezifische Substrat- und Bodenheterogenität mittels Strukturindikatoren nachweisen.
- Prozessindikatoren der Bodendegradation weisen auf veränderte Bodenmerkmale, insbesondere von Reliktböden, hin.

### *Aufbau der Arbeit*

Nach einer Skizze des landschaftsökologischen Ansatzes und der methodologischen Grundlagen der Bodenentwicklung wird das „Konzept der integrativen Bodenentwicklung“ vorgestellt. Ergänzt wird der theoretische Teil zur Kennzeichnung der Bodenentwicklung mit einer

modifizierten WRB-Klassifikation, einer Systematik trockentropischer Schuttdecken sowie einem Indikatorensystem. Darauf basierend wird ein Bodenentwicklungsmodell erstellt (Kap. 2). Daran schließt sich ein Methodenkapitel an (Kap. 3), das hinsichtlich der Datenauswertung, die sich größtenteils an FAO-Kennwerten orientiert, sehr umfassend gestaltet wurde. Damit soll die Möglichkeit der Nutzung von internationalen Richtlinien aufgezeigt und die Zuordnung der vorgestellten Daten vereinfacht werden.

Da bis dato ein umfassender und ausführlicher Inselüberblick zur physisch-geographischen Ausstattung sowie daran gekoppelte Bodenbildungsbedingungen fehlt, wird der Kennzeichnung der Substrate und Böden eine „Kleine Inselkunde“ Socotras mit aktuellem Bezug zur Umweltpolitik vorangestellt sowie die naturräumliche Ausstattung der Untersuchungsgebiete gekennzeichnet (Kap. 4). Der Überblick baut teilweise auf eigenen Ergebnissen auf.

Das sich anschließende Kapitel 5 bildet den Kern der Arbeit. Er stellt den Ergebnis- und Diskussionsteil dar. Zuerst wird auf die Ausgangssubstrate der Bodenbildung, deren Verbreitung im Relief und deren Systematik eingegangen (Kap. 5.1 und 5.2). Anschließend wird der Fokus makro- sowie mikromorphologisch auf die wichtigsten bodenbildenden Prozesse und die Bodenentwicklung auf Socotra gerichtet (Kap. 5.3). Anhand der Ergebnisse aus Einzelstandortanalysen werden subrezente und rezente Bodenbildungsmerkmale gekennzeichnet und die Klassifikation der Böden vorgestellt (Kap. 5.4). Auf der Basis von Kennwerten werden degradierte von nichtdegradierten Böden unterschieden (Kap. 5.4.2). Zusätzlich wird auf das Verhältnis von Schichtung und Horizontierung der Böden eingegangen, da dies mehr oder weniger an die Gliederungsprinzipien von Schuttdecken gekoppelt ist (5.4.3). Danach wird die indikative Bedeutung von Bodenkennwerten für die Bodenentwicklung diskutiert (Kap. 5.4.4). Auf der Schichtung von Böden aufbauend wird auf die Schuttdecken in ihrer Systematik und Verbreitung eingegangen sowie die indikative Bedeutung von Schichtungsmerkmalen erörtert (Kap. 5.5). Für Aussagen zur aktuellen Bodenheterogenität in den drei Untersuchungsgebieten erfolgt eine Darstellung der reliefabhängigen Bodenheterogenität (Kap. 5.6.2) und der horizontalen Bodenverbreitungsmuster (Kap. 5.6.3). Am Beispiel des Schutzgebietes Homhil wird ein aktuelles Bodendegradationsmuster vorgestellt (5.6.4). Dieses Kapitel wird mit der Zusammenstellung der Prozess- und Strukturindikatoren der trockentropischen Bodenentwicklung und Bodenheterogenität abgeschlossen (Kap. 5.7).

Das darauffolgende Kapitel 6 synthetisiert die wichtigsten Ergebnisse des vergleichend-analytischen Diskussionsteils und trifft, unter Bezugnahme auf die fünf Hypothesen, generelle Ableitungen zur Bodenentwicklung auf Socotra und in den Trockentropen. Dieses Kapitel abschließend werden Prozessindikatoren der trockentropischen Bodenentwicklung ausgewählt, die auf die Veränderung von Reliktböden hinweisen.

Kapitel 7 fasst die Ergebnisse der Arbeit zusammen.