

Thomas Ledermann

GIS-gestützte Modellierung einer Bodeneigenschaftskarte der Organischen Substanz

Upper Ewaso Ng'iro Basin, Kenia
2003



Diplomarbeit

der Philosophisch-naturwissenschaftlichen
Fakultät der Universität Bern

Leiter der Arbeit:

Prof. Dr. P. Germann
Dr. H. P. Liniger

Geographisches Institut
Universität Bern

Vorwort

Die Durchführung dieser Arbeit war nur dank der Hilfsbereitschaft verschiedener Beteiligter möglich. All jenen, welche mir als Ansprechpartner mit Rat und Tat zur Seite standen, gebührt mein ganz spezieller Dank.

Unserem Betreuer, Dr. Hanspeter Liniger danke ich für die Idee zur Arbeit und die tatkräftige Unterstützung während der ganzen Zeit. Seine Kenntnisse über das Untersuchungsgebiet sowie seine vorhandenen Kontakte erleichterten den Einstieg wie auch die Feldarbeit enorm. Ohne seine vielen Anregungen und Ermutigungen wäre diese Studie wohl nicht zustande gekommen.

Prof. Dr. Peter Germann stand uns von Beginn an mit fachlichem und konzeptionellem Rat jederzeit zur Seite und stellte uns die Infrastruktur der Abteilung Bodenkunde der Universität Bern zur Verfügung.

Als Einstiegshilfe für die Durchführung einer Feldarbeit als auch zur Suche alter Profilstandorte begleitete uns Dr. Geoffrey Kironchi während unseren ersten Tagen im Feld. Dr. Francis Gichuki, Koordinator des LRP in Kenia stand bei organisatorischen Fragen immer zur Verfügung.

Ein spezielles Dankeschön geht an die Teams des „Natural Resource Monitoring, Modelling and Management Program (NRM3)“ und des „Laikipia Research Program (LRP)“ in Nanyuki, Kenia. Die Feldarbeit wäre ohne ihr Engagement und ihre Freundschaft nie zustande gekommen. Joseph Ndungu, Projektleiter NRM3, half bei der Organisation der Feldtage und stellte uns die gesamte Infrastruktur in Nanyuki zur Verfügung. Im weiteren ist es unserem ortskundigen Fahrer und Führer Ben Mwangi zu verdanken, dass unsere Feldarbeit während der vorhandenen Zeit zu einem Abschluss kommen konnte.

Bei der Arbeit mit dem Geographischen Informationssystem GIS und denn dabei auftretenden Tücken konnten wir uns auf die Hilfe und wertvollen Hinweise von Hubert Gerhardinger, Gudrun Schwilch, Kurt Gerber und Albrecht Ehrensperger verlassen. Ihnen dafür unseren herzlichen Dank.

Für die statistischen Auswertungen und Berechnungen dieser Studie wurden wir von Michael Vock vom statistischen Dienst der Universität Bern beraten.

Mein besonderer Dank geht auch an Sandra Binggeli. Durch unsere gemeinsame Arbeit bei der Datenbeschaffung konnten wir viel Zeit sparen und die gegenseitigen Gespräche und Ermutigungen halfen uns über manches Motivationsproblem hinweg. Der Aufenthalt in Kenia wurde dank unserer Freundschaft zu einem unvergesslichen Erlebnis.

Meiner Familie danke ich für die Zuversicht, Unterstützung, Geduld und das entgegengebrachte Vertrauen. Gleiches gilt auch für all meine Freunde in dieser nicht immer einfachen Zeit.

Zusammenfassung

Die aktuelle Studie stellt den Versuch dar, eine GIS-gestützte synthetische Bodeneigenschaftskarte der organischen Substanz im Upper Ewaso Ng'iro Basin, Kenia zu modellieren.

Anhand einer möglichst geringen Anzahl an entscheidenden Bodenparametern wird eine multiple Korrelations- und Regressionsanalyse mit der Zielgrösse „organische Substanz“ durchgeführt. Berechnet werden mehrere unterschiedliche Modellansätze, wobei abschliessend derjenige mit den besten Resultaten für die weiteren Berechnungen gewählt wird. Die einzelnen Parameter, welche als unabhängige Variablen in die Berechnungen einfließen, müssen als flächendeckende Informationen vorliegen.

Zu diesem Zwecke werden die beiden geologischen Karten „Geology of the Baringo-Laikipia Area“ (HACKMAN 1988) und „Geology for the Isiolo Area“ (HACKMAN et al. 1989) anhand eines neuen Tools für Arc/View (Map Scan) digitalisiert. Die weiteren Einflussgrössen liegen bereits als GIS-Layers vor.

Da für die Regressionsanalyse eine grosse Anzahl an Bodendaten notwendig ist, werden die bereits bestehende Untersuchungen anhand weiterer 184 Samples, welche während der Feldarbeit zu dieser Studie gesammelt und analysiert wurden, ergänzt und in einer Datenbank digital erfasst. Diese Zusammenstellung sollte zukünftige Untersuchungen im Bereich Bodenkunde erleichtern.

Als Mass zur Bestimmung der Stärke des Zusammenhanges zwischen Einfluss- und Zielgrössen wird das multiple Bestimmtheitsmass B_{Y,Y_n} berechnet. Aus den Resultaten wird ersichtlich, dass das gewählte Modell die Zusammenhänge nicht in genügender Qualität zu schätzen vermag. Somit ist das Endprodukt nur als Ansatz und nicht als aussagekräftige Karte zu betrachten. Trotzdem stellt die beschriebene Methode zur Herstellung einer synthetischen Bodeneigenschaftskarte einen erfolgsversprechenden Ansatz dar. Durch die Erhöhung der Samedichte könnten in zukünftigen Arbeiten durchaus gute Resultate erzielt werden.

Literaturverzeichnis

VORWORT	I
ZUSAMMENFASSUNG	II
0__EINLEITUNG	1
1__PROBLEMSTELLUNG	3
1.1 EINFÜHRUNG IN DAS UNTERSUCHUNGSGEBIET	3
1.2 BISHERIGE ARBEITEN.....	6
1.3 ZIELSETZUNG-FORMULIERUNG DES THEMAS	7
1.3.1 ZIEL DER ARBEIT.....	7
1.3.2 ÜBERGEORDNETE UND UNTERGEORDNETE ZIELE.....	7
2__THEORIE	9
2.1 ZUR ENTSTEHUNG VON BÖDEN.....	9
2.1.1 EINLEITUNG	9
2.1.2 FAKTOREN DER BODENENTWICKLUNG.....	9
2.2 DIE BODENARCHITEKTUR	18
2.2.1 MINERALISCHE SUBSTANZ	18
2.2.2 ORGANISCHE SUBSTANZ	20
2.3 KONZEPT DER BODENFRUCHTBARKEIT.....	23
2.4 ORGANISCHE SUBSTANZ ALS INDIKATOR DER BODENFRUCHTBARKEIT	24
2.4.1 CHEMISCHE UND PHYSIOLOGISCHE WIRKUNGEN	24
2.4.2 BODENBIOLOGISCHE WIRKUNGEN	24
2.4.3 PHYSIKALISCHE WIRKUNGEN	25
2.4.4 HUMUSFORMEN.....	25
2.5 ENTSCHIEDENDE BODENPARAMETER.....	27
2.5.1 KLIMA - TEMPERATUR UND NIEDERSCHLAG.....	28
2.5.2 RELIEF-EROSION	29
2.5.3 WASSERHAUSHALT	31
2.5.4 STREU	32
2.5.5 NÄHRSTOFFGEHALT	32
2.5.6 PH-WERT	32
2.5.7 BODENTEMPERATUR	33
2.5.8 TEXTUR.....	33
2.5.9 NUTZUNGSFORM	33
2.5.10 DÜNGUNG	33

3	<u>METHODIK</u>	35
3.1	EINLEITUNG	35
3.2	STATISTISCHE VERFAHREN	35
3.2.1	WAHL DER UNABHÄNGIGEN VARIABLEN	35
3.2.2	ENTSCHEID ÜBER DIE ANALYSEVERFAHREN	38
3.2.3	STRATEGIEN ZUR AUSWAHL DER UNABHÄNGIGEN VARIABLEN	39
4	<u>GRUNDLAGEN UNTERSUCHUNGSGBIET</u>	41
4.1	KLIMA	41
4.1.1	NIEDERSCHLAG	41
4.1.2	TEMPERATUR UND POTENTIELLE EVAPORATION	44
4.2	GEOLOGIE	45
4.3	PHYSIOGRAPHIE	47
4.4	VEGETATION UND LANDNUTZUNG	47
5	<u>FELDARBEIT</u>	51
5.1	PLANUNG IM VORFELD	51
5.2	AUFFINDEN UND GEOKODIEREN BEREITS VORHANDENER PROFILANALYSEN	51
5.3	PROBENAHE	53
5.3.1	PLANUNG DER FELDTAGE	53
5.3.2	PROBENAHE UND ANALYSEN	55
5.3.3	FELDFORMULAR UND THEORIE	55
5.3.4	ROUTEN	66
6	<u>DIE DATENGRUNDLAGE</u>	71
6.1	BEURTEILUNG/AUSWERTUNG DER FELD- UND LABORDATEN	71
6.1.1	GESCHÄTZTER VERSUS TATSÄCHLICHER GEHALT AN ORGANISCHER SUBSTANZ	71
6.2	DIE GRUNDGESAMTHEIT	74
6.2.1	DATENGRUNDLAGE	74
6.2.2	DIGITALISIERUNG DER GEOLOGISCHEN KARTEN	76
6.3	DESKRIPTIVE STATISTIK DER UNABHÄNGIGEN/ABHÄNGIGEN VARIABLE(N)	77
7	<u>MODELLIERUNG</u>	83
7.1	DAS MODELL	83
7.1.1	NOTWENDIGE ANPASSUNGEN DER DATENGRUNDLAGE	83
7.1.2	VERSCHIEDENE MODELLANSÄTZE	85
7.1.3	BERECHNUNGS-SKRIPT DER „S-PLUS 2000“ SOFTWARE	86
7.1.4	DIE REGRESSIONSGLEICHUNG	99

7.2	RECHENSCHRITTE ARC/GRID	100
7.3	BODENEIGENSCHAFTSKARTE ORGANISCHE SUBSTANZ	102
7.4	PROBLEMBEHEBUNG UND PRÜFUNG	104
8	<u>DISKUSSION DER MODELLIERUNG</u>	<u>105</u>
8.1	AUSWERTUNG DES MODELLS	106
8.2	MÖGLICHE FEHLERQUELLEN	110
8.2.1	AUSWERTUNG NACH AUTOR	110
8.2.2	AUSWERTUNG NACH DATENHERKUNFT	111
8.2.3	GEOGRAPHISCHE AUSWERTUNG	113
8.2.4	PUNKTBEZOGENE BETRACHTUNG	116
8.3	MÖGLICHKEITEN DER WEITERENTWICKLUNG.....	116
9	<u>WEITERE DATENANWENDUNG.....</u>	<u>119</u>
9.1	SCHÄTZUNG DER ORGANISCHEN SUBSTANZ NACH DER MUNSELL-FARBHELLIGKEIT	119
9.1.1	KONZEPT VON FREI, PEYER (1991)	119
9.1.2	AUSWERTUNG UND BEURTEILUNG DES KONZEPTE NACH BLUME,HELSPER (1987)	120
9.1.3	DER ANSATZ VON SCHULZE ET AL. (1993)	123
9.1.4	EMPFEHLUNG FÜR WEITERE FELDBEGEHUNGEN.....	126
10	<u>SCHLUSSWORT</u>	<u>127</u>
11	<u>LITERATURVERZEICHNIS</u>	<u>129</u>
ANHANG	<u>.....</u>	<u>137</u>
A1:	ABKÜRZUNGSVERZEICHNIS.....	138
A2:	DATEN-CD	139
A3:	DATENMATRIX (GEKÜRZTE VERSION).....	140

Abbildungsverzeichnis

ABB. 1.1: LAGE DES UNTERSUCHUNGSGEBIETES UPPER EWASO NG'IRO BASIN, KENIA	4
ABB. 2.1: DIE KLIMATE DER ERDE	11
ABB. 2.2: DIE BÖDEN DER ERDE	12
ABB. 2.3: VERBREITUNG DER BODENTYPEN NACH HÖHENSTUFEN IN OSTAFRIKANISCHEN GEBIRGEN	14
ABB. 2.4: BODENGESELLSCHAFT IN ABHÄNGIGKEIT VOM GRUNDWASSER	15
ABB. 2.5: EFFECT OF GRAZING PRESSURE ON GRASS COVER AND LAND DEGRADATION FOR THE SAME NATURAL ENVIRONMENT IN MUKOGODO, KENYA	16
ABB. 2.6: EFFECT OF LAND-USE/COVER ON RUNOFF AND SOIL LOSS FROM SMALL PLOTS.....	17
ABB. 2.7: DIE STELLUNG DER BÖDEN IM KREISLAUF DER LITHOSPHERE	18
ABB. 2.8: BODENARTEN DES FEINBODENS NACH DER US-SOIL-TAXONOMY	20
ABB. 2.9: DER HUMUSUMSATZ IM BODEN	21
ABB. 2.10: DYNAMIK DER ORGANISCHEN SUBSTANZ.....	22
ABB. 2.11: MODELL DER ÄNDERUNG DES NT- GEHALTS VON LEHMBÖDEN IN ABHÄNGIGKEIT VON DER MITTLEREN JAHRESTEMPERATUR UND DEM N/S-QUOTIENTEN.....	29
ABB. 2.12: GENERALISED RELATIONSHIP BETWEEN SOIL PROPERTIES AND SLOPE ANGLE.....	30
ABB. 2.13: THEORETICAL DISTRIBUTION OF SOIL PROPERTIES OVER SLOPE FORM.....	31
ABB. 4.1: JÄHRLICHE NIEDERSCHLAGSVERTEILUNG EWASO NG'IRO BASIN, KENIA	42
ABB. 4.2: TOPOGRAPHIE EWASO NG'IRO BASIN, KENIA.....	43
ABB. 4.3: MT. KENYA-EWASO NG'IRO: ANNUAL WATER BALANCE AND DRY SEASON FLOW... 44	44
ABB. 4.4: LITHOLOGIE UPPER EWASO NG'IRO BASIN, KENIA	46
ABB. 4.5: VEGETATION UND LANDNUTZUNG UPPER EWASO NG'IRO BASIN, KENIA.....	49
ABB. 5.1: HINWEIS AUF DAS VORHANDENSEIN EINER FRÜHEREN PROFILGRUBE	52
ABB. 5.2: SAMPLE-SHEET LAIKIPIA/ KENYA.	56
ABB. 5.3: VEGETATIONSKLASSE Td: > 50 % DENSE TREES	59
ABB. 5.4: VEGETATIONSKLASSE Go: > 50 % BAMBOO-GRASS	59
ABB. 5.5: VEGETATIONSKLASSE TGs: > 50 % SPARSE GRASSLAND WITH 20 – 50 % TREES ...	60
ABB. 5.6: VEGETATIONSKLASSE G: > 50 % GRASSLAND.....	60
ABB. 5.7: VEGETATIONSKLASSE Cfallow: > 50 % CROPLAND (FALLOW).....	60
ABB. 5.8: FELDARBEIT 2002: GULLYEROSION MUKOGODO.....	61
ABB. 5.9: BODENARTEN DES FEINBODENS NACH DER US-SOIL-TAXONOMY	63
ABB. 5.10: LAGE DER BODENPROBEN IM UNTERSUCHUNGSGEBIET	69
ABB. 6.1: VERGLEICH DER OS-KLASSEN: ANALYSE VS. FELD	73
ABB. 6.2: STREUUNGSDIAGRAMME DER UNABHÄNGIGEN VARIABLEN GEGEN DIE ABHÄNGIGE VARIABLE	79
ABB. 6.3: DESKRIPTIVE STATISTIK: HISTOGRAMMDARSTELLUNGEN DER IN DIE METHODE EINBEZOGENEN ABHÄNGIGEN WIE UNABHÄNGIGEN VARIABLEN.....	80
ABB. 7.1: SCATTERPLOT S-PLUS FÜR MODELLANSATZ_1.	98
ABB. 7.2: BODENEIGENSCHAFTSKARTE ORGANISCHE SUBSTANZ, UPPER EWASO NG'IRO BASIN, KENIA.	103
ABB. 9.1: STREUUNGSDIAGRAMME: MUNSELL-VALUE (FEUCHT/TROCKEN) VS. GEHALT AN ORGANISCHER SUBSTANZ [%].....	119
ABB. 9.2: MUNSELL-VALUES (FEUCHT/TROCKEN) VS. GEHALT AN ORGANISCHER SUBSTANZ [%]. DARSTELLUNG STATISTISCHER KENNZAHLEN.....	120

Tabellenverzeichnis

TAB. 1.1: NATURAL RESOURCES, THEIR USE, AND MANAGEMENT CHALLENGES IN THE DIFFERENT ZONES OF THE UPPER EWASO NG'IRO BASIN.....	5
TAB. 2.1: BODENEIGENSCHAFTEN UND BODENFRUCHTBARKEIT	23
TAB. 2.2: HÄUFIGE MENGE, VERTEILUNG UND UMSETZUNG DER ORGANISCHEN SUBSTANZ (TROCKENMASSE) IN ÖKOSYSTEMEN UNTERSCHIEDLICHER KLIMATE	28
TAB. 2.3: DOMINANT FACTOR EXPLAINING THE VARIATION IN SOIL PROPERTIES ON CHALK SLOPES	31
TAB. 3.1: TYPEN STATISTISCHER PROBLEMSTELLUNGEN.....	38
TAB. 3.2: SKALENNIVEAU DER INS MODELL EINBEZOGENEN VARIABLEN.	38
TAB. 5.1: ZUSAMMENSTELLUNG DER BODENUNTERSUCHUNGEN IM UPPER EWASO NG'IRO BASIN, LAIKIPIA KENYA.	53
TAB. 5.2: ÜBERSICHT ÜBER DIE ANALYSIERTEN BODENPARAMETER SOWIE DIE ANGEWENDETE METHODE.....	55
TAB. 5.3: MAJOR LANDFORM – DESCRIPTION TERMS	57
TAB. 5.4: LANDUSE – DESCRIPTION TERMS	58
TAB. 5.5: LAND USE/VEGETATION COVER	58
TAB. 5.6: QUALITATIVE CLASSIFICATION OF SOIL EROSION AT THE TEST SITES.....	61
TAB. 5.7: SIZE CLASSES FOR STRUCTURE ELEMENTS OF VARIOUS TYPES [MM].....	63
TAB. 5.8: GEHALT AN ORGANISCHER SUBSTANZ IM BODEN	64
TAB. 5.9: GROBMETHODE ZUR ABSCHÄTZUNG DER VERDICHTUNG-EICHUNGSTABELLE.....	65
TAB. 5.10: BEISPIEL ROUTENBLATT FELDARBEIT.....	68
TAB. 6.1: VERGLEICH VON GESCHÄTZTEM UND TATSÄCHLICHEM ORGANISCHEN GEHALT DES BODENS.....	72
TAB. 6.2: REGRESSIONSSTATISTIK: ORG. SUBSTANZ [KLASSEN] - FELD VS. ANALYSE.....	72
TAB. 6.3: ZUSAMMENSTELLUNG DER VERWENDETEN GIS-INFORMATIONSLAYER.....	74
TAB. 6.4: DATENMATRIX FÜR DIE REGRESSIONSANALYSE - EIN AUSSCHNITT.	75
TAB. 6.5: LEGENDEN ZU DEN KATEGORIALEN UNABHÄNGIGEN VARIABLEN.....	75
TAB. 6.6: DESKRIPTIVE STATISTIK: TABELLARISCHE DARSTELLUNG DER HÄUFIGKEITS-VERTEILUNG KATEGORIALER VARIABLEN.....	81
TAB. 6.7: DESKRIPTIVE STATISTIK: TABELLARISCHE DARSTELLUNG DER HÄUFIGKEITS-VERTEILUNG METRISCHER VARIABLEN	81
TAB. 6.8: DESKRIPTIVE STATISTIK: WEITERE MASSZAHLEN EMPIRISCHER VERTEILUNGEN	81
TAB. 7.1: EXTREMWERTE DER ABHÄNGIGEN VARIABLE ORGANIC MATTER.....	84
TAB. 7.2: AUFZÄHLUNG DER VERSCHIEDENEN MODELLANSÄTZE	85
TAB. 7.3: REGRESSIONSGLEICHUNG MODELL_1	99
TAB. 7.4: STATISTISCHE KENNZAHLEN ZUR REGRESSIONSGLEICHUNG MODELL_1	99
TAB. 8.1: STATISTISCHE KENNZAHLEN ZUR REGRESSIONSGLEICHUNG MODELLANSATZ_1 ..	105
TAB. 8.2: DATENMATRIX AUSWERTUNG - EIN AUSSCHNITT	106
TAB. 8.3: AUSWERTUNG ORGANISCHE SUBSTANZ NACH KLASSEN: MODELL VS. ANALYSE...	106
TAB. 8.4: POPULATIONSKENNGRÖSSEN DER ORGANISCHEN SUBSTANZ.....	107
TAB. 8.5: VERGLEICH DER MODELLRESULTATE HINSICHTLICH DER TATSÄCHLICHEN ORGANISCHEN SUBSTANZ EINGETEILT IN %-KLASSEN	109
TAB. 8.6: KLASSENINTERVALLE DER BETRAGSDIFFERENZEN	113

TAB. 8.7: AUSZUG ALLER SAMPLES MIT DER BETRAGSDIFFERENZEN $OS_{ANA} - OS_{MOD}$ [%] BDIFF-6 UND BDIFF-7	118
TAB. 9.1: REGRESSIONSSTATISTIKEN ZWISCHEN DEM MUNSELL-VALUE (FEUCHT/TROCKEN) UND DEM GEHALT AN ORGANISCHER SUBSTANZ. UNTERTEILT NACH SCHRITTEN BEZÜGLICH MODELLERWEITERUNGEN DER AUFGEFÜHRTEN AUTOREN FREY, PEYER (1991) UND BLUME, HELSPER (1987).....	122
TAB. 9.2: REGRESSIONSSTATISTIKEN ZWISCHEN DEM MUNSELL-VALUE (FEUCHT/TROCKEN) UND DEM GEHALT AN ORGANISCHER SUBSTANZ. GEGLIEDERT NACH LANDSCHAFTS- EINHEITEN: GEOLOGIE	124
TAB. 9.3: REGRESSIONSSTATISTIKEN ZWISCHEN DEM MUNSELL-VALUE (FEUCHT/TROCKEN) UND DEM GEHALT AN ORGANISCHER SUBSTANZ. STATISTIK DER IN DER GEOLOGIEEINHEIT „VULK. + COLLUV.“ ZUSAMMENGEFASSTEN GEOLOGIE-UNTEREINHEITEN.....	124
TAB. 9.4: REGRESSIONSSTATISTIKEN ZWISCHEN DEM MUNSELL-VALUE (FEUCHT/TROCKEN) UND DEM GEHALT AN ORGANISCHER SUBSTANZ. GEGLIEDERT NACH LANDSCHAFTS- EINHEITEN: VEGETATION	125
TAB. 9.5: REGRESSIONSSTATISTIKEN ZWISCHEN DEM MUNSELL-VALUE (FEUCHT/TROCKEN) UND DEM GEHALT AN ORGANISCHER SUBSTANZ. GEGLIEDERT NACH LANDSCHAFTS- EINHEITEN: TOPOGRAPHIE.....	125

0 Einleitung

Räumliche Informationen gewinnen im Zusammenhang mit den Handlungen der lokalen Bevölkerung sowie dem Ressourcenmanagement besonders in Entwicklungsprojekten stetig an Bedeutung. So bilden zum Beispiel Bodeneigenschaftskartierungen eine wichtige Grundlage für die Planung der Landnutzung und die Abschätzung der Risiken der Bodendegradation.

Dabei ist die konventionelle Beurteilung des Bodens zur Ansprache und Messung bestimmter Bodeneigenschaften auf eine lokale Kalibrierung der Beobachtungen angewiesen. Jedoch sind Bodenanalysen sehr teuer und für eine angebrachte Charakterisierung der räumlichen Variabilität einer Landschaft sehr viele Proben nötig. Zudem sind die Kartierungsgebiete, gerade in Ländern des Südens, oft nur schwer zugänglich. Aus diesen Gründen ist es fast unmöglich, flächenmässig ausgedehnte, quantitative Evaluierungen vorzunehmen.

Methoden zur schnellen, zerstörungsfreien Bestimmung von Bodeneigenschaften sind zur quantitativen Abschätzung von Problemen bezüglich Landmanagement dringend erforderlich. Der Einsatz von Geographischen Informationssystemen (GIS) und Fernerkundung (Remote Sensing RS) als Mittel der landschaftsökologisch orientierten Planung ermöglicht ansatzweise eine Unterstützung bei der Aufarbeitung solcher räumlicher Informationsdefizite. Satellitenbilder liefern eine Unmenge an Informationen über Vorhandensein, Zustand und Veränderung natürlicher Ressourcen. Immer ausgefeiltere geographische Informationssysteme lassen eine immer bessere Verarbeitung geographischer Daten zu.

In der hier vorliegenden Studie wird versucht, einen inhaltlichen und methodischen Beitrag zu obgenannter Thematik zu erbringen und Probleme sowie mögliche Lösungsansätze zu erarbeiten. Als Fallbeispiel wurde das Ewaso Ng'iro Basin in Kenya gewählt. Unter der Zusammenarbeit der Universitäten Nairobi und Bern entstand 1984 das „Laikipia Research Program“ sowie 1992 das „Natural Resource Monitoring, Modelling and Management Program (NRM3)“, welche nun seit einer geraumen Dauer Forschung im Untersuchungsgebiet betreiben. Ohne diese Datenbasis, welche im Rahmen dieser Zusammenarbeit erhoben wurde, wäre die Durchführung dieser Studie unmöglich gewesen.

Das Konzept dieser Studie sowie die Feldarbeit und einige weitere Arbeiten wurden zusammen mit Sandra Binggeli erarbeitet. Aus diesem Grund bestehen Parallelen zu der von BINGGELI 2003 vorgelegten Diplomarbeit: GIS-gestützte Modellierung einer Bodentexturkarte im Upper Ewaso Ng'iro Basin, Kenia. Durch diese Zusammenarbeit konnten wir unsere Studien auf derselben Datengrundlage aufbauen. Die dadurch resultierende Verminderung des Zeitaufwandes muss als Voraussetzung für die Erarbeitung des Themas im Rahmen einer Diplomarbeit angesehen werden.

Theoretische Grundlagen und Vorarbeiten hinsichtlich der Modellierung der Bodeneigenschaftskarte bieten KLINGL (1996) und GERBER (2000). Die Wahl der statistischen Verfahren zur Erstellung der Rechenvorschrift wurde unter Mithilfe von Michael Vock des Statistischen Dienstes der Universität Bern an die vorliegenden Datengrundlagen angepasst.

Die Arbeit gliedert sich wie folgt: Nach einer kurzen Einführung ins Untersuchungsgebiet wird die für diese Arbeit aktuelle Problemstellung aufgeführt. Die wichtigsten bodenkundlichen Theorieansätze hinsichtlich Grundverständnis sowie die Grundlagen der Methodik sind in Kapitel zwei und drei zusammengefasst. Im vierten Kapitel werden dann die räumlichen Grundlagen des Untersuchungsgebietes erarbeitet und erläutert. Themenbereiche, die für den weiteren Verlauf der Arbeit von Bedeutung sind (Klima, Geologie, Physiographie, Vegetation und Landnutzung) werden mit der nötigen Ausführlichkeit behandelt. Im folgenden Kapitel wird die Feldarbeit in Kenia von der Planung bis hin zur Probenahme aufgezeigt. Kapitel sechs und sieben beinhalten Ausführungen bezüglich der Datengrundlage sowie die Modellierung. Eine Diskussion der Ergebnisse bietet der achte Teil dieser Studie. Im neunten Kapitel wird zusätzlich noch anhand verschiedener Ansätze auf den Zusammenhang zwischen dem Gehalt an organischer Substanz und der Munsell-Farbhelligkeit eingegangen. Kapitel 10 schliesst die Arbeit mit Überlegungen hinsichtlich des Modells und versucht, mögliche Verbesserungen und Weiterentwicklungen kurz aufzuführen.

1 Problemstellung

1.1 Einführung in das Untersuchungsgebiet

Das Upper Ewaso Ng'iro Basin erstreckt sich über eine Fläche von 15'251 km². Die nördliche Grenze reicht bis zu 1° 15' nördlicher Breite und der südlichste Punkt ist bei 0° 20' südlicher Breite. So teilt der Äquator das Basin in zwei Teile. Die Ausdehnung nach Westen reicht bis zum 36. Längengrad (36° 10') und im Osten bis zum 38. Längengrad (38° 00') östlich von Greenwich (Abb. 1.1) (MATI 1999).

Aus administrativer Sicht liegt das Upper Ewaso Ng'iro Basin in sieben Bezirken und drei Provinzen (Rift Valley, Central und Eastern). Die sogenannten Districts umfassen namentlich Nyeri, Nyandarue, Laikipia, Meru, Nyambene, Isiolo und Samburu wobei der Laikipia-District über 50 Prozent des gesamten Gebietes belegt. Die grösste Stadt der Region ist Nanyuki, welche sich ungefähr 200 Kilometer nördlich von Nairobi an der Nordwestflanke des Mt. Kenyas befindet (MATI 1999).

Das Basin kann vom Berg hin zum Tiefland in sieben Zonen unterteilt werden: (1) Alpine, (2) die oberen Berglagen, (3) die tieferen Berglagen, (4) das vulkanische Hochlandplateau, (5) das Hochland auf dem Grundgebirge, (6) die Hügel und Abhänge und (7) das Tiefland. Tab. 1.1 gibt einen kurzen Überblick über die jeweiligen Charakteristiken obgenannter Zonen (GICHUKI et al. 1998b).

Die geographische Höhe nimmt nordwärts vom Mt. Kenya (5199 m), über die Nyandarua Range (3999 m) bis hin zu den Nyambene Hills ab. Grösstenteils kommen die zentralen Regionen ins leicht gewellte Laikipia Plateau zu liegen, mit einer Höhe zwischen 1700-1800 Meter über Meer. Der Norden sowie der Nordosten des Basin sind charakterisiert durch eine wellige bis hin zu einer hügeligen Topographie mit abnehmender Höhenlage bis auf 1000 Meter oder weniger. Der tiefste Punkt liegt auf 862 Meter über Meer (Archer's Post), der höchste auf 5199 Meter über Meer (Mt. Kenya) (Abb. 4.2, S. 43).

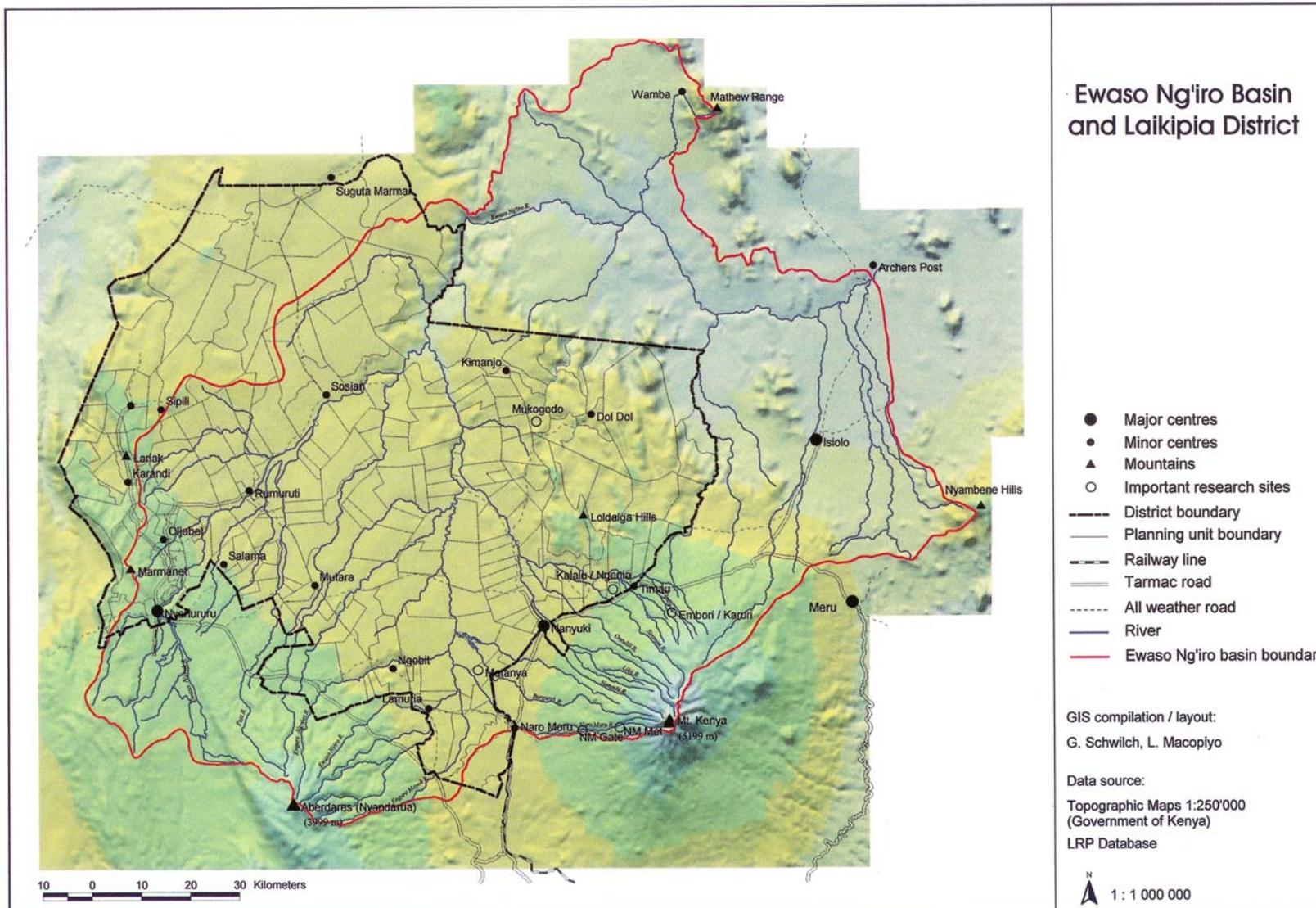


Abb. 1.1: Lage des Untersuchungsgebietes Upper Ewaso Ng'iro Basin, Kenia (aus ESAGJ 1998: 3, Figure 1)

	Afro- Alpine mountains	Upper mountain slopes	Lower mountain slopes	Volcanic highland plateau	Highlands on the basement complex	Hills and scarps (basement complex)	Lowlands
Altitude [m a.s.l.]	> 3500	2200 - 3500	1900 - 2200	1700 - 1900	1700 - 1900	1200 - 2500	800 - 1200
Pot. Evaporation [mm]	100 - 500	500 - 800	800 - 1200	1200 - 1800	1700 - 1800	1500 - 2500	2500 - 3300
Annual Rainfall [mm]	600 - 1000	1000 - 1500	700 - 1000	500 - 700	500 - 600	500 - 800	300 - 500
Agro- ecological zone	humid	humid to semi-humid	semi-humid to semi-arid	semi-arid	semi-arid to arid	semi-arid to semi-humid	arid
Rainfall and water availability for plants	Rainfall excess during the wet seasons. Periods of water deficits during dry season, during which water stored in deep soils can fulfil the water requirements of plants.		Rainfall, if well conserved, generally sufficient for rainfed agriculture. However, period of water deficit.	Increasing variability and decreasing reliability of rains and thus a lower potential for rainfed agriculture towards the drier lowlands. Evaporation loss from soil surface is very high without soil cover.			Very erratic rainfall with long periods of water stress.
Temperatures	Cold with daily night-time frosts, very limited plant growth.	Cool with frequent night frosts, limiting crop production and plant growth.	Some night frosts.	Warm day but cool night temperatures with rare night frosts, limiting performance of drought-tolerant crops.	Warm days but cool night.	Depends on altitude: variable between highland plateau and lowland climate.	Hot day and temperate night temperatures.
Slopes	steep	steep	moderate	gentle	gentle to moderate	steep to moderate	gentle to flat
Soils	Ice, rock, shallow and acid soils. Not suitable for agricultural production.	Fertility restricted by nutrient leaching and acidity. Medium to deep humic soils, erodible without vegetation cover. Suitable for forestry, limited for crop production	Deep fertile reddish soils with high suitability for rainfed crop production with soil and water conservation. Erodible if not covered with vegetation. Avoid nutrient mining.	Deep volcanic fertile soils. Workability and accessibility restricted on black, heavy clay soils (vertic). Crop production limited due to soil water stress. Water conservation needed! Very suitable for grassland production.	Variable reddish soils, often eroded topsoils and gullies below the hills and scarps. Black soils in depression. Prone to surface crusting and erosion if not covered with vegetation. Suitable for grass production.	Very shallow to moderately deep, reddish soils. Very stony. Not suitable for crop production. Suitable for natural vegetation and limited grazing.	Moderately deep to deep. Soil development and use restricted due to moisture shortage. Suitable for extensive grazing.
Surface water	Excess water; glaciers contribute to river flow in dry season; recharge of groundwater.	Greatest contribution to river water. Densest network of perennial rivers.	Contribution to river flow in wet season. Deficit during dry season. Area of highest river water abstraction for irrigation and other uses. Perennial rivers < 5 km apart.	Contributions from ephemeral rivers during rainy seasons. Heavy abstraction during dry seasons. Perennial rivers 5- 20 km apart; many have potential for small dams.	Contributions from ephemeral rivers during rainy seasons. Perennial rivers > 20 km apart. Many ephemeral rivers can be used to store water in small dams for the dry season.	Contributions from ephemeral rivers during rainy seasons. Only one "perennial" river, which began drying up in the 1980s.	
Land use/vegetation	National park with tourism. Sparse natural Alpine vegetation.	Forest reserve, natural forests in the upper and planted forests in lower parts. Change to grassland and cropland on the northern slopes.	Forest plantations and recent subdivision of large- scale into small- scale farming. Heavy immigration of small- scale farmers and increase of cropland and agroforestry systems. Increasing irrigation for commercial crop and horticultural production.	Subdivision of large- scale ranches into small- scale farms. Increasing settlement due to immigration, with expansion of cropland and increasing pressure on grazing land. Increasing areas with irrigation.	Ranching on large-scale farms with natural grassland and savannah vegetation. High grazing pressure on communally managed grazing lands used by nomads.	Mainly natural bush and forest cover, due to inaccessibility (steep, stony soils with little drinking water for animals).	Open savannah with grassland. Partly heavily overgrazed. Denser tree and bush vegetation along the river. National parks in the lower reaches along the Ewaso Ng'iro River.
Major resource management challenges	Little human impact.	Protected water catchment areas for the perennial rivers and groundwater recharge. Keep soils protected by a good cover. Controlled use of the forest resources.	Maintain good soil cover to reduce surface runoff and evaporation loss. Find most appropriate soil and water conservation (SWC) technologies for rainfed crop production to reduce the pressure for irrigation.	Reduce water loss by evaporation and runoff. Find most appropriate SWC and water harvesting technologies for rainfed farming to reduce the pressure for irrigation. Limit crop production to most suitable places.	Increase ground cover with perennial grasses to reduce water loss by runoff and evaporation and damage from soil erosion. Improve management of the stocking rate to adapt to available fodder. Water harvesting in small dams.	Keep natural vegetation.	Guarantee sufficient water supply from the Ewaso Ng'iro River by regulating water management upstream. Improve grazing management and water harvesting.

Tab. 1.1: Natural resources, their use, and management challenges in the different zones of the Upper Ewaso Ng'iro Basin (aus GICHUKI et al. 1998b: 9, Table 1)

1.2 Bisherige Arbeiten

In LINIGER et al. (1998a) sind die wichtigsten Bodenressourcen als auch die natürliche Vegetationsdecke sowie die vorkommenden Bodentypen und –eigenschaften nach deren geographischen Verbreitung im Upper Ewaso Ng’iro Basin (Untersuchungsgebiet) dargestellt und verdeutlicht.

Weiter wurde, unter der Zusammenarbeit und Aufsicht des „Laikipia Research Program“ und des „NRM3“, in den vergangenen Jahren eine breite Datengrundlage geschaffen. Eine Zusammenstellung der im Gebiet des Upper Ewaso Ng’iro Basin durchgeführten Bodenuntersuchungen bietet Tab. 5.1 (S. 53). Daraus geht hervor, dass 313 Bodenprofile analysiert und in einigen Reports und Diplomarbeiten ausgewertet wurden und somit für die Weiterverwendung nur noch zusammengetragen werden mussten.

KLINGL (1996) generierte bereits eine synthetische Bodenkarte im Gebiet Laikipia-East, Kenia. Hinsichtlich der lückenhaften Karten- und Datenbasis im Untersuchungsgebiet wurde ein Datenmodell erstellt, um die räumliche Verteilung von Bodenassoziationen aus den vorhandenen Datenebenen abzuleiten. Unter Berücksichtigung eines Kartierkonzeptes, das die Lithologie, dominante Landformen sowie die Hangneigungskarte, das Dränagenetz und die Vegetationseinheiten berücksichtigt, wurde eine hierarchische Rechenvorschrift für eine synthetische Bodenkarte auf regionaler und Testgebietsebene erarbeitet. Entscheidend für diese Modell-Logik ist die Annahme, die Datenebenen als Zustandsfaktoren hinsichtlich ihrer Bedeutung für die Bodenbildung zu betrachten und Bodenassoziationen aus den Kombinationen ihrer Attribute abzuleiten. Die Rechenvorschrift stellt eine Zuordnungsmatrix dar, deren Umsetzung in die Makroprogrammierung der GIS-Datenbankbank erfolgt.

GERBER (2000) versuchte, ein Modell der Abhängigkeit von Bodeneigenschaften mit bodenbildenden wie –beeinflussenden Faktoren für die Simen Mountains, Äthiopien zu erstellen. Es wurden verschiedene Wege der Modellierung getestet und miteinander verglichen, um schliesslich in einem Anwendungsgebiet, für das keine Bodenkarte existiert, eine synthetische Bodenkarte zu generieren.

In Anlehnung an obgenannte Arbeiten, welche theoretische Grundlagen sowie Vorarbeiten hinsichtlich der Modellierung bieten, und hinsichtlich der inzwischen bedeutend besseren und umfanglicheren Datengrundlagen, ist der Wunsch entstanden, eine genauere Kartierung von wichtigen Bodeneigenschaften über das ganze Gebiet des Upper Ewaso Ng’iro Basin zu erstellen.

1.3 Zielsetzung-Formulierung des Themas

1.3.1 Ziel der Arbeit

Ziel der Arbeit ist die Erstellung einer Rechenvorschrift zur Modellierung einer synthetischen Bodeneigenschaftskarte der organischen Substanz für das Upper Ewaso Ng'iro Basin auf Arc/Info und Arc/View.

1.3.2 Übergeordnete und untergeordnete Ziele

(a) Zusammentragen von bestehenden und ergänzen weiterer Daten zum Erstellen der Datengrundlage:

- Bei der Digitalisierung von Bilddateien (Geologie) wird eine neue Arc/View-Extension (MapScan) angewendet und getestet.
- Bereits vorhandene Profildaten ohne genaue Lageinformationen (Koordinaten) werden aufgesucht und anhand von GPS-Grundlagen neu geokodiert.
- Bereits existierende Profildaten werden zusammengetragen und in digitale Form (SOTER Database, Excel-Tabelle) übertragen.
- Durch das Sammeln weiterer Bodenproben wird die Planung sowie die Durchführung einer umfangreichen, bodenkundlichen Feldarbeit geübt.

(b) Beitrag zur Grundlagenforschung:

- Erstellen einer Rechenvorschrift zur Berechnung einer synthetischen Bodeneigenschaftskarte.
- Kartierung des Gehaltes an organischer Substanz im Untersuchungsgebiet mit Arc/View und Arc/Info.

(c) Beitrag zum besseren Verständnis im Forschungsgebietes:

- Bodenkundliche Prozesse und Zusammenhänge werden aufgezeigt und theoriebezogene Hypothesen überprüft.

(d) Auswertung/Synthese der erarbeiteten Grundlagen:

- Auswertung/Synthese der Modellrechnung sowie der Bodeneigenschaftskarte.
- Möglichkeiten der Weiterentwicklung sowie der Verbesserung und Einordnung/Betrachtung der Methode im globalen Kontext.

2 Theorie

2.1 Zur Entstehung von Böden

2.1.1 Einleitung

Hauptliteraturquelle: SCHEFFER, SCHACHTSCHABEL 1998: 1, 373.

Ein Boden ist ein Naturkörper, bei dem ein Gestein an der Erdoberfläche unter einem bestimmten Klima, einer bestimmten streuliefernden Vegetation und Population von Bodenorganismen durch bodenbildende Prozesse (Verwitterung und Mineralbildung, Zersetzung und Humifizierung, Gefügebildung und verschiedenen Stoffumlagerungen) umgeformt wird.

Diese Bodenentwicklung beginnt in der Regel an der Oberfläche eines Gesteins und schreitet im Laufe der Zeit zur Tiefe fort, wobei Lagen entstehen, die sich in ihren Eigenschaften unterscheiden und als Bodenhorizonte bezeichnet werden. Die Bodenhorizonte sind in ihren Eigenschaften oben streuähnlich (bes. die organischen Auflagehorizonte) und werden nach unten als Mineralbodenhorizonte zunehmend gesteinsähnlich.

Die Entwicklung vom undifferenzierten Gestein zum oft stark gegliederten Boden kann in verschiedenen Positionen einer Landschaft bzw. in verschiedenen Regionen der Erde einen sehr unterschiedlichen Verlauf nehmen: Sie ist abhängig von der an einem Ort oder in einem Gebiet herrschenden Konstellationen an Faktoren der Bodenentwicklung.

Diese Faktoren beeinflussen sich dabei wechselseitig, was in der Summe Ausmass und Richtung ihres Wirkens bestimmt. Vielfach befinden sie sich aber auch mit dem Boden selbst in Wechselwirkung, was insbesondere für Flora und Fauna gilt. Das Klima ist am unabhängigsten, wirkt auf den Boden aber auch in einer durch Relief und Vegetation modifizierten Form ein.

2.1.2 Faktoren der Bodenentwicklung

Hauptliteraturquelle: SCHEFFER, SCHACHTSCHABEL 1998: 104ff, 373ff.

Faktoren der Entwicklung eines Bodens sind (a) das Klima, (b) das Ausgangsgestein, (c) die Schwerkraft und das Relief, (d) Wasser, (e) Flora und Fauna sowie (f) die Zeit. Jedoch auch (g) die menschliche Tätigkeit wirkt zunehmend auf die Böden ein.

- (a): Klima

Die Sonnenenergie ist die mächtigste Triebkraft der Bodenentwicklung. Sie wirkt einerseits unmittelbar als Sonnenstrahlung und diffuse Himmelsstrahlung, andererseits über verschiedene Faktoren des Klimas (wie Niederschlag, Lufttemperatur, Luftfeuchtigkeit, Wind) und vor allem über die Lebewelt auf den Boden ein. Die bei der Bodenentwicklung wirksame Energie ergibt sich im wesentlichen aus der Strahlungsbilanz (d. h. der

Differenz ein- und ausgestrahlter Sonnenenergie). Demgegenüber tritt die Innenwärme der Erde in ihrer Bedeutung zurück.

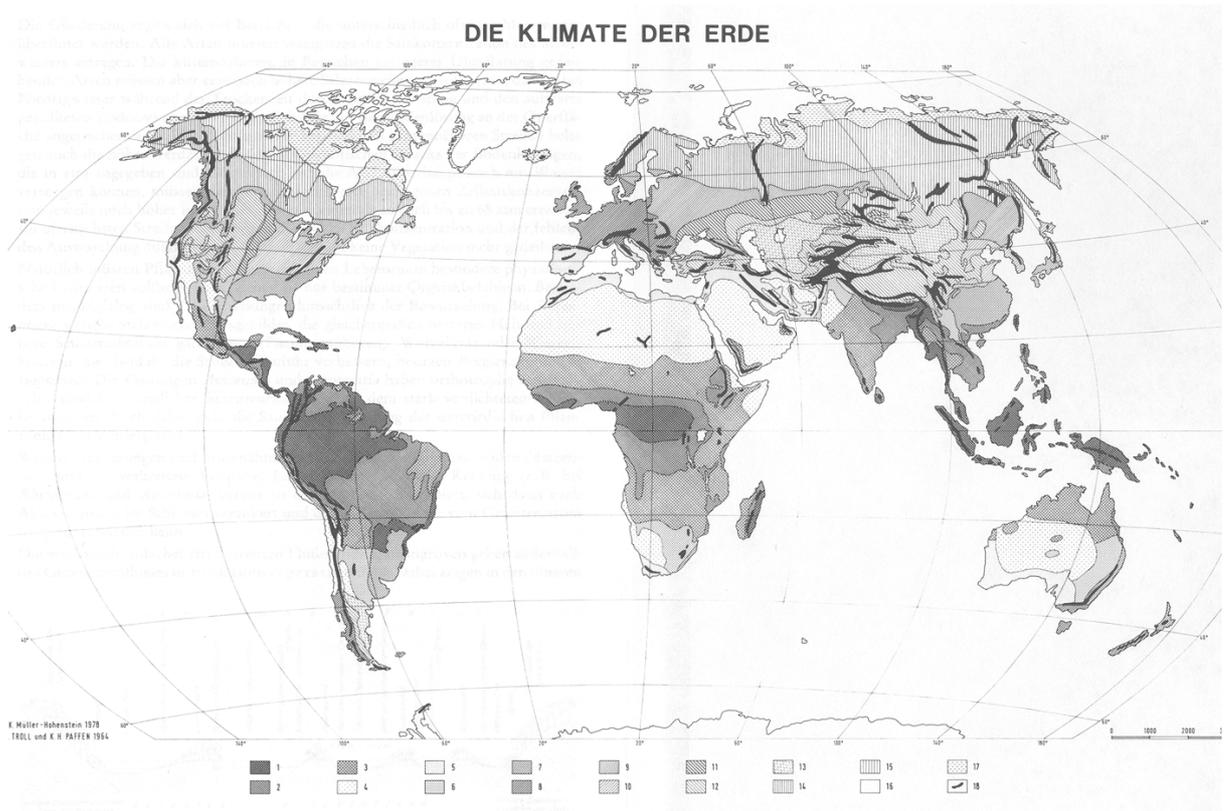
Die von der Strahlungsbilanz abhängige Bodentemperatur wirkt direkt auf die Prozesse der Zersetzung, Verwitterung und Mineralbildung. Zersetzung und chemische Verwitterung werden durch steigende Temperaturen beträchtlich intensiviert. Dadurch, dass die Temperatur auch auf die Vegetation wirkt, beeinflusst sie die Produktion der Streu, das Ausgangsmaterial der Humusbildung.

Durch Niederschläge wird das Bodenwasser ergänzt, womit Lösungs-, Umlagerungs- und Verlagerungsvorgänge ermöglicht werden. Auf die Bodenentwicklung wirkt sich vor allem jener Anteil der Niederschläge aus, der als Sickerwasser das Solum passiert und dabei Lösungsprodukte abführt.

Oft dominiert das Klima die Pedogenese so stark, dass alle anderen Faktoren der Bodenentwicklung zurücktreten und sogar der Einfluss des Ausgangsgesteins überdeckt wird. Sichtbar wird das bei einem Vergleich von Böden gleichen Gesteins und Reliefs, aber unterschiedlicher Klimate. So wurden zum Beispiel bei Lössböden um so höhere Tongehalte und Austauschkapazitäten festgestellt, je höher die Niederschläge waren (bei gleicher mittlerer Jahrestemperatur) (JENNY, LEONHARD 1984).

Starkregen und Schneeschmelze verursachen an Hängen Bodenerosion. Wind erhöht die Verdunstung und kann bei Trockenheit, besonders auf vegetationsfreien Flächen, ebenfalls Erosion verursachen. Weitere Klimafaktoren wie Bewölkung und Luftfeuchtigkeit haben für die Bodenentwicklung überwiegend dadurch Bedeutung, dass sie die Strahlung bzw. die Verdunstung verändern.

Die Bedeutung des Klimas wird besonders darin deutlich, dass die wichtigsten Bodenzonen der Erde weitgehend den Klimazonen entsprechen (Verg. Abb. 2.1 und Abb. 2.2).



Faltkarte 1 Klimate der Erde

Tropische Klimate:

- 1 Immerfeuchte Regenwaldklimate ohne ausgeprägte Trockenheit
- 2 Feuchtsavannenklimate mit vorwiegend winterlicher Trockenzeit von 2½ bis 5 Monaten
- 3 Wechselfeuchte Trocken- und Dornsavannenklimate mit vorwiegend winterlicher Trockenzeit von 5 bis 10 Monaten

Subtropische Klimate:

- 4 Subtropische und tropische Halbwüsten- und Wüstenklimate
- 5 Mediterrane Winterregenklimate und winterfeuchte Steppenklimate
- 6 Sommerfeuchte Steppenklimate
- 7 Ständig feuchte Grasland- und Waldklimate

Kühlgemäßigte Klimate:

- 8 Ozeanische und Übergangs-Waldklimate mit kühlen Wintern und jährlicher Schwankung bis max. 25°C
- 9 Kontinentale und hochkontinentale Waldklimate mit kalten Wintern und jährlicher Schwankung über 20°C
- 10 Sommerwarme Waldklimate
- 11 Feuchtsteppenklimate (über 5 Monate feucht)
- 12 Trockensteppenklimate (weniger als 6 Monate feucht)
- 13 Halbwüsten- und Wüstenklimate

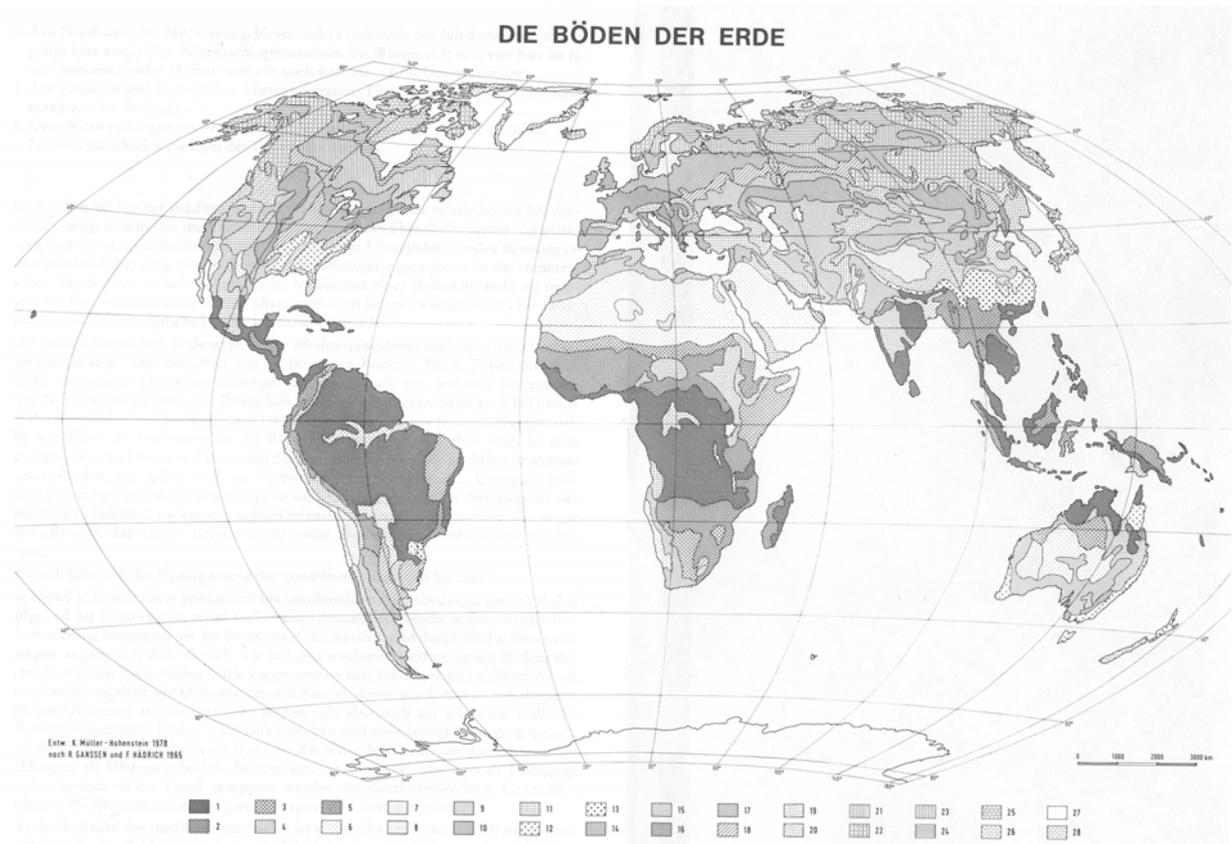
Kaltgemäßigte Klimate:

- 14 Borealklimate mit schneereichen Wintern und jährlicher Schwankung bis 40°C
- 15 Extrem kontinentale Borealklimate mit trockenen Wintern und jährlicher Schwankung über 40°C

Polare und subpolare Klimate:

- 16 Polare Klimate
- 17 Subpolare Tundren- und Graslandklimate
- 18 Gebirgsklimate (je nach Klimazone und Höhe über NN. gestuft)

Abb. 2.1: Die Klimate der Erde (aus MÜLLER-HOHENSTEIN 1981: 64, Faltkarte 1)



Faltkarte 3 Böden der Erde

- 1 Lateritische Böden der Tropen (Latosole, Kaolisole, ferralitische Böden u. a. m.)
- 2 Rotbraune und rote Böden der Trockensavannen und Trockenwälder und lateritische Böden
- 3 Braune, rotbraune und rote Böden der Dorn- und Trockensavannen
- 4 Dunkle schwere Böden der wechselfeuchten Tropen und Subtropen (Vertisole)
- 5 Gebirgsböden der humiden und subhumiden Tropen
- 6 Rand- und Vollwüstenböden einschließlich Dünen und Flugsandfelder
- 7 Gebirgs- und Hochgebirgswüstenböden
- 8 Rote und braune „hardpan soils“ der Halbwüsten Australiens
- 9 Graue und braune Halbwüstenböden (Seroseme, Buroseme) und graubraune Böden der kühlgemäßigten Wüsten
- 10 Braune und rote mediterrane Böden
- 11 Braune mediterrane Gebirgsböden und Gebirgshalbwüstenböden
- 12 „Red and yellow podsollic soils“ der subtropischen Feuchtwälder
- 13 „Red and yellow podsollic soils“ der Gebirge
- 14 Kastanienfarbene Böden der Trockensteppen
- 15 Tschernoseme der Steppen
- 16 Braunerden und Parabraunerden (Lessivés)
- 17 Rasenpodsolböden (Eurasien), „Gray-brown podsollic soils“ (Nordamerika) und Parabraunerden
- 18 Graue Waldböden, rötliche Prairieböden und tschernošemartige Böden
- 19 Gebirgsbraunerden und Gebirgspodsolböden
- 20 Graue Gebirgswaldböden und Gebirgssteppenböden
- 21 Podsolböden und nicht podsoliierte Frost-Taigaböden
- 22 Gebirgstundra- und Gebirgspodsolböden
- 23 Podsol- und Moorböden
- 24 Gley-Podsole und Moor-Podsolböden
- 25 Tundragleyböden
- 26 Frostschutt und Frostmusterböden
- 27 Inlandeis und Gletscher
- 28 Mineralische und hydromorphe Böden

Abb. 2.2: Die Böden der Erde (aus MÜLLER-HOHENSTEIN 1981: 128, Faltkarte 3)

- (b): Ausgangsgestein

Das Gestein ist das mineralische Substrat bzw. das Ausgangsmaterial der Bodenbildung. Es hat die Minerale des Bodens teils direkt geliefert, teils sind sie aus deren Lösungsprodukten entstanden. In jungen Böden ist demzufolge der Mineralbestand dem des Ausgangsgesteins sehr ähnlich. In stärker entwickelten, älteren Böden gilt das nur noch für die schwerer verwitterbaren Minerale.

Richtung und Intensität der Bodenentwicklung hängen stark von Gefüge, Mineralbestand und Körnung ab. Böden aus Lockersedimenten sind meist wesentlich tiefgründiger entwickelt als benachbarte Böden aus Festgestein.

Viele Böden versauern im Laufe der Pedogenese, weil ihnen mehr Protonen zugeführt werden als sie neutralisieren, d. h. abpuffern können. Weist der Mineralbestand des Gesteins jedoch viele leicht verwitterbare Minerale auf, werden Versauerung und Entbasung und damit die Tiefenentwicklung des Bodens verzögert. Das gilt besonders bei höherem Carbonatgehalt, weil Silicate erst dann stärker verwittern, wenn die Carbonate ausgewaschen sind und der pH-Wert sinkt.

Nicht immer hat sich ein Boden aus dem gleichen Gestein gebildet, das unter ihm ansteht. Häufiger war das Ausgangsmaterial primär geschichtet (z. B. viele Wassersedimente) oder der Boden entwickelte sich aus einer jüngeren Sedimentdecke (z. B. Löss, Flugsande), die sich völlig von den Eigenschaften des Liegenden unterscheiden kann. Bei Böden aus solchen Ausgangsgesteinen ist es schwer, zwischen lithogenen und pedogenen Eigenschaften zu unterscheiden und damit die Genese zu rekonstruieren.

- (c): Schwerkraft und Relief

Alle Böden entstehen unter dem Einfluss der Schwerkraft, die zum Beispiel das Bodenwasser mit gelösten Stoffen versickern lässt, tiefere Bodenlagen einer Auflast aussetzt und an Hängen hangparallele Stoffbewegung bewirken kann.

Das Relief, und zwar Höhenlage, Geländeform und Exposition, modifiziert die Bodenentwicklung, indem es die Wirkung von Schwerkraft, Klima, Gestein, Wasser, Lebewesen und letztlich auch die des Menschen verändert.

Über die Höhenlage (Meter über Meer) wirkt das Relief vor allem auf das Klima ein: Mit ansteigender Höhe gehen im Gebirge eine abnehmende Temperatur und zunehmende Durchfeuchtung der Böden einher. Das ergibt eine Höhenzonalität einzelner Bodeneigenschaften und ganzer Bodentypen (Verg. Abb. 2.3).

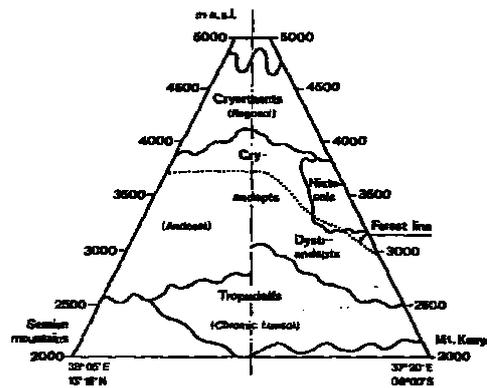


Abb. 2.3: Verbreitung der Bodentypen nach Höhenstufen in ostafrikanischen Gebirgen. Mt. Kenya und Semien, Äthiopien (FREI 1978 in FREI, PEYER 1991: 98, Abb. 118)

Als Geländeformen lassen sich beim Makrorelief Ebenen, Kulminationsbereiche von Erhebungen (Rücken, Hügel, Berge), Hohlformen (Mulden, Täler) und Hänge mit ihren verschiedenen Bereichen (Ober-, Mittel-, Unterhang) und Profilen (konvex, konkav, gestreckt) unterscheiden. Als Mikrorelief ergeben sich dann weitere Formen, die als rillig, dellig, höckerig, kesselig, stufig, zerschnitten, glatt und eben beschrieben werden und zu denen auch Sonderformen wie natürliche und künstliche Wälle, Felsdurchragungen, Klippen und Dolinen gehören. Die Reliefeinheiten lassen sich mit Länge, Breite und Neigung (Inklination) beschreiben. Ausserdem ist die Ausrichtung eines Hanges zur Himmelsrichtung (Exposition) von Bedeutung; hier ist vor allem zwischen Sonn- und Schatthängen zu unterscheiden.

In Abhängigkeit von Inklination und Exposition kann sich unter Umständen ein örtliches Kleinklima einstellen, dass die Bedeutung des Grossklimas (Verg. Kap. 2.1.2: (a) Klima, S. 9) auf die Bodenentwicklung zu überdecken vermag (z. B. Schatt- und Sonnhänge).

- (d): Wasser

Auf die Entwicklung bestimmter Böden wirken neben dem Niederschlagswasser auch Grundwasser oder fliessende und stehende Gewässer ein. Oberflächennahes Grundwasser modifiziert die Vegetation mit Folgen für die Zersetzbarkeit der Streu. Hochanstehendes Grundwasser verdrängt die Bodenluft und induziert damit anaerobe Verhältnisse, die die mikrobielle Zersetzung hemmen, so dass Anmoore und Moore entstehen können (Abb. 2.4).

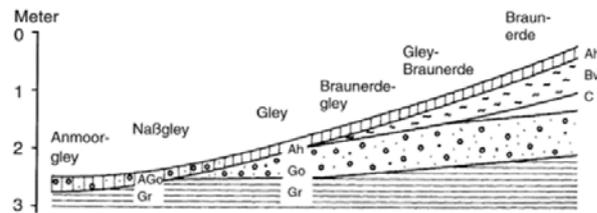


Abb. 2.4: Bodengesellschaft in Abhängigkeit vom Grundwasser (Schema stark überhöht) (aus SCHEFFER, SCHACHTSCHABEL 1998: 378, Abb. 8.1-3)

Das Wasser von Flüssen, Seen oder Meeren befindet sich zwischen subhydrischen Böden (Unterwasserböden) und Atmosphäre und schirmt jene damit vor dem Einfluss der Atmosphäre weitgehend ab, was zum Beispiel einen ausgeglichenen Wärmehaushalt bewirkt, vor allem aber den Gasaustausch hemmt. Dies wiederum hemmt den Abbau organischer Substanz.

Gewässer überfluten häufig periodisch den nahen Uferbereich, das heißt die Auenböden. Ihr Wasser führt gelöste Stoffe zu, lagert klastische Sedimente ab, oder erodiert diese. Durch solche Vorgänge kann die Bodenentwicklung verzögert und zum Teil auch rückgängig gemacht werden.

- (e): Fauna und Flora

Der Boden bildet mit Fauna und Flora ein Wirkungsgefüge, ein Ökosystem, dessen Entwicklung von den bisher genannten Faktoren als Ganzes beeinflusst wird. Die Lebewelt ist somit kein selbständiger, unabhängig wirkender Faktor. Im folgenden werden daher nur die Wechselwirkungen zwischen ihr und dem Boden behandelt.

Für die Bodenentwicklung ist zunächst entscheidend, dass vor allem die Vegetation mit der Streu das organische Ausgangsmaterial eines Bodens liefert, das von Bodentieren und Mikroorganismen in Huminstoffe umgewandelt wird. Menge und Zusammensetzung der Streu sind je nach Pflanzengesellschaft verschieden, und zwar in Abhängigkeit von den Klima- und Bodenverhältnissen. Die Vegetation entzieht dem Boden Wasser und verlangsamt damit Verlagerungsvorgänge. Gleichzeitig werden Nährstoffe über Wurzel Aufnahme und Streurückgabe aus dem Unter- in den Oberboden umgelagert.

Die Vegetationsdecke wirkt wie ein Schutzmantel für den Boden. Die Pflanzen mildern zum Beispiel den Aufprall der Regentropfen und speichern einen Teil des Niederschlags im Blattwerk. Dieser Umstand vermindert oder verhindert Bodenerosion sowie der Aggregatezerfall und das Dichtsclämmen.

Aus der „Global Assessment of Soil Degradation (GLASOD)“ Karte geht hervor, dass die Hälfte aller Degradationsvorgänge auf über 200 Mio. ha degradiertem Land in Afrika eine Folge von Überweidung sind. Eine permanente Vegetationsdecke ist somit der entscheidende Faktor zur Verbesserung von (a) der Bodenstruktur, (b) Infiltrationsraten, (c) der Primärproduktion, (d) der Verminderung von Oberflächenabfluss und Gullyerosion auf semiariden wie ariden Weideflächen in Afrika. Dabei kann der Mangel an einer Vegetationsdecke als Resultat wie auch als Grund für die Degradation gesehen werden (LINIGER et al. 1998c).

Abb. 2.5 illustriert den gefährlichen Kreislauf von Degradation bewirkt durch die Überweidung.



Fig. 1: Effect of grazing pressure on grass cover and land degradation for the same natural environment (same land form, geology, climate) in Mukogodo, Kenya: (a) With little grazing: good perennial grass cover; (b) Under heavy grazing: perennial grasses disappear and between the remaining grasses the soil is bare and erosion starts; (c) Under continued heavy grazing: perennial grasses that are not protected by trees / bushes disappear, topsoil is eroded and the surface has a crust; water cannot infiltrate and thus there is no production: Under trees the soil is protected, and there is no surface crusting, resulting in higher infiltration, less evaporation and thus higher grass production; (d) Even though bush cover is still considerable, deep gullies develop in the lower parts of slopes where perennial grasses disappeared, where the energy of surface runoff is strong enough to cut through the crust and remove the subsoil.

Abb. 2.5: Effect of grazing pressure on grass cover and land degradation for the same natural environment (same land form, geology, climate) in Mukogodo, Kenya (aus LINIGER et al. 1998c: 1168, Fig. 1)

Abb. 2.6 zeigt den Effekt einer Vegetationsdecke auf den Oberflächenabfluss sowie den Bodenverlust auf.

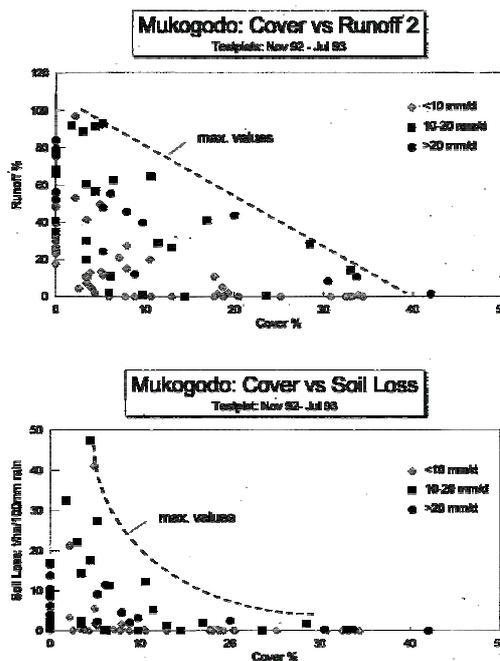


Abb. 2.6: Effect of land-use/cover on runoff and soil loss from small plots (aus Mutunga et al. forthcoming)

Dabei stellt die Gerade in der oberen Abbildung den maximalen Abfluss in Prozenten dar. Bei einer Krautschicht unter 5 % können bis zu 90 % der Niederschläge abfließen. Im Vergleich dazu reduziert bereits 40 % Krautdecke den Abfluss auf Null. Für den Aspekt des Bodenverlustes ist die Vegetationsdecke noch entscheidender (Verg. Abb. 2.6 unten) (LINIGER et al. 1998c).

Wurzeln und Mikroorganismen scheiden organische Säuren und Komplexbildner aus, die an Verwitterungs- und Verlagerungsvorgängen erheblich beteiligt sind.

Bodentiere und Mikroorganismen wirken an der Schaffung stabiler Aggregate mit, was Verlagerungsvorgängen vorbeugt. Wühlende Bodentiere wie Regenwürmer und Nagetiere mischen Bodenmaterial und lagern es um.

- (f): Zeit

Die Zeit, welche das Ausgangsgestein den übrigen Bodenbildungsfaktoren ausgesetzt ist, beeinflusst den Grad der Bodenbildung. Der Faktor Zeit wird implizit berücksichtigt, wenn von Prozessen gesprochen wird. Denn die Beschreibung von Prozessen beinhaltet stets Aspekte von Raten und Geschwindigkeiten (GERMANN, SCHICHLER 1999).

Prozesse können kontinuierlich oder episodisch ablaufen. Bei den Bodenbildungsprozessen handelt es sich meist um episodische Abläufe. Je nach Fragestellung ist der entsprechende Zeitabschnitt der Beobachtung zu wählen (GERMANN, SCHICHLER 1999).

Häufig sind wir jedoch an der Bilanz von Prozessen interessiert. So ist zum Beispiel der Humusanteil im obersten Bodenhorizont die Differenz zwischen zahlreichen Aufbau- und Abbauprozessen. Ein Teil der organischen Substanz kann in einem Boden praktisch sofort umgesetzt werden, andere schwerabbaubare Stoffe, die sich zu Dauerhumus entwickeln, können Jahrhunderte bis Jahrtausende im Boden verweilen. Zu jedem Zeitpunkt trifft man also nur die Differenz von Auf- und Abbau an, gewissermaßen die momentanen Rückstände (GERMANN, SCHICHLER 1999).

- (g): menschliche Tätigkeit

Der Mensch wirkt bei der Bodennutzung direkt auf die Böden ein: (a) durch Kulturmassnahmen, wobei die Bodenentwicklung gehemmt oder beschleunigt oder sogar in eine neue Richtung gelenkt wird; (b) durch Baumassnahmen, wodurch die Bodenentwicklung meist abgebrochen wird. Indirekter Einfluss auf die Böden findet über Veränderungen des Klimas, Reliefs, Gesteins oder der Vegetation, des Grund- oder Gewässerwassers statt.

2.2 Die Bodenarchitektur

Das Material, aus dem die feste Phase des Bodens besteht, liegt an der Oberfläche der Lithosphäre gewöhnlich nicht als Kontinuum vor, sondern ist körnig. Das gilt nicht nur für die anorganische Komponente, die aus Gesteinsbruchstücken oder Mineralpartikeln besteht, sondern auch für die organische Komponente, die fast ausschliesslich aus mehr oder weniger zerbrochenen und zersetzten Pflanzenteilen besteht, oder auf sie zurückgeht (SCHEFFER, SCHACHTSCHABEL 1998).

Die Körnigkeit und die durch die Lagerung dieser Körner gegebene Porosität sind die Voraussetzungen dafür, dass in einem Bodenvolumen Platz für Wasser und Luft sowie für Wurzeln und Bodentiere vorhanden ist. Daher beeinflussen diese Bodeneigenschaften nicht nur alle Lebensvorgänge im Boden, sondern darüber hinaus auch Wechselwirkungen zwischen der festen, der flüssigen und der gasförmigen Phase sowie jegliche Transporte und Verlagerungen (SCHEFFER, SCHACHTSCHABEL 1998).

2.2.1 Mineralische Substanz

Hauptliteraturquelle: SCHEFFER, SCHACHTSCHABEL 1998: 5, 135ff, 376.

Die Stellung der Böden im Stoffkreislauf der Lithosphäre zeigt, dass an der Gesteinsbildung eine grosse Zahl von Prozessen in Form eines Kreislaufs beteiligt sind. Beim Abkühlen glutflüssigen Magmas entstehen am Beginn der Lithogenese Gesteine durch Kristallisation. Sie unterliegen weiteren vielfältigen Veränderungen durch die Prozesse Verwitterung, Abtragung, Transport, Ablagerung, Diagenese, Metamorphose und Anatexis, die sich gemäss Abb. 2.7 zu einem Kreislauf zusammenschliessen.

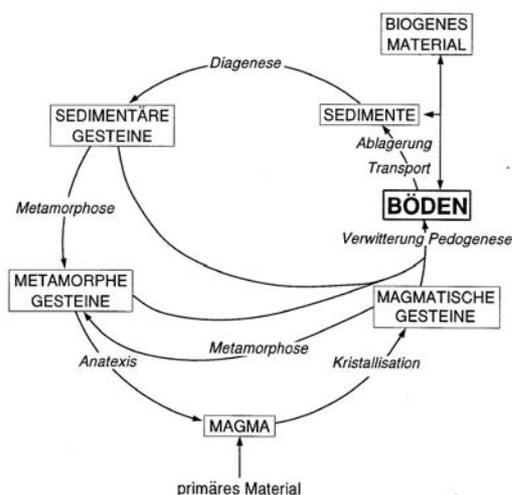


Abb. 2.7: Die Stellung der Böden im Kreislauf der Lithosphäre (SCHEFFER, SCHACHTSCHABEL 1998: 5, Abb. 2.1-1)

Wenn festes Gestein veränderten Umweltbedingungen ausgesetzt wird, verändern sich auch die internen Spannungsbedingungen und es kommt zu Entlastungsbrüchen sowie der Ausbildung eines Kluftnetzes. Eine ursprünglich als Kontinuum zutage getretene Gesteinsmasse liegt dann bald als Ansammlung von Bruchstücken bzw. Körnern vor. Im weiteren Verlauf der physikalischen Verwitterung werden die Gesteinsbruchstücke weiter zerkleinert und sortiert. Neben Bruchstücken und Abbauprodukten treten in Böden auch Neubildungen auf.

Wie bereits erwähnt, hat sich ein Boden nicht immer aus dem gleichen Gestein gebildet, das unter ihm ansteht. Aus diesem Grund bezeichnet man das geologische Substrat, aus dem durch Verwitterung der mineralische Teil des Bodens entstanden ist, als Muttergestein oder Muttermaterial.

Frei nebeneinander liegende Teilchen werden unter dem Begriff Primärpartikel zusammengefasst. Aggregate, das heisst aus aneinanderhängenden Primärteilchen zusammengesetzte Körper, kommen in allen Grössenordnungen vor und weisen unterschiedliche Festigkeiten auf.

Für die Bodenentwicklung und -nutzung sind Teilchen mit Durchmesser < 2 mm von besonderer Bedeutung, weil zwischen ihnen erhebliche Wassermengen gegen die Schwerkraft festgehalten werden können, die dann den Luftinhalt verdrängen. Ausserdem ist das Ausmass von Adsorptions- und Austauschvorgängen von der je Masseinheit verfügbaren Mineraloberfläche abhängig und die nimmt mit abnehmender Korngrösse zu.

Sowohl bei der Zerkleinerung grober Bruchstücke als auch beim Wachsen von Neubildungen ist die Skala der auftretenden Grössen sehr breit. Für die Einteilung der Primärteilchen wird meistens die Grösse, dargestellt durch den Äquivalentdurchmesser, herangezogen. Bei der Einteilung der Äquivalentdurchmesser in Fraktionen wird in der Regel ein logarithmischer Massstab angelegt. Zuerst trennt man das Bodenskelett mit Durchmesser > 2 mm vom Feinboden mit Durchmesser < 2 mm.

Die weitere Einteilung der Feinbodenfraktionen Sand, Schluff und Ton: Sand (2 mm – 63 μm), Schluff (63 μm – 2.0 μm) und Ton (< 2.0 μm). Die Bezeichnung für eine bestimmte Bodentextur ergibt sich aus dem Mischungsverhältnis der drei Feinbodenfraktionen. Sie kann aus dem System der Dreieckskoordinaten in Abb. 2.8 herausgelesen werden (GERMANN, SCHICHLER 1999).

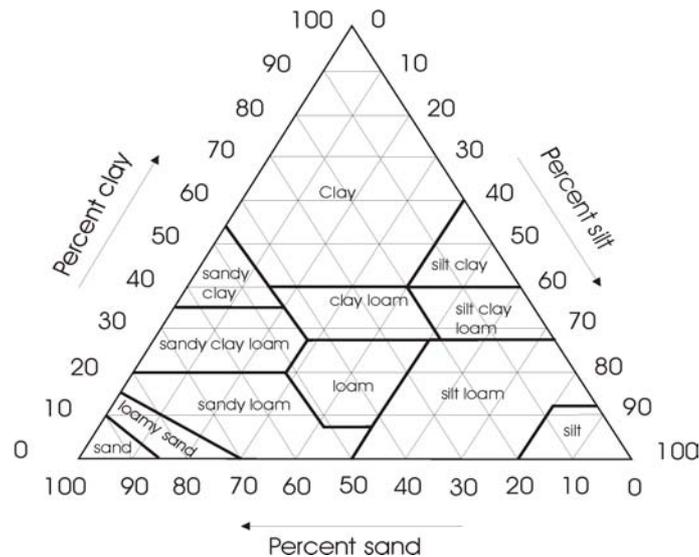


Abb. 2.8: Bodenarten des Feinbodens nach der US-Soil-Taxonomy (nach Soil Science Society of America; <http://www.soils.org>)

Die Körner (Primärteilchen) der anorganischen Komponente bestimmen in der Regel den Charakter eines Bodens. Nur bei hohen Anteilen an organischer Substanz, wie sie z. B. Anmoore oder Moore aufweisen, überdeckt deren Eigenschaft den Charakter der Körnung (Textur).

Die Tonminerale nehmen im Boden eine ganz besondere Stellung ein. Sie bilden eine wichtige Grundlage für die chemischen, physikalischen und biologischen Eigenschaften eines Bodens, da sie an ihren Oberflächen Ionen, vor allem Kationen, austauschen können. So werden an ihnen die für Pflanzen lebenswichtigen Kationen K^+ , Na^+ , Ca^{2+} und Mg^{2+} sorbiert und über das Bodenwasser an die Pflanzenwurzeln abgegeben. Weiter sind noch folgenden Bodeneigenschaften mit dem Tongehalt korreliert: Durchlässigkeit für Wasser und Luft, Bindigkeit, Fähigkeit zur Wasserspeicherung und die Stabilität der Bodenstruktur.

2.2.2 Organische Substanz

Hauptliteraturquelle: SCHEFFER, SCHACHTSCHABEL 1998: 45f, 64.

Zur organischen Substanz der Böden gehören alle in und auf dem Mineralboden befindlichen abgestorbenen pflanzlichen und tierischen Stoffe und deren organische Umwandlungsprodukte. Auch die durch menschliche Tätigkeit eingebrachten, zum Teil synthetischen organischen Stoffe (z. B. Pestizide, organische Abfälle), werden zweckmässigerweise dazu gerechnet. Die lebenden Organismen, sowie lebende Wurzeln zählen nicht zur organischen Substanz der Böden.

Als organische Ausgangsstoffe gelten somit (a) die von grünen Pflanzen durch Photosynthese produzierte oberirdische Biomasse (Blätter, Nadeln, Zweige, Samen), die nach dem Absterben als Streu auf den Boden fällt, (b) abgestorbene Wurzeln, (c) organische Ausscheidungsprodukte der Wurzeln und Mikroorganismen und (d) abgestorbene Bodentiere und Mikroorganismen. Die Entfernung der Vegetation würde somit eine drastische Abnahme der organischen Bodensubstanz bewirken (Abb. 2.9) (FREY, PEYER 1991).

In landwirtschaftlich genutzten Böden werden neben eingepflügten Ernterückständen organische Stoffe auch durch Düngung und Abfallbeseitigung (z. B. Gülle, Kompost, Klärschlamm) zugeführt.

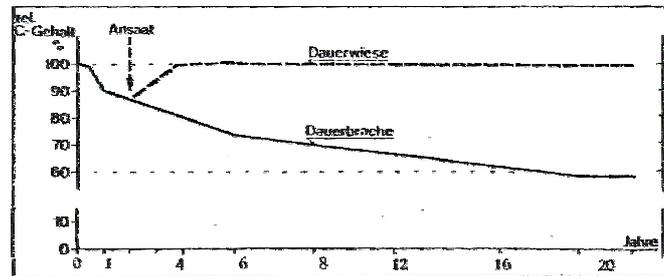


Abb. 2.9: Der Humusumsatz im Boden führt zu einem Gleichgewicht. Wird die Vegetation entfernt, sinkt der Humusgehalt, wird sie installiert, steigt er (aus FREI 1971)

Nach dem Grad ihrer Umwandlung unterteilt man die organische Substanz des Bodens in Streu- und Huminstoffe.

Die Streustoffe sind nicht oder nur schwach umgewandelt und die Gewebestrukturen sind grossteils noch makroskopisch erkennbar. In den meisten Fällen setzen sie sich aus oberirdisch abgestorbenen Pflanzenresten sowie toten Wurzeln und Bodenorganismen und deren Bestandteilen zusammen. Diese oft auch als Nichthuminstoffe bezeichneten Substanzen enthalten im wesentlichen Lipide, Proteine, Polysaccharide und Lignin. Ihre Verweilzeit im Boden ist kurz.

Die Huminstoffe dagegen sind stark umgewandelte, hochmolekulare Substanzen ohne makroskopisch erkennbare Gewebestrukturen. Sie sind gegen Mineralisierung stabilisiert, das heisst sie haben eine niedrige Umsatzrate bzw. hohe Verweilzeit im Boden.

Neben festen organischen Substanzen treten im Bodenwasser gelöste organische Substanzen auf, die als dissolved organic matter (DOM = dissolved organic matter) bezeichnet werden.

Der Gehalt an organischer Substanz (bzw. der Humusgehalt) der einzelnen Horizonte eines Bodens und deren mittlere Gehalt verschiedener Böden variieren in weiten Grenzen und unterliegen ausserdem einem jahreszeitlichen Rhythmus. Auflagehorizonte haben im allgemeinen Gehalte an organischer Substanz nahe 100 %, während Ah-Horizonte von Wald- und Ackerböden nur wenige Prozent (1,5...4 %) enthalten. Höhere Gehalte findet man im obersten Horizont von Böden unter Dauergrünland (bis ~ 15 %). In redoximorphen Böden kommen, aufgrund der durch die Wassersättigung resultierenden anaeroben Bedingungen, besonders hohe Humusgehalte vor, so zum Beispiel in Anmoorgleyen, in Niedermooren und in Hochmooren.

Unter der Dynamik der organischen Substanz ist die quantitative Veränderung des Gehaltes an organischer Substanz über die Zeit zu verstehen. Quantitative Veränderungen werden durch das Verhältnis von Zufuhr und Abfuhr sowie den Abbau der organischen Substanz bestimmt (Abb. 2.10).

Gleichgewicht:	$Input C_{org} = Output C_{org} \rightarrow \frac{\Delta C_{org}}{\Delta t} = 0$
Akkumulation:	$Input C_{org} > Output C_{org} \rightarrow \frac{\Delta C_{org}}{\Delta t} > 0$
Schwund:	$Input C_{org} < Output C_{org} \rightarrow \frac{\Delta C_{org}}{\Delta t} < 0$

Abb. 2.10: Dynamik der organischen Substanz

Das zu jedem Zeitpunkt festgestellte organische Material ist das Resultat von der Summe der Zufuhr an C_{org} (durch Pflanzenreste und allenfalls Mist durch Tiere und Kompost durch den Menschen) minus der Summe des Abbaus von C_{org} durch Mikroorganismen, wie Pilze und Bakterien, sowie die Meso- und Makrofauna. „Gleichgewicht“ herrscht dann, wenn die Differenz aus Zufuhr minus Abbau über eine Zeitspanne gleich Null ist.

Die quantitative Bestimmung der organischen Substanz kann auf verschiedene Weise erfolgen. Durch (a) trockene Veraschung, (b) nasse Veraschung und (c) bei Böden mit über 80 % Sandanteil durch die Bestimmung des Glühverlustes bei 400 °C.

- (a): trockene Veraschung

„Oxidation durch Verbrennung in Sauerstoff und Bestimmung des dabei gebildeten CO_2 . Bei carbonathaltigen Böden muss bei Temperaturen über 900 °C das durch thermische Dissoziation der Carbonate freigesetzte CO_2 abgezogen werden.“ (SCHEFFER,SCHACHTSCHABEL 1998: 64)

- (b): nasse Veraschung

„Oxidation der organischen Substanz durch Cr(VI) (Dichromat) in schwefelsaurer Lösung und photometrische Bestimmung des gebildeten Cr(III). Alternativ kann auch das nicht verbrauchte Cr(VI) oder das bei der Oxidation entstandene CO_2 bestimmt werden.“ (SCHEFFER,SCHACHTSCHABEL 1998: 64)

Mit Methode (a) wird der C-Gehalt bestimmt; der Humusgehalt wird daraus durch Multiplikation mit 2.00 berechnet. Unter tropischen Bedingungen wird jedoch der Faktor 1.72 verwendet (LANDON 1991). Dieser Faktor ergibt sich aus einem angenommenen mittleren C-Gehalt der organischen Substanz von 58 %.

Zur Beurteilung des Humus können das C/N-Verhältnis und die Kationenaustauschkapazität (KAKpot) der organischen Substanz herangezogen werden.

2.3 Konzept der Bodenfruchtbarkeit

Einführend zur Diskussion über die Bodenfruchtbarkeit muss an dieser Stelle auf die Kontroverse zwischen den Begriffen Fruchtbarkeit und Ertragsfähigkeit hingewiesen werden. Aus der Sicht der Landwirtschaft werden diese praktisch gleichgesetzt. Bodenschützer unterscheiden sie aber vehement. Die Fruchtbarkeit eines Bodens ermöglicht das Wachstum von gesunden Pflanzen, insbesondere jener Arten, die natürlicherweise auf ihm vorkommen (würden). Mit der Ertragsfähigkeit eines Bodens wird der Ertrag von bestimmten Ackerpflanzen ausgedrückt (GERMANN, SCHICHLER 1999). Sie kann sich somit auf wenige Produkte beschränken. So weist ein Rebberg eine hohe Ertragsfähigkeit auf, der Boden ist aber kaum mehr fruchtbar. Des weitern wird zwischen der natürlichen und der erworbenen Ertragsfähigkeit unterschieden. Dabei ist die natürliche Ertragsfähigkeit jene, die vom Nutzer nicht beeinflusst wird. Die erworbene Ertragsfähigkeit gibt die Bemühungen des Landwirtes an. Zum Beispiel nimmt mit der konsequenten Erhöhung des Humusgehaltes auch der Kartoffelertrag zu. Der Boden besitzt dann nach einer bestimmten Behandlungszeit eine für Kartoffeln erhöhte erworbene Ertragsfähigkeit (GERMANN, SCHICHLER 1999).

Ein fruchtbarer Boden gewährleistet den Pflanzenwurzeln eine ausreichende Verankerung, Wärme und eine gleichbleibende harmonische Versorgung mit Wasser, Sauerstoff und Nährstoffen, ohne das Stoffe, die das Wachstum hemmen können, in toxischen Konzentrationen auftreten (SCHEFFER, SCHACHTSCHABEL 1998). Die Bodenfruchtbarkeit bleibt, obwohl der Boden tausendfach bebaut und abgeerntet wird. Der Boden vermag sich selbst zu regenerieren. Mangelnde Nährstoffe werden aus der mineralischen Reserve nachgeliefert oder aus dem Kreislauf abgegeben. Natürliche Abfallstoffe werden laufend biologisch zersetzt und in die Bodensubstanz integriert oder im Stoffkreislauf ausgeschieden.

Tab. 2.1 gibt eine Zusammenstellung der für die Fruchtbarkeit eines Bodens entscheidenden Bodeneigenschaften.

Bodeneigenschaft	Kennzeichen eines fruchtbaren Bodens
1. Bodentiefe	Grosse Profiltiefe; somit ausreichende Wurzelzone und grosses Bodenvolumen für Nährstoffaufnahme.
2a. Körnung (Textur)	Mittlere Körnung und gute Struktur als wichtige Faktoren für günstige Porenverteilung bestimmen Durchwurzelbarkeit, Wasserdurchlässigkeit und –speicherung sowie Durchlüftung; wichtig ferner für Transformationsvermögen; Textur auch Mass für Nährstoffreserven.
2b. Gefüge (Struktur)	
3. Bodenreaktion	Optimaler pH-Wert als Indikator guten Kalkzustandes; damit Einfluss auf Struktur des Bodens und Verfügbarkeit vieler Nährstoffe.
4. Nährstoffgehalt	Hoher Gehalt an Nährstoffreserven und optimaler Gehalt an mobilen Nährstoffen bedingen gute Versorgung der Pflanze mit verfügbaren Nährstoffen.
5. Humusgehalt und –zusammensetzung	Relativ hoher Gehalt an nährelementreichen, sorptionsstarken Humusstoffen hat günstigen Einfluss über Struktur, Sorption, Nährstoffe, Bodenleben.
6. Sorptionseigenschaften	Hohe Sorptionsfähigkeit bedingt starke Speicherung von Nährstoffen in lockerer Bindung: Pufferung gegen Überangebot, Schutz vor Auswaschung.
7. Gehalt an schädlichen Stoffen	Abwesenheit (anorg. und org.) toxischer Stoffe.

Tab. 2.1: Bodeneigenschaften und Bodenfruchtbarkeit (FINCK 1982: 22)

Ernsthaft gestört wird die Bodenfruchtbarkeit durch mechanischen Abtrag, Bodenverdichtung durch Verpressung oder Setzung, dauernde Versiegelung der Bodenoberfläche und durch Zusatz von nicht oder schwer abbaubaren Stoffen, durch welche die biologischen Funktionen im Boden stark gehemmt werden (FREI, PEYER 1991).

Bei der Diskussion über die Bodenfruchtbarkeit nimmt die organische Substanz eine zentrale Rolle ein. Aufgrund dieses Umstandes soll die Bodeneigenschaftskarte der organischen Substanz, Standort- und Flächenaussagen ermöglichen, deren Interpretation eine Aussage über die Bodenfruchtbarkeit sowie mögliche Bearbeitungs- und Anbautechniken ermöglichen.

2.4 Organische Substanz als Indikator der Bodenfruchtbarkeit

Hauptliteraturquelle: SCHEFFER, SCHACHTSCHABEL 1998: 63ff, 383ff.

Die Bedeutung der organischen Substanz für Böden und Pflanzen ist sehr weitläufig und für die Bodenfruchtbarkeit entscheidend. Es wird dabei unterschieden zwischen chemischen und physiologischen, bodenbiologischen und physikalischen Wirkungen.

Jedoch ist für die Fruchtbarkeit eines Bodens nicht nur der Gehalt an organischer Substanz sondern auch die jeweilige Humusform von entscheidender Bedeutung. In Kapitel 2.4.4 wird auf die verschiedenen Formen eingegangen.

2.4.1 Chemische und physiologische Wirkungen

Das Nährstoffreservoir der organischen Substanz ist für das Pflanzenwachstum auf ungedüngten Böden sehr bedeutungsvoll. Die an Humus gebundenen Nährstoffe werden nach mechanischer Zerkleinerung und Primärzersetzung durch die Bodenfauna von den Mikroorganismen in pflanzenverfügbare Form überführt. Je höher die biologische Aktivität in einem Boden ist, umso intensiver erfolgt die Nachlieferung aus dem Humus. Dies gilt vor allem für den Stickstoff, der in den meisten Böden zu über 95 % in organischer Bindung vorliegt. Für die Bindung vieler Nährstoffe ist das Adsorptionsvermögen der Huminstoffe von grosser Bedeutung.

Zusätzlich erhöhen niedermolekulare Huminsäuren die Zellwandpermeabilität in den Pflanzenwurzeln und verbessern zum Beispiel die Nitrataufnahme. Eine erhöhte Verfügbarkeit, verursacht durch Huminstoffe, wurde auch für Phosphor, Kalium und Natrium nachgewiesen, was sich positiv auf den Ertrag auswirkte.

2.4.2 Bodenbiologische Wirkungen

Die organische Substanz ist die Lebensgrundlage der heterotrophen Bodenorganismen, das heisst Organismen, die sich ausschliesslich von organischen Stoffen ernähren (DIERCKE 1997), so dass bei gleichen Umweltfaktoren eine enge Beziehung zwischen Humusgehalt und biologischer Aktivität besteht. Hohe Humusgehalte begünstigen das Wachstum saprophytischer Organismen und unterdrücken dadurch die Entwicklung von Parasiten bzw. verhindern den Übergang von Saprophyten zu parasitärer Ernährung.

2.4.3 Physikalische Wirkungen

Die organische Substanz begünstigt die Bildung und Stabilität eines grobporigen Aggregatgefüges. Langkettige Polysaccharid- und Lipidketten erhöhen die Aggregatstabilität und wirken somit der Erosion entgegen. Humus besitzt darüber hinaus eine hohe Wasserkapazität; er vermag etwa das 3...5fache seines Eigengewichtes an Wasser zu speichern. In Sandböden bestimmt deswegen der Humusgehalt die Feldkapazität.

Die Huminstoffe bewirken die dunkle Farbe im Oberboden und begünstigen damit die Erwärmung der Böden im Frühjahr (längere Vegetationszeit). Die Konsistenzgrenzen der Böden werden durch Humus in Richtung höhere Wassergehalte verschoben, so dass die Bodenbearbeitung in einem grösseren Feuchtebereich ohne Gefügeschäden möglich ist.

2.4.4 Humusformen

Die organische Substanz wird grösstenteils mineralisiert. Nur ein kleiner Teil wird in der Regel in Huminstoffe umgewandelt, die über längere Zeit erhalten bleiben. Die Huminstoffe bilden zusammen mit Streuresten den Humuskörper eines Bodens. Der Humuskörper lässt sich morphologisch in Humushorizonte gliedern, die sich in der Humustextur und dem Humusgefüge unterscheiden. Die Gesamtheit aller Humushorizonte ergibt die Humusform. Nach dem Bildungsmilieu werden terrestrische Humusformen, die unter vorwiegend aeroben Bedingungen, und hydromorphe Formen, die unter zeitweilig bis ständig anaeroben Bedingungen entstehen, unterschieden.

- Terrestrische Humusformen

Bei den terrestrischen Böden unterscheidet man zwischen den Auflagehorizonten mit über 30 % organischer Substanz (den O-Horizonten) und den Humushorizonten im Mineralbodenverband (den Ah-Horizonten). Bei gehemmter Einarbeitung der anfallenden organischen Substanz (weil Bodenwühler fehlen) gliedert sich die Humusaufgabe vieler Waldstandorte von oben nach unten in folgende Horizonte: Die **L-** oder **Streulage** (litter-Horizont) besteht aus äusserlich unzersetzter Streu. Wenig (< 10 %) Feinhumus (d. h. Huminstoffe und zerkleinerte Streu ohne makroskopisch erkennbare Gewebestrukturen) haftet bisweilen als Tierkot an der Streu. Der **Grobhumushorizont** (auch Of- bzw. Fermentationshorizont) besteht aus halb zerfallenen Blättern bzw. Nadeln und Kleintierkot. Es liegt 10...70 % des Bodenhumus als Feinhumus vor. Der **Feinhumushorizont** (auch Oh- bzw. Humusstoff-Horizont) besteht überwiegend aus Feinhumus und nur noch wenig zerkleinerten Streuresten mit erkennbarer Gewebestruktur (< 30 %). Unter diesen Auflagehorizonten folgt der humushaltige, mineralische Oberbodenhorizont, der Ah-Horizont.

Humusformen stellen nun Kombinationen der geschilderten Humushorizonte dar. Die wichtigsten sind Rohhumus, Moder und Mull.

a) Rohhumus

Die Humusform Rohhumus ist in der Regel durch eine mächtige (5...30 cm) Humusaufgabe gekennzeichnet. Da nahezu keine wühlenden und bodenvermischenden Bodentiere vorkommen und nur wenig eingeschlammter sowie Wurzelhumus auftritt, fehlt ein humoser A-Horizont oder tritt stark gegenüber der Auflage zurück.

Die Auflage ist in Grob- und Feinhumushorizont gegliedert. Die Übergänge zwischen den einzelnen Horizonten sind scharf, woraus ebenfalls die geringere Verarbeitung durch wühlende Bodentiere deutlich wird. Huminstoffe liegen als Milben- und Collembolenlösung vor, die von Pilzhyphen durchsetzt ist. Bakterien und vor allem Strahlenpilze sind als Zersetzer kaum vertreten. Der Humuskörper zeichnet sich durch ein weites C/N-Verhältnis von 30...40 und niedrige pH-Werte (3...4) aus. Als Huminstoffe treten vor allem Fulvosäuren auf.

Rohhumus bildet sich insbesondere bei extrem nährstoffarmen und grobkörnigen Böden unter einer Vegetationsdecke, die schwer abbaubare und nährstoffarme Streu liefert. Zusätzlich begünstigt ein kühlfeuchtes Klima eine Rohhumusbildung.

b) Moder

Auch beim Moder sind meist alle Auflagehorizonte vorhanden. Die Übergänge sind aber unscharf, die Horizonte sind vielmehr miteinander verfilzt, und darunter folgt ein deutlich ausgeprägter humoser Mineralboden.

Ein charakteristischer, etwas strenger („Moder-“) Geruch ist dem Moder ebenso eigen wie eine gegenüber dem Rohhumus lockerere Lagerung der humosen Horizonte. Das C/N-Verhältnis liegt bei 20, und unter den Huminstoffen sind neben Fulvaten auch Humate stärker zugegen. Die pH-Werte liegen in Böden aus Silicatgesteinen bei 3...4, können in solchen aus Carbonatgesteinen aber > 7 sein. Moder bildet sich vor allem in Böden unter krautarmen Laub- und Nadelwäldern aus relativ nährstoffarmen Gesteinen oder unter kühlfeuchten Klimaverhältnissen.

c) Mull

Der Humusform Mull fehlt eine Humusaufgabe völlig oder ist nicht ständig vorhanden. Im oft mächtigen Ah-Horizont sind fast keine Streustoffe vorhanden. Der Humuskörper besteht vielmehr fast ausschliesslich aus braungrauem bis schwarzem, mit Tonmineralen innig verbundenem Feinhumus. Viele Bodentiere sind vertreten und die Bodenflora setzt sich beim Mull, der einen charakteristischen („Erd-“) Geruch besitzt, vorwiegend aus Bakterien und Actinomyceten zusammen. Das C/N-Verhältnis des Humuskörpers liegt bei 10...15, die Bodenreaktion ist schwach sauer bis alkalisch und Humate bilden die stärkste Stoffgruppe.

Mull bildet sich in Böden unter günstigen Wasser- und Luftverhältnissen und relativ hohen Nährstoffgehalten, in denen die Streu rasch abgebaut wird. Er ist an eine Vegetation gebunden, die eine nährstoffreiche, leicht mineralisierbare Streu liefert. Mull bildet sich also bevorzugt unter Steppenvegetation und unter krautreichen Laubwäldern.

Der Mull ist die für die Pflanzenernährung günstigste Humusform.

- Hydromorphe Humusformen

In nassen Böden hemmt Sauerstoffmangel die Zersetzung und führt damit zur Anreicherung organischer Substanz. Böden, die nur saisonal bis oben vernässen und somit zum Teil oben belüftet werden, weisen den Landböden vergleichbare Humusformen auf, die nur durch höhere Humusgehalte gekennzeichnet sind. Sie werden als Feuchthumusformen bezeichnet, wobei zwischen Feuchtmull, Feuchtmoder und Feuchtrohhumus unterschieden wird.

Ganzjährig hohe Grundwasserstände bewirken besonders bei nährstoffreichen Mineralböden Humusgehalte, die zwischen 15 und 30 % liegen und als Aa- (bzw. HA)-Horizonte bezeichnet werden. Fehlt solchen Böden eine Humusauflage, so liegt ein Anmoor vor. Beim Anmoor dominieren Huminstoffe, die von Wassertieren und fakultativ anaeroben Mikroorganismen (bes. Actinomyceten) gebildet werden. Das Anmoor hat bei mittleren Wassergehalten ein „erdiges“ Gefüge, das bei anhaltender Wassersättigung schlammig wird. Die humosen Horizonte sind zusammen 20...40 cm mächtig und neutral bis schwach sauer.

Auf nährstoffarmen Standorten mit hohem Grundwasserstand tritt die Streuzersetzung durch Tiere stark zurück, so dass Humusaufgaben mit über 30 % organischer Substanz entsteht, die als Torfe bezeichnet werden. Gleiches geschieht auch auf nährstoffreichen Standorten, die längerfristig oder ganzjährig überflutet sind, den Mooren.

Am Grund von Gewässern gibt es die subhydrischen Humusformen Dy, Gyttja und Sapropel.

2.5 Entscheidende Bodenparameter

Organische Stoffe werden dem Boden in Form von Bestandsabfall, Wurzeln, Ernterückständen, abgestorbenem Edaphon und als organische Dünger zugeführt. Der überwiegende Teil der Streu unterliegt im Boden einer raschen Mineralisierung, während der Rest humifiziert und erst im Laufe von Jahren oder Jahrzehnten zersetzt wird. Der Humusgehalt eines Bodens wird daher durch den Eintrag von Biomasse, deren Zersetzung und bereits vorhandener organischer Substanz bestimmt. Die Geschwindigkeit der Humusdynamik hängt stark von den Lebensbedingungen der Bodenorganismen ab (SCHEFFER, SCHACHTSCHABEL 1998).

In jedem Boden stellt sich bei konstant gleichen Umwelt- und Vegetationsverhältnissen ein Gleichgewicht zwischen Anlieferung und Abbau der organischen Substanz ein, das durch einen charakteristischen Humusgehalt gekennzeichnet ist (SCHEFFER, SCHACHTSCHABEL 1998).

In den folgenden Unterkapiteln wird der Einfluss der verschiedenen Standortbedingungen auf die organische Substanz abgehandelt.

2.5.1 Klima - Temperatur und Niederschlag

Gehalt, Menge und Eigenschaften der organischen Substanz werden massgeblich vom Klima beeinflusst (Tab. 2.2). Leider sind in Tab. 2.2 die Zeit- und Mengeneinheiten nicht immer klar angegeben. Die aufgeführten Werte können jedoch gleichwohl untereinander verglichen und nach den unterschiedlichen Klimaten in Relation gesetzt werden.

Ökosystem	Bio- masse g C m ⁻²	Netto- zuwachs g C m ⁻²	Streu- eintrag a ⁻¹	Boden			mikrobielle Biomasse			C-Akku- mulation g m ⁻² a ⁻¹
				C _{org} g m ⁻²	N _t g m ⁻²	C/N	C g m ⁻²	N g m ⁻²	Umsatz C a	
Tropischer Regenwald	27000	1100		15300	760	20				2,4
Tropischer Monsunwald	21000	800	710	10600	940	11	50	2	0,07	nb
Temperater Laubwald	14000	600		7100	660	11				2,4
Temperater Nadelwald		nb	368	12700	780	16	110	14	0,30	8,4
Borealer Nadelwald	9000	400	250	15500	1100	14	35	2,5	0,14	13,5
Savanne	1800	450	360	5400	320	17	60	8,7	0,17	nb
Steppe	1400	300	667	10500	790	13	215	51	0,32	nb
Kulturland	500	325	nb	7900	840	9	nb	nb	nb	nb
Halbwüste	350	45	nb	3300	260	13	nb	nb	nb	nb
Tundra	250	70	75	10800	1150	19	20	1	0,27	1,3
Vollwüste	100	1,5	nb	100	10	10	nb	nb	nb	nb

nb = nicht bekannt

Tab. 2.2: Häufige Menge, Verteilung und Umsetzung der organischen Substanz (Trockenmasse) in Ökosystemen unterschiedlicher Klimate (aus SCHEFFER, SCHACHTSCHABEL 1998: 56, Tabelle 3.1-7)

Biomasseproduktion und mikrobieller Abbau sind unter den Bedingungen des gemässigten-humiden Klimas sehr eng mit der Temperatur korreliert. Die stimulierende Wirkung einer erhöhten Temperatur kann jedoch durch den abbauhemmenden Einfluss höherer Niederschläge und der dadurch bedingten anaeroben Verhältnisse sogar überdeckt werden. So haben die hohen Temperaturen der Tropen nicht immer eine Verarmung an organischer Substanz zur Folge, auch wenn das häufige Fehlen einer sichtbaren Braun- oder Schwarzfärbung der Böden darauf hindeuten könnte. So wurden in indischen und afrikanischen Böden mit steigender Niederschlagsmenge (100...3000mm) eine beträchtliche Zunahme des Humusgehaltes gefunden (SCHEFFER, SCHACHTSCHABEL 1998).

Abb. 2.11 zeigt die Zusammenhänge zwischen N-Gehalt im Boden (gilt auch für C_{org}), der Jahresmitteltemperatur und den Klimazonen der USA auf. Bei gleicher Temperatur steigt der C-Gehalt mit zunehmendem N/S-Quotienten (Niederschläge/Sättigungsdefizit), dargestellt durch die Kurven von links nach rechts. Der Anstieg von C ist am ausgeprägtesten bei niedriger Temperatur (Grenze zu Kanada) und am geringsten bei höherer Temperatur (Texas). Bei gleichem N/S-Quotienten sinkt der C-Gehalt mit steigender Temperatur (erhöhte Mineralisierung), dargestellt durch die Kurven von hinten (Kanada) nach vorn (Nähe Mexiko). Lehmböden der mittleren USA enthalten viel weniger organische Substanz als vergleichbare Böden entlang der nördlichen Grenze (JENNY 1980 in SCHEFFER, SCHACHTSCHABEL 1998).

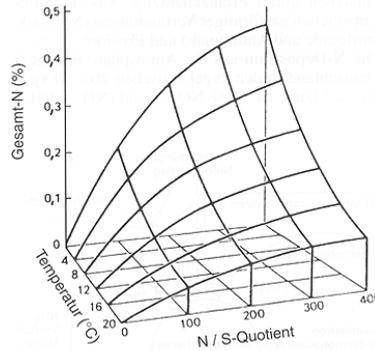


Abb. 2.11: Modell der Änderung des Nt-Gehalts von Lehmböden (Oberboden 0...20 cm) in Abhängigkeit von der mittleren Jahrestemperatur und dem N/S- Quotienten im Bereich der Great Plains von Kanada bis Mexiko (Kurven von hinten nach vorn) und von der Wüste bis zu den humiden Regionen (Kurven von links nach rechts) (JENNY 1980 in SCHEFFER, SCHACHTSCHABEL 1998: 272, Abb. 6.2-24)

In Böden an Südhängen erfolgt aufgrund höherer Bodentemperatur ein stärkerer Abbau als in Böden der Nordhänge. Bereits kleinräumige Unterschiede im Klima beeinflussen die biologische Aktivität, so dass diese Böden einen höheren Humusgehalt besitzen können. An Südhängen kann es dagegen zu höheren Gehalt an organischer Substanz kommen, wenn wegen stärkerer Verdunstung der Humusabbau durch zeitweiligen Wassermangel gehemmt ist (z. B. das Wallis, Schweiz) (SCHEFFER, SCHACHTSCHABEL 1998).

2.5.2 Relief-Erosion

Material kann entlang von Hängen auf unterschiedliche Weise bewegt werden. Die Hauptprozesse beinhalten den Oberflächenabfluss, den Abtrag in Lösung sowie Massenbewegungen jeglicher Art. All diese Prozesse werden in gewissem Masse durch die jeweilige Topographie und den Boden beeinflusst. Die Winderosion sowie die Splasherosion durch Regentropfen werden hingegen nur in geringem Masse oder gar nicht von der Neigung gesteuert. Auch das Klima wirkt sich auf den jeweiligen Prozess aus. So herrscht unter tropischen Regenwaldbedingungen der Abtrag in Lösung klar vor. In trockenen Savannengebieten kommt dem Oberflächenabfluss eine führende Rolle zu. Dessen Einfluss wird jedoch mit zunehmendem Niederschlag von der Qualität der Vegetation überdeckt (GERRARD 1981).

Ganz allgemein und stark vereinfacht beeinflusst die Erosion in Hanglagen den Humusgehalt der Böden. Aus dem A-Horizont des Oberhangs wird Material zum Hangfuss verlagert, so dass der humose Horizont von der Hangkuppe zum Hangfuss mächtiger wird (SCHEFFER, SCHACHTSCHABEL 1998). Im folgenden wird jedoch die Beziehung zwischen Abhang und Bodeneigenschaften noch etwas genauer betrachtet.

Drei Hauptkomponenten der Topographie beeinflussen den Effekt von Oberflächenabtrag des Bodens: die Neigung, die Länge des Abhanges sowie dessen Form. Das Erosionspotential nimmt mit grösserer Neigung aufgrund der steigenden Gravitationsenergie zu. Gleiches gilt auch für die Länge. Entscheidend für das grössere Potential ist jedoch der Umstand, dass mit zunehmender Distanz die Tiefe des Oberflächenflusses ansteigt. Zusätzlich treten Unterschiede in Bezug auf die Form des Abhanges auf. Die Erosion an gleichmässigen sowie konvexen Oberflächenformen zeigt untereinander keine signifikanten Unterschiede auf. Im

Vergleich zu konkaven Flächen hingegen ist die Erosion um einiges stärker (GERRARD 1981).

Da die Erosion jedoch nicht nur von der Topographie sondern auch von den jeweiligen Bodeneigenschaften abhängig ist, soll nun im folgenden auf dieses Beziehungsgefüge etwas näher eingegangen werden. Frühe Untersuchungen (NORTON, SMITH 1930; YOUNG 1963) vermochten bereits auf Korrelationen zwischen der Neigung und der Bodenstruktur und -textur hinzuweisen. Weitere Erforschungen durch FURLEY (FURLEY 1968; 1971; WHITFIELD & FURLEY 1971) sind in Abb. 2.12 dargestellt. Daraus geht hervor, dass bei sauren Böden eine pH-Abnahme mit einer Zunahme in der Neigung einhergeht. Diese Beziehung ist bei kalkhaltigen Böden invertiert. In Bezug auf den Kohlenstoff- sowie Stickstoffgehalt lässt sich erkennen, dass sich beide Eigenschaften unabhängig vom Bodentypen mit zunehmender Neigung verringern.

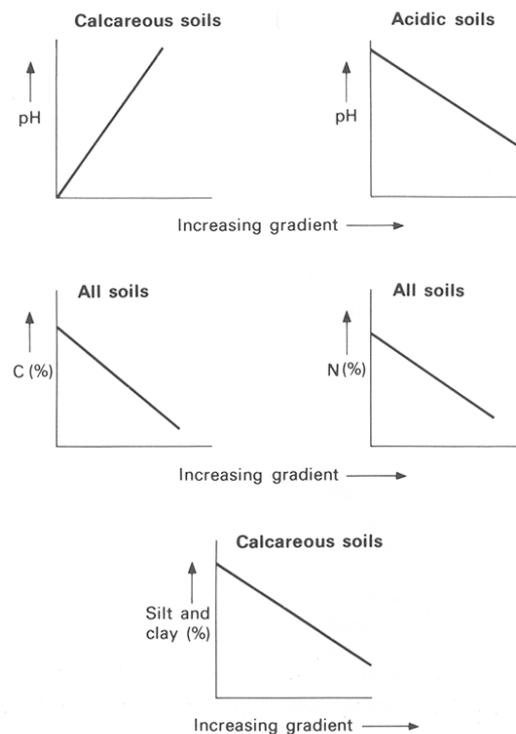


Abb. 2.12: Generalised relationship between soil properties and slope angle (aus FURLEY 1968: 84)

Jedoch zeigte obgenannte Idee nur eine signifikante Korrelation unter Berücksichtigung des Oberhanges. Im Hangfuss waren die Beziehungen meist nur sehr schwach ausgebildet oder zeigten sogar inversen Charakter. Das Resultat deutet somit an, dass Veränderungen der Neigung einerseits signifikante Auswirkungen auf einige Bodeneigenschaften haben können. Andererseits ist dieser Effekt dagegen nicht über den ganzen Hang gleichmässig zutreffend (Verg. Tab. 2.3).

Dominant factor	Total slope	Upper slope	Lower slope
slope angle	7	21	10
slope position	34	21	20
angle and position equal	7	6	17

Tab. 2.3: Dominant factor explaining the variation in soil properties on chalk slopes (FURLEY 1971)

Wie aus Tab. 2.3 hervorgeht ist von den 48 Abhängen welche FURLEY (1971) analysierte nur bei sieben die Neigung als dominanter Faktor hinsichtlich den Bodeneigenschaften (pH, organic matter content, fine soil fractions, exchangeable ions) zu erkennen. Hingegen war die Position am Hang weitaus entscheidender (Total slope: 7 : 34). Werden die Böschungen jedoch in Oberhang (Upper slope) und Hangfuss (Lower slope) unterteilt, treten interessante Änderungen auf. Für den Oberhang sind die Position am Hang wie auch die Neigung gleichbedeutend (Upper slope: 21 : 21). Betrachtet man jedoch nur den Hangfuss so wird ersichtlich, dass hier die Position den entscheidenden Faktor darstellt (Lower slope: 10 : 20).

Auf der Basis dieser vorangegangenen Resultate erstellte FURLEY (1971) ein Modell welches die Verteilung von Bodeneigenschaften an Hängen zu erklären versucht (Abb. 2.13).

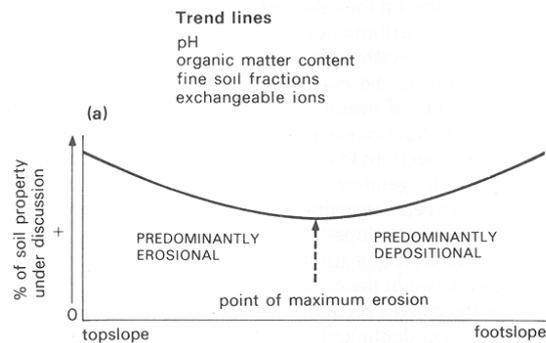


Abb. 2.13: Theoretical distribution of soil properties over slope form (aus FURLEY 1971: 86)

2.5.3 Wasserhaushalt

Die häufig beobachtete starke Anreicherung von organischer Substanz im Ah-Horizont carbonatischer oder schwach alkalischer Böden beruht auf zeitweise zu geringen oder zu hohen Wassergehalten. In Mooren und Anmooren findet unter dem Einfluss von hochstehendem Grundwasser eine Humusanreicherung statt, weil Sauerstoffmangel den Streuabbau hemmt. Die Abbaugeschwindigkeit ist bei abnehmendem Luftgehalt im Boden ebenfalls geringer. Diese angesprochene Wassersättigung kann jedoch auch unter Stauwassereinfluss oder Überflutung auftreten (SCHEFFER, SCHACHTSCHABEL 1998).

Dagegen wird die Mineralisierung durch einen häufigen Wechsel der Bodenfeuchte gefördert. Dies ist darauf zurückzuführen, dass (a) die Kohlenstoffverbindungen in den zerfallenen Aggregaten den Mikroorganismen besser zugänglich sind und (b) die organischen Stoffe durch Desorption freigesetzt werden (SCHEFFER, SCHACHTSCHABEL 1998).

2.5.4 Streu

Die jährliche Streuerzeugung hängt vom Klima, vom Vegetationstyp sowie von den Bodenverhältnissen ab. In tropischen Regenwäldern und in Steppen wird am meisten Streu in die Böden eingetragen, während in Böden der borealen Nadelwälder aufgrund der ungünstigen Standortverhältnisse die jährliche C-Akkumulation am höchsten ist (Verg. Tab. 2.2). In den Gebieten der Halbwüsten- und Wüstenböden hingegen, lässt die anhaltende Trockenheit kaum noch Vegetation und Streu entstehen. Genaue Werte sind jedoch aus Tab. 2.2 nicht ersichtlich (SCHEFFER, SCHACHTSCHABEL 1998).

Trotzdem steigt der Humusgehalt nicht entsprechend der Streuzufuhr, da der zunehmende Mikroorganismenbesatz mit einer höheren Abbaurate verbunden ist, die dem entgegenwirkt (SCHEFFER, SCHACHTSCHABEL 1998).

Zusätzlich kann der Chemismus des Pflanzenabfalls die Abbauprozesse stark verzögern (FREI 1971). Lignine, Harze und Wachse verzögern die Zersetzung; Stickstoffverbindungen fördern sie.

2.5.5 Nährstoffgehalt

Geringe Nährstoffgehalte hemmen den Abbau und führen zu Humusakkumulation (SCHEFFER, SCHACHTSCHABEL 1998). Dabei nimmt der Stickstoff unter den Nährstoffen eine besondere Stellung ein und wird im folgenden etwas ausführlicher erläutert.

Als Baustein der Proteine ist Stickstoff ein Hauptnährelement aller Organismen, denn die Proteine bilden die biochemischen Grundstoffe für DNA, RNA, Enzyme, Muskeln und andere Gewebe. Für das Gedeihen der Lebewesen ist die Stickstoffversorgung daher von hervorragender Bedeutung (GERMANN, SCHICHLER 1999). Der N_{org} -Gehalt im Boden steht in enger Beziehung zum C_{org} -Gehalt. Das C/N-Verhältnis wird als Mass für die potentielle Stickstoffmineralisation verwendet und liegt im A-Horizont ertragsreicher Böden meist bei 10...12. Ein geringeres C/N-Verhältnis als 10 haben hochaktive Böden mit hohem Anteil an Biomasse, da Mikroorganismen sehr N-reich sind. Ein sehr weites C/N-Verhältnis ist kennzeichnend für Böden mit hohem Gehalt an unzersetzter Pflanzenmasse, wie es zum Beispiel im Extremfall in O-Horizonten von Podsolen (C/N 25...35) und Hochmooren (C/N 50...60) vorkommen kann (SCHEFFER, SCHACHTSCHABEL 1998).

2.5.6 pH-Wert

Humusgehalt und pH-Wert stehen nur in indirekter Beziehung zueinander: In stark sauren Waldböden kann eine Humusakkumulation mässig zersetzter Pflanzenrückstände als Auflagehorizont stattfinden, weil (a) die anspruchslose Vegetation eine nährstoffarme und schwer zersetzbare Streu liefert und (b) die Tätigkeit der Bodenorganismen gehemmt ist, so dass Humifizierung und Mineralisierung der abgestorbenen Biomasse wesentlich geringer sind als die jährliche Anlieferung (SCHEFFER, SCHACHTSCHABEL 1998).

2.5.7 Bodentemperatur

Niedrige Bodentemperaturen hemmen den Abbau und führen zu Humusakkumulation. Grund dieser Akkumulation liegt in der geschwächten biologischen Aktivität. So erfolgt in Böden an Südhängen, aufgrund der häufig durch die Exposition bedingten höheren Bodentemperaturen, ein stärkerer Abbau als in Böden der Nordhänge (SCHEFFER, SCHACHTSCHABEL 1998).

2.5.8 Textur

Feinkörnige Böden haben unter gleichen klimatischen Bedingungen oft einen höheren Humusgehalt als Sand- oder Schluffböden. Dies beruht (a) auf den häufiger auftretenden anaeroben Bedingungen, (b) auf dem höheren Gehalt an Aggregaten, in denen die eingeschlossenen Kohlenstoffverbindungen vor der Zersetzung durch Mikroorganismen geschützt sind und (c) auf der Eigenschaft von Tonmineralen, Aluminium- und Eisenoxiden, organische Stoffe zu adsorbieren oder im Zwischenschichtraum einzulagern (Tonminerale) und damit den mikrobiellen Abbau zu vermindern (SCHEFFER, SCHACHTSCHABEL 1998).

2.5.9 Nutzungsform

In jedem Boden stellt sich unter natürlicher Vegetation oder bei langjährig ähnlicher Nutzung ein Gleichgewicht zwischen Anlieferung und Abbau der organischen Substanz ein (Verg. Abb. 2.10, S. 22). Böden unter Dauergrünland und Wald enthalten meist mehr organische Substanz als benachbarte Ackerböden, weil mehr Streu anfällt und der Oberboden nicht bearbeitet wird. Je häufiger ein Boden im Laufe eines Jahres bearbeitet wird und je mehr wendende Geräte eingesetzt werden, umso stärker schrumpft der Humusgehalt. Dieser durch intensive Belüftung verursachte Abbau kann vermindert werden, wenn anstelle des Pfluges lockernde Geräte bei der Bodenbearbeitung verwendet werden (SCHEFFER, SCHACHTSCHABEL 1998).

Einen grossen Einfluss auf die Humusmasse der Böden haben auch Menge und Qualität der Ernte- und Wurzelrückstände und damit die Fruchtfolge. Ein mehrjähriger Anbau zum Beispiel von Leguminosen ist ein wirksames Mittel, den Humusgehalt der Böden konstant zu halten und zusätzlich die Fruchtbarkeit der Böden zu steigern, weil neben C auch reichlich N den Böden zugeführt wird (SCHEFFER, SCHACHTSCHABEL 1998).

2.5.10 Düngung

Der Humusgehalt der Böden kann sowohl direkt durch die Zufuhr organischer Stoffe als auch indirekt durch anorganische Dünger beeinflusst werden, weil mit steigenden Erträgen auch die Wurzelrückstände zunehmen.

3 Methodik

3.1 Einleitung

Als Grundlage der Modellierung wird der Boden, wie auch die organische Substanz, als Ergebnis einer Funktion aus bodenbildenden, biophysischen Faktoren, wie Klima und Topographie, sowie bodendegradierender Faktoren, wie der Landnutzung, betrachtet.

$$\text{Org. Substanz} = f(\text{Klima, Relief, Wassergehalt, Streuerzeugung, Nährstoffgehalt, pH-Wert, Bodentemperatur, Textur, Nutzungsform})$$

Anhand dieser Faktoren soll deshalb ein Abhängigkeitsmodell des Bodens generiert werden, so dass damit schliesslich eine synthetische Bodeneigenschaftskarte generiert werden kann (GERBER 2000).

3.2 Statistische Verfahren

3.2.1 Wahl der unabhängigen Variablen

Bei der Wahl der unabhängigen Variablen wird nach folgenden Kriterien vorgegangen. Als erstes ist es wichtig, dass der gewählte Parameter den Stichprobenumfang nicht allzu stark verkleinert. Des weitern wurde darauf geachtet, dass die Informationen flächendeckend über das ganze Untersuchungsgebiet vorhanden sind. Als dritter Punkt ist die Theorie entscheidend. Wie bereits erläutert, beeinflussen folgende Standortbedingungen den Gehalt an organischer Substanz und fliessen somit, bei vorhandener Datengrundlage, als unabhängige Variablen in die Modellrechnung mit ein:

- (a): Klima

Die Klimadaten werden anhand zweier unabhängiger Variablen in die Berechnungen einbezogen. Als erstes existiert ein von STURM 2002 generiertes Raster-Layer mit der durchschnittlichen Jahresniederschlagsmenge über das ganze Gebiet. Das Layer wurde aus Niederschlagsmessungen der Jahre 1967 bis 1997 auf der Basis von zehntägigen Messintervallen interpoliert. Die Niederschlagsmenge unterteilt sich in folgende acht Klassen: (1) bis 500 mm a⁻¹, (2) 501-600 mm a⁻¹, (3) 601-700 mm a⁻¹, (4) 701-800 mm a⁻¹, (5) 801-900 mm a⁻¹, (6) 901-1000 mm a⁻¹, (7) 1001-1100 mm a⁻¹ und (8) mehr als 1101 mm a⁻¹ (Abb. 4.1, S. 42/ Tab. 6.5, S. 75).

Für die Temperatur ist kein eigener Layer vorhanden. Da diese jedoch sehr stark mit der Höhe über Meer korreliert ist, wird als zusätzliche Klimavariablen die Elevation über Meer [m] in die Regression einbezogen (Abb. 4.2, S. 43).

Als Grundlage für die Höhe über Meer dient ein Digital Terrain Model, auch DTM (Quelle: LRP). Dieses wurde aus den Höhenkurven der Toposheets 1:50'000 gebildet und mit einer Zellgröße von 50 x 50 Metern abgebildet.

- (b): Relief

Das Relief wird anhand zweier Parameter dargestellt. Einerseits durch die Neigung (oder Slope) [%, Klassen] als auch durch das Relief (Curvature). Positive Werte bei der Curvature weisen dabei auf konvexe, negative Werte auf konkave Formen hin. Falls die Reliefform den Wert Null hat, ist die Oberfläche eben. Für ein moderates Relief liegen die Werte zwischen -0.5 bis $+0.5$. Bei einem extremen Relief können Werte bis zu ± 4 vorkommen (MOORE, GRAYSON, LANDSON 1991).

Die beiden GIS-Rasterlayer Neigung sowie Relief bilden sich wiederum auf der Grundlage des DTMs. Jedoch treten bei deren Verwendung einige Probleme auf, die in Kapitel 8.2.2, Seite 111 angesprochen werden.

- (c): Wassergehalt

Für den Gehalt an organischer Substanz sind nur extreme Wassergehalte entscheidend. Dabei spielen sehr viele verschiedene Parameter eine Rolle. Mit den bereits in die Berechnungen einbezogenen Informationen wird dem Wassergehalt zum Teil bereits Rechnung getragen.

Flächendeckende Daten bezüglich dem Grundwasserlevel sind nicht vorhanden.

- (d): Streuerzeugung

Auf die jährliche Streuerzeugung wirken zwei Parameter verstärkt ein: Das Klima sowie der Vegetationstyp. Der Faktor Klima wurde bereits in einem separaten Punkt behandelt. Für die Bestimmung des Vegetationstypen kann in der Arbeit auf zwei GIS-Layer zurückgegriffen werden. Jedoch werden nur die Daten von LINIGER et al. 1998a, ROTH 1997 und NIEDERER 2000 bei der Regressionsanalyse berücksichtigt.

Die Zusammenstellung nach LINIGER et al. 1998a, ROTH 1997 und NIEDERER 2000 arbeitet hierarchisch mit 7 Hauptklassen: Treeland (T), Grassland (G), Cropland (C), Water/Swamp (W), Urban (U), Rock (R) und Ice/ Snow (I). Zusammenstellungen dieser Klassen für Gebiete mit Mischvegetation sind möglich. Zusätzlich kann der Zustand der Bedeckung noch anhand bestimmter Kennzeichner wie (s) für „sparse“ (2-20 % Oberflächenbedeckung) und (b) für „bare“ (< 2 %) beschrieben werden. In Bezug auf unsere Datengrundlage sind 14 Klassen von Bedeutung (Tab. 6.5, S. 75).

Der zweite Layer nach MATI 1999 ist in 12 Klassen unterteilt. (1) Moorland, (2) Forest, (3) Bushland, (4) Bush grassland, (5) Grassland, (6) Scrub grassland, (7) Scrubland, (8) Scarpline shrubs, (9) Small scale Cropland, (10) Large scale Cropland, (11) Swamp und (12) Urban Settlement (Tab. 6.5, S. 75).

- (e): Nährstoffgehalt

Für den Nährstoffgehalt sind nur Punktinformationen der jeweiligen Profilanalysen vorhanden.

- (f): pH-Wert

Auch beim pH-Wert sind keine flächendeckenden Daten vorhanden.

- (g): Bodentemperatur

Die Daten über die Bodentemperatur fließen anhand des Klima-Layers Elevation in die Regressionsanalyse ein. Der Einfluss der Exposition- bzw. des Aspect ist in den Tropen aufgrund des Zenitwinkels der Sonne zu vernachlässigen (WARNECKE 1997).

- (h): Textur

Die Textur-Daten sind nur als Punktinformationen vorhanden.

- (i): Nutzungsform

Beide in Punkt (d) Streuerzeugung angesprochenen Vegetationslayer beinhalten Klassen, welche die landwirtschaftlich intensiv genutzten Flächen abbilden lassen (MATI 1999: Small scale Cropland, Large scale Cropland, Urban Settlement; LINIGER et al. 1998a, ROTH 1997 und NIEDERER 2000: Cropland, Urban).

Aus den vorangegangenen Überlegungen und Möglichkeiten kann nun die einführend erwähnte allgemeine Formel für die organische Substanz auf die Daten übertragen werden. Es gilt:

$$\text{ORG. SUBSTANZ} = f (\text{ELEVATION, ASPECT, CURVATURE, GEOLOGY, SLOPE, RAINFALL, LANDCOVER})$$

3.2.2 Entscheid über die Analyseverfahren

In fast allen konkreten empirischen Untersuchungen ist es sinnvoll und notwendig, mehr als zwei Variablen in die Analyse einzubeziehen. So auch in der hier vorliegenden Arbeit. Wir sprechen dann von einer „multivariaten“ Analyse. Die Reihe der multivariaten Analyseverfahren ist mittlerweile recht lang und die Wahl nicht immer ganz leicht. Ein gängiges Kriterium zur Klassifikation der multivariaten Analyseverfahren ist das Skalenniveau der betrachteten Variablen (Tab. 3.1) (BARENBERG, GIESE, NIPPER 1992).

abhängige Variable	unabhängige Variablen		
	alle metrisch	gemischt	alle diskret
metrisch	multiple Regressionsanalyse	Dummy-Variablen	Varianzanalyse
kategorial	Logit-, Probit-, oder Log-lineare Ansätze	Logit-, Probit-, oder Log-lineare Ansätze	Logit-, Probit-, oder Log-lineare Ansätze

Tab. 3.1: Typen statistischer Problemstellungen (nach BAHRENBERG, GIESE, NIPPER 1992: 14, Tab. 1.1)

In der ersten Zeile stehen die Fragestellungen, bei denen die abhängige Variable metrisch skaliert ist. Sind auch die unabhängigen Variablen metrisch, hat man es mit der multiplen Regressionsanalyse zu tun. Falls einige der unabhängigen Variablen metrisch, andere diskret (kategorial) sind, kann man die Regressionsanalyse mit sogenannten „Dummy-Variablen“ anwenden. Sind schliesslich alle unabhängigen Variablen diskret, kommt die sogenannte Varianzanalyse zur Anwendung. Alle drei Verfahren gehören zu den klassischen Standardmethoden (BAHRENBERG, GIESE, NIPPER 1992). Wie aus Tab. 3.2 ersichtlich, sind die unabhängigen Variablen hinsichtlich ihres Skalenniveaus gemischt. Somit kommt in dieser Studie die multiple Regressionsanalyse mit Dummy-Variablen zur Anwendung.

abhängige Variable		unabhängige Variablen						
ORGANIC MATTER	SUB-DIVISION	ELEVATION	CURVATURE	ASPECT	SLOPE	GEOLOGY	RAIN-FALL	LAND-COVER_1/2
metrisch	kategorial	metrisch	metrisch	metrisch	metrisch kategorial	kategorial	kategorial	kategorial

Tab. 3.2: Skalenniveau der ins Modell einbezogenen Variablen

Im folgenden Abschnitt wird das Prinzip der Regressionsanalyse mit sogenannten Dummy-Variablen verdeutlicht. Eine Dummy-Variable ist eine binäre Variable mit den Ausprägungen 0 und 1, die als Platzhalter für eine Ausprägung einer mehrstufigen Variablen steht. Bei der Regressionsanalyse gilt als Voraussetzung, dass alle unabhängigen Variablen metrisch sind ("wenn die unabhängige Variable sich um eine Einheit ändert, ändert sich die abhängige Variable um so und soviel Einheiten"). Als einzige Ausnahme können 0-1 codierte kategoriale Variablen zugelassen werden, da man hier den Wechsel von der Ausprägung 0 auf 1 oder umgekehrt ebenfalls als Änderung um eine Einheit interpretieren kann. Hat nun eine kategoriale oder ordinale Variable mehr als zwei Ausprägungen, so kann wie folgt verfahren werden: Eine Ausprägung wird vorab als Bezugs- oder Referenzkategorie festgelegt. Die

anderen Ausprägungen werden nun folgendermaßen in Dummy-Variablen zerlegt: Für jede Ausprägung wird eine Variable erzeugt, die für alle Fälle im Datensatz den Wert 1 hat, die diese Ausprägung aufweisen, und für alle anderen Fälle den Wert 0 (BAHRENBERG, GIESE, NIPPER 1992).

Im weiteren Verlauf der Verfahrensauswahl muss entschieden werden, ob es sich um einen linearen, bzw. nicht-linearen Zusammenhang zwischen den Variablen handelt. Um allfällige Trends aufzuzeigen, werden Streudiagramme der unabhängigen Variablen bezüglich der abhängigen Variable dargestellt (Verg. Kap. 6.3, S. 77). Aus den Diagrammen ist meist kein genereller Trend ersichtlich und so wird die Modellrechnung anhand einer linearen, multiplen Regressionsanalyse mit Dummy-Variablen berechnet (aus BAHRENBERG, GIESE, NIPPER 1992):

$$Y = \alpha + \beta_1 X_1 + \beta_2 X_2 + \dots + \beta_m X_m + \varepsilon$$

mit	Y :	abhängige Variable oder Zielvariable
	X_i :	unabhängige Variablen ($i = 1, \dots, m$)
	β_i :	Regressionskoeffizienten ($i = 1, \dots, m$)
	α :	Regressionskonstante
	ε :	Zufallsfehler

Wie aus Tab. 3.2 ersichtlich, kann die Neigung (bzw. Slope) metrisch wie kategorial abgebildet werden. Mit diesem Ansatz wird versucht, das Resultat des Modells noch zu verbessern (Verg. 7.1.2, S. 85). Auch wird erstmals eine weitere unabhängige Variable SUBDIVISION in die Arbeit mit einbezogen. Auch dieser Schritt wird in Kap. 7.1.2 noch erläutert.

3.2.3 Strategien zur Auswahl der unabhängigen Variablen

Aufgrund der in Kapitel 3.2.1 erfolgten Erstausswahl werden alle unabhängigen Variablen in die Analyse einbezogen, um ein Maximum an erklärter Varianz von Y zu erzielen. Im weiteren Verlauf wird das Regressionsmodell durch „das Prinzip der sparsamen Parametrisierung“ ergänzt. Dieses Prinzip besagt, dass von zwei Regressionsmodellen, die etwa den gleichen Varianzanteil von Y erklären, dasjenige gewählt werden sollte, bei dem weniger Parameter zu schätzen sind. Zum Zweck der sparsamen Parametrisierung sind sogenannte schrittweise Verfahren für die Auswahl der unabhängigen Variablen entwickelt worden. Bei der nun folgenden rückwärts gerichteten Auswahl werden zu Beginn alle unabhängigen Variablen in die Regressionsanalyse einbezogen. Dann werden schrittweise diejenigen Variablen eliminiert, deren Sicherheitswahrscheinlichkeit p das Signifikanzniveau von t unterschreiten. Das Signifikanzniveau wird auf 95 % festgelegt.

4 Grundlagen Untersuchungsgebiet

4.1 Klima

Aufgrund der in dieser Studie entscheidenden Zeitdimensionen werden hinsichtlich des Klimas vorwiegend Jahresmittelwerte berücksichtigt.

4.1.1 Niederschlag

Die Niederschlagsverteilung über das Basin ist hauptsächlich von der vorherrschenden Richtung der feuchten Luftmassen sowie der Topographie des Einzugsgebietes beeinflusst. Hinsichtlich der Position des Upper Ewaso Ng'iro Basin an der Leeseite des Mt. Kenyas und der Nyandarua Range ist das Basin meist semi-arid (MATI 1999). Der durchschnittliche Jahresniederschlag reicht von 1500 mm in den Waldregionen des Mt. Kenyas bis hin zu unter 350 mm im ariden Tiefland um Archer's Post (GICHUKI et al. 1998a). Der Einfluss der Höhenlagen auf die Verteilung des Regens wird beim Betrachten von Abb. 4.1 und Abb. 4.2 klar ersichtlich.

BERGER (1989) hat die wesentlichen regenreichen Regimes für das Untersuchungsgebiet wie folgt charakterisiert: (1) in die lange Regenzeit (Mitte März bis Mitte Juni, Durchgang der ITC vor dem Nordsommer), (2) die kontinentalen Niederschläge (Mitte Juni bis Mitte September, innertropische Westwinde), (3) die kurze Regenzeit (Mitte September bis Mitte Dezember, Durchgang der ITC vor dem Südsommer) sowie (4) in die Trockensaison (Mitte Dezember bis Mitte März). Nicht alle Regionen erfahren jedoch alle drei Regenzeiten. So kann das Basin in Gegenden mit unimodalen, bimodalen oder trimodalen Niederschlagsregimes eingeteilt werden (GICHUKI et al. 1998a).

Die lange Regenzeit, welche für mehr als 25 % der jährlichen Niederschlagsmenge verantwortlich ist, bildet die Hauptregensaison für die Mehrheit des Beckens. In westlichen Gegenden wird die lange Regenzeit direkt von den kontinentalen Niederschlägen abgelöst und es entsteht eine unimodale, sieben Monate lange Niederschlagsperiode. In den zentralen Landstrichen fehlen die kontinentalen Niederschläge und die lange Regenzeit dominiert in einer bimodalen Verteilung zusammen mit der kurzen Regenzeit. Zwischen diesen zwei Landschaften sind hauptsächlich trimodale Niederschlagsverteilungen vorherrschend, welche meist von kurzen Trockenzeiten (normalerweise einen Monat) voneinander getrennt sind. Die kurze Regenzeit dominiert in Gegenden des Ostens sowie in den Regionen zwischen dem Mt. Kenya und den Nyandarue (Aberdare) Mountains. Hier stellt sich, zusammen mit der langen Regenzeit, eine bimodale Verteilung ein (GICHUKI et al. 1998a).

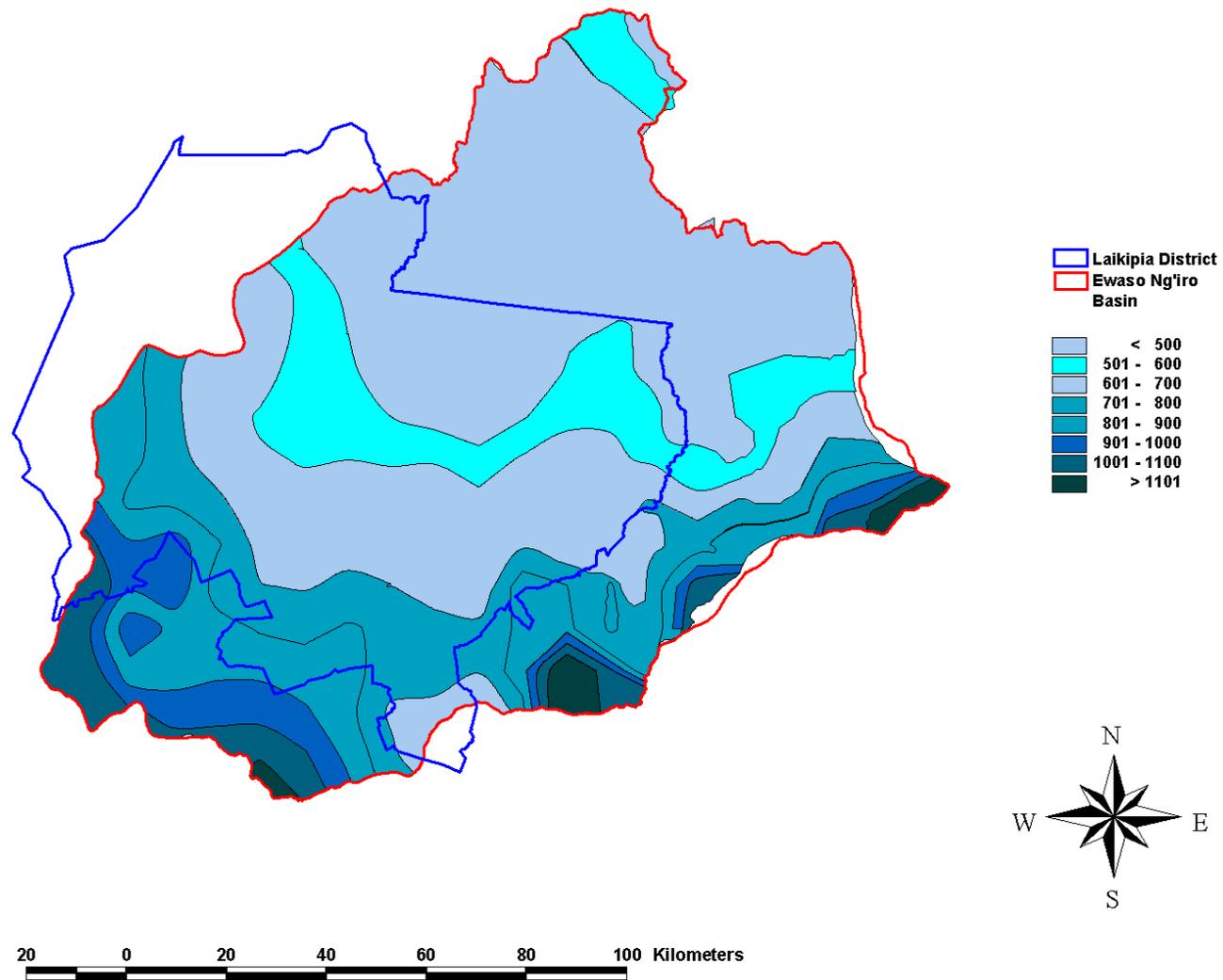


Abb. 4.1: Jährliche Niederschlagsverteilung Ewaso Ng'iro Basin, Kenia (STURM 2002)

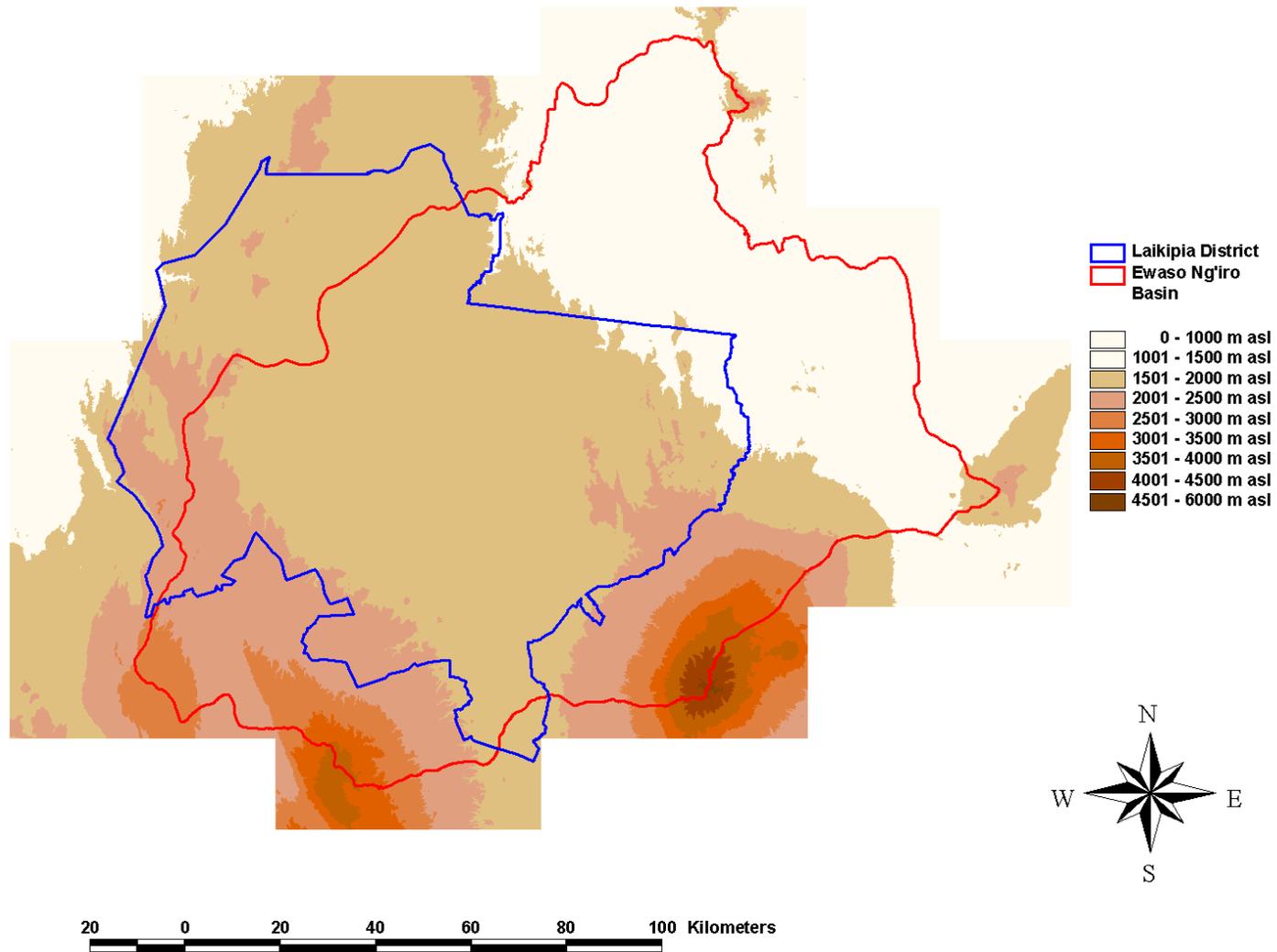


Abb. 4.2: Topographie Ewaso Ng'iro Basin, Kenia (Digital Terrain Model NRM3)

4.1.2 Temperatur und potentielle Evaporation

Im Gegensatz zu den räumlich-zeitlich sehr unterschiedlich verteilten Niederschlagsmengen zeigen Temperatur und potentielle Evaporation ein wesentlich gleichmässigeres räumliches Verteilungsbild, das nach WOODHEAD (1968) eng mit den Höhenstufen korreliert. Für die feuchteren Übergangszonen am Mt. Kenya und der Nyandarua Range wird die potentielle jährliche Evaporation mit 1500-1600 mm und für das Plateau mit 1800-2000 mm angegeben (LINIGER 1988). Im Tiefland jedoch liegen die Werte zwischen 2500 mm und 3300 mm und somit klar über den jährlichen Niederschlagsmengen. Dies führt zu einem zunehmenden Wasserdefizit je grösser die Distanz vom Mt. Kenya wird (Abb. 4.3). Die Jahresmittelwerte der Temperaturen schwanken je nach Höhenlage zwischen 10° C (Mt. Kenya) und mehr als 24° C in der Umgebung von Archer's Post (MATI 1999). Dabei ist die jährliche Amplitude der Mittelwerte äusserst gering (1,4° C), die mittleren Minima und Maxima jedoch extremen Schwankungsbereichen unterworfen (Tagesschwankungen um 20° C). Diese Amplituden treten insbesondere in der Trockenzeit auf, wenn wegen des Fehlens einer Wolkendecke tagsüber hohe Strahlungsgenüsse und nachts hohe Ausstrahlungsverluste auftreten (KLINGL 1996).

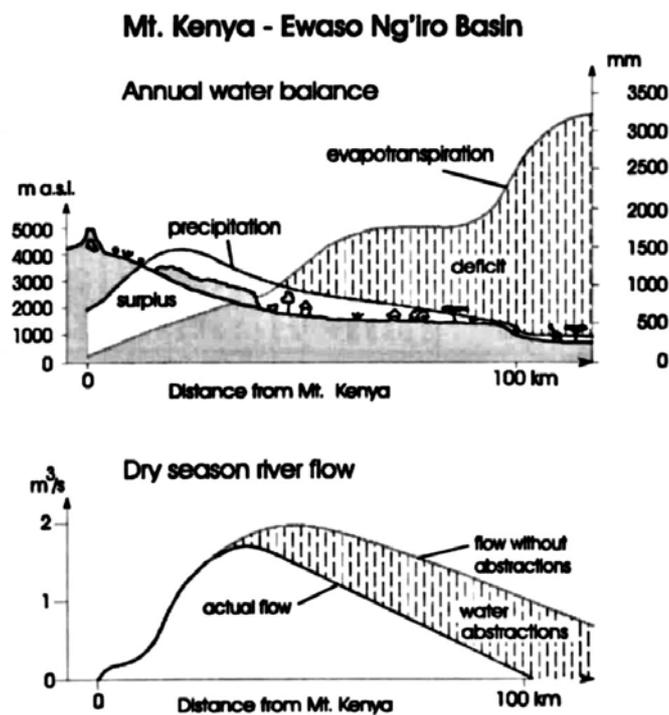


Abb. 4.3: Mt. Kenya-Ewaso Ng'iro: Annual water balance and dry season flow (aus LINIGER et al. 1998b)

4.2 Geologie

Die Geologie im Untersuchungsgebiet steht in enger Beziehung zum Relief sowie der vulkanischen Aktivität (Abb. 4.4) (JAETZOLD, SCHMIDT 1983). Gesteine vulkanischen Ursprungs mit beachtlicher Mächtigkeit dominieren im Gebiet des Mt. Kenya, der Nyandarua-Mountains sowie den Nyambene Hills. In den zentralen Hochländern Loldaiga, Engare Ondare sowie den Mukogodo Hills treten die Basement-Komplexe zu Tage. Nördlich, jenseits des Hochlandes, sind die Basement-Komplexe von vulkanischem Gestein überdeckt (Phonolithe, Trachyte, basaltische Lava). Das Alter dieser Gesteine reicht vom Tertiär bis zum Pleistozän. Basaltische Lava kommt zusätzlich auch an einigen kleinen, isolierten Plateaus im Bereich von Ol-Donyiro und Barsalinga vor (KLINGL 1996, BANCY 1999).

Die für unsere Arbeit verwendeten geologischen Karteninformationen entstammen folgenden Quellen: SHACKELTON (1945), BAKER (1967), MC CALL (1967), HACKMAN 1988, HACKMAN et al. (1989) und MINISTRY OF WATER DEVELOPMENT (1987). Die 'Lithologie Laikipia East' wurde bereits von KLINGL (1996) als digitale Karte erfasst. Die nördlichen Gebiete mussten jedoch, wie bereits erwähnt, noch digitalisiert werden (siehe Kap. 6.2.2, S. 76).

Folgende fünf lithologische Einheiten werden unterschieden (nach KLINGL 1996):

- Basement-Komplex (Plutonite, Migmatite, Metamorphite)

Gruppe 1: Granite, Migmatite und Gneise (,saure' Ausgangsgesteine)

Der Basement-Komplex wurde mit Ausnahme der Intrusivgesteine als homogene Einheit ausgewiesen.

- Vulkanite

Gruppe 2: Phonolite und Trachyte (,intermediäre' Ausgangsgesteine)

Gruppe 3: Basalte- und Mugearite (,basische' Ausgangsgesteine)

Gruppe 4: Sedimentary rocks

- Superficial deposits

Gruppe 5: Colluvium (,sauer')

Gruppe 6: Calcrete (reich an CaCO_3)

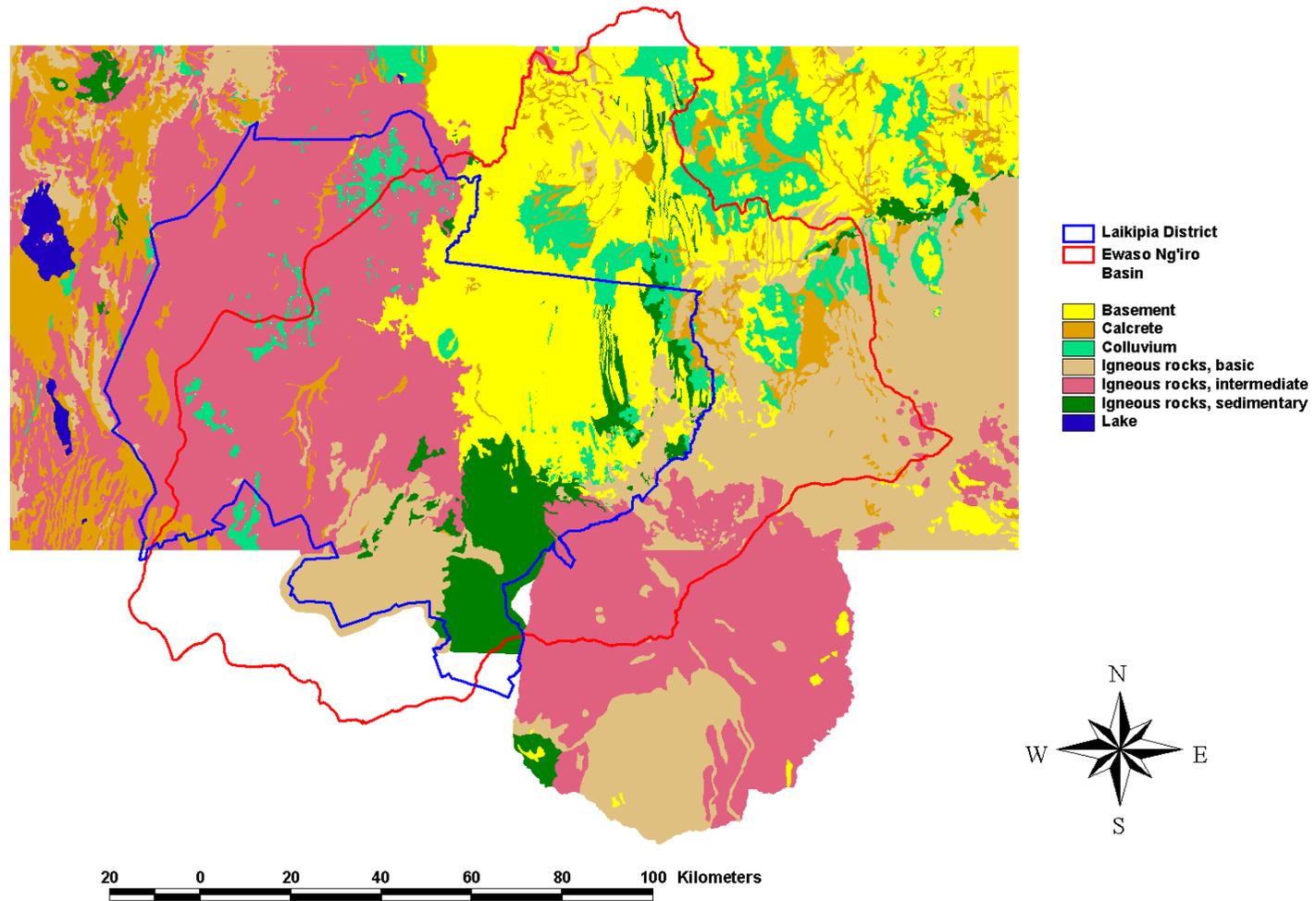


Abb. 4.4: Lithologien Upper Ewaso Ng'iro Basin, Kenia (SHACKELTON 1945, BAKER 1967, MC CALL 1967, HACKMAN 1988, HACKMAN et al. 1989, MINISTRY OF WATER DEVELOPMENT 1987)

4.3 Physiographie

Im Relief Ostafrikas dominieren die beiden grossen Formengemeinschaften des Vulkanismus und der Einrumpfung. In Kenia setzen am Westrand einer bis zur Küste des Indischen Ozeans reichenden Aufschüttungsebene Rumpfflächen an, die bis zu den mit Vulkanen besetzten Schultern des Ostafrikanischen Grabens auf 1700 Meter über Meer ansteigen und sich jenseits des Grabens, nach leichter Absenkung auf 1300 bis 1500 Meter über Meer, fortsetzen. Sie schneiden vielfach die alten Strukturen des Untergrundes, der grösstenteils aus präkambrischen Gneisen mit granitischen Intrusionen besteht. Den ausgedehnten Ebenen sitzen Rumpfgebirge und Inselberge auf, die in der Regel an stärker resistente Schichtenfolgen der Gneise oder an die Intrusivkörper gebunden und daher als gesteinsbedingte Restberge zu bezeichnen sind. Durch Rumpfstufen werden die Ebenen zwei Stockwerken zugeordnet (SPÖNEMANN 1974).

Der mit der Tektogenese einhergehende Vulkanismus hat in der Nachbarschaft des Ostafrikanischen Grabens auf die Rumpfflächen des oberen Stockwerks Lavadecken gelegt und sie damit fossilisiert. Das tiefere Stockwerk reicht vielfach bis an den Rand des fossilisierten oberen Stockwerks, von dem es sich durch Höhenunterschiede bis zu 300 m absetzt (SPÖNEMANN 1974).

4.4 Vegetation und Landnutzung

Einleitend muss der im folgenden häufig angesprochene Begriff der „large scale“ oder „small scale“ Farmen etwas näher erläutert werden. Allgemein gilt, dass „small scale farms“ all jene Besitztümer beinhalten, welche unter acht Hektaren Land besitzen (THUROW, HERLOCKER 1993). Farmen mit einer Fläche von über acht Hektaren bezeichnet man hingegen als „large scale“ Betriebe.

Ein grosser Teil des Basin wird von kommerziellen „large scale“ Farmen bewirtschaftet. Die trockenen nördlichen Regionen von Mukogodo, Isiolo und Wamba hingegen werden auf kommunaler Ebene als Weideland benutzt. Zusätzlich finden sich hier auch pastorale Gemeinschaften wie die Maasai, Samburu, Boran, Turkana, Ndoroba und Somalis (THUROW, HERLOCKER 1993).

Landwirtschaftlich kultiviertes Land belegt nur einen kleinen Anteil des Untersuchungsgebietes. So finden sich Getreidefarmen hauptsächlich in einem schmalen Streifen um den Mt. Kenya und die Nyandarua Range. Anliegend zu diesen Grossfarmen finden sich die Besiedlungen der Kleinfarmen als Mischbetriebe. Mais stellt dabei den grössten Anteil, ergänzt durch den Anbau von Bohnen und Kartoffeln (KÖHLER 1987).

Forstgebiete finden sich in höher gelegenen Gebieten des Mt. Kenya, der Nyandarua und Nyambene Hills. Wälder mit einer kleineren Beschirmung, sowie Busch- und Strauchvegetation, kommen im Hochland von Mukogodo und Engare Ndare, der Mathews Range sowie an Hügeln und kleineren Steilhängen vor (MATI 1999).

Weiter finden sich zwei Nationalparks im Untersuchungsgebiet. Hier handelt es sich einerseits um den „Samburu National Park“ sowie das „Buffalo Springs Game Reserve“. Beide Parks sind ausschliesslich für wildlebende Tiere reserviert (MATI 1999).

Eine graphische Darstellung der Vegetationseinheiten bietet Abb. 4.5. Zusätzlich ist aus Gründen der besseren Übersichtlichkeit in der folgende Zusammenstellung das Untersuchungsgebiet in die drei Hauptzonen eingeteilt und die jeweiligen Vegetation- sowie Landnutzungstypen zugeordnet (KÖHLER 1987).

- Gebirgszone Mt. Kenya:

Die alpine Zone sowie die Mooregebiete oberhalb der Waldgrenze (3000-3500 Meter über Meer) weisen eine natürliche Vegetation ohne oder mit nur geringer menschlicher Tätigkeit auf.

Auch die etwas tiefer liegenden oberen Gebirgshänge besitzen grösstenteils immer noch intakte und natürliche Waldgebiete.

Im Gebiet der unteren Gebirgshänge wurde die natürliche Vegetation zum Teil durch Forstplantagen, landwirtschaftliche Kulturlächen, Weideland oder Mischnutzung bereits stark verändert.

- Plateauzone (west- bis nordwestlich des Mt. Kenya):

Landwirtschaftliche Nutzflächen dehnen sich weiter in die semi-ariden Gebiete aus (Mischbetriebe mit Landwirtschaft und Viehhaltung).

Das Weideland der Grossfarmen besitzt eine gute Grassbedeckung (westlich Mt. Kenya).

Die Weideareale der Kleinfarmen sind eher kahl und besitzen eine reduzierte Krautbedeckung (nordwestlich des Mt. Kenya).

Die Oberflächen der Hügel, Hänge und Trockentäler weisen eine dichtere Vegetationsdecke auf.

- Tieflandzone (nördlich des Mt. Kenya)

Die Flusstäler, Berge, Hügel und Hänge besitzen eine meist noch dichte, natürliche Vegetation. Abhängig von der Oberflächenbeschaffenheit sowie weiteren limitierenden Faktoren wie Wasserhaushalt, Skelettgehalt, Bodenstruktur, Verdichtung kann die Bedeckung reduziert oder lückenhaft sein.

Ausserhalb obgenannter Gebiete findet sich die Baum- und Strauchvegetation hauptsächlich in Form einer natürlichen Savannenlandschaft vor. Die Krautdecke ist aufgrund der enormen Belastung durch die Überweidung jedoch sehr lückenhaft.

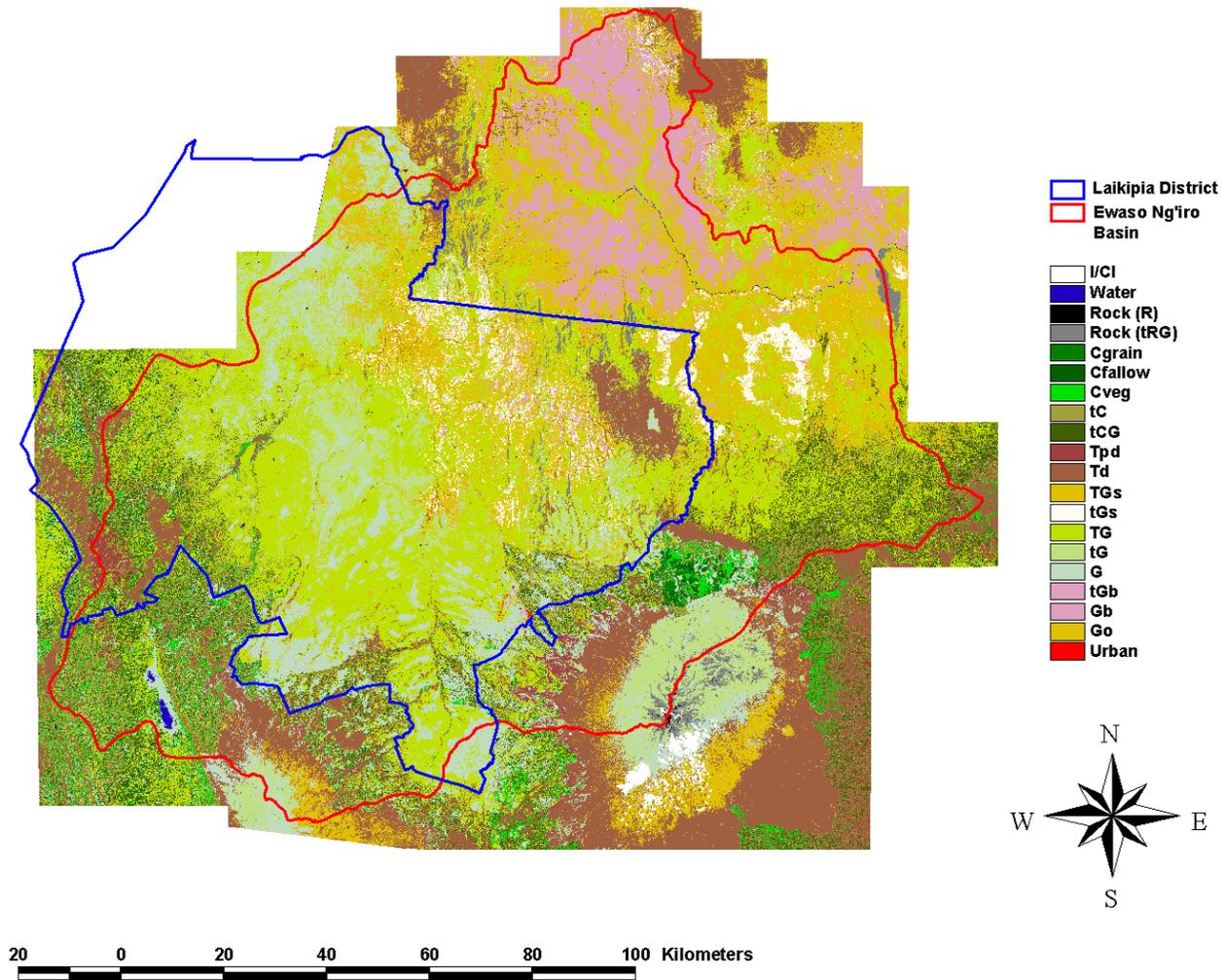


Abb. 4.5: Vegetation und Landnutzung Upper Ewaso Ng'iro Basin, Kenia (LINIGER et al. 1998a, ROTH 1997, NIEDERER 2000)

5 Feldarbeit

5.1 Planung im Vorfeld

Da die Qualität der Datengrundlagen für das Modell von entscheidender Bedeutung ist, wurde bei der Planung der Feldarbeit im Vorfeld des Aufenthaltes in Kenia eine qualitative Bewertung aller vorhandenen Daten durchgeführt. Die Überprüfung richtete sich vor allem nach dem Vorhandensein entscheidender Bodenparameter (Textur, C-Gehalt, N-Gehalt usw.) sowie genauer geographischer Lagebezeichnungen, da für die spätere Auswertung mit dem GIS die Angaben genauer Koordinaten (UTM oder DD) von Entscheidung sind.

Vor diesem Hintergrund wurden Daten mit unzureichenden oder fehlenden Laboranalysen gänzlich aus der Arbeit weggestrichen. Bei der weiteren Überprüfung der Koordinaten stellte sich die Frage, welche Standorte heute noch aufgefunden und geokodiert werden könnten. Am Ende dieser Qualitätskontrolle blieben uns 265 Punktinformationen, wovon bereits 181 in der SOTER-Datenbank eingetragen waren, jedoch fehlten bei den meisten die genauen Koordinaten.

Die für das Modell erforderliche Datenmenge wurde erfahrungsgemäss auf ca. 360 Analysen geschätzt. Der Umfang wurde Anhand der Anzahl zu bildender Klassen sowie der ungefähren Menge der Informationen pro Klasse errechnet (GERBER 2000).

Somit gliedert sich die Feldarbeit in folgende zwei Hauptaufgaben: Auffinden und geokodieren bereits vorhandener Profilanalysen sowie der zusätzlichen Probeentnahme an vorher ermittelten Standorten.

5.2 Auffinden und geokodieren bereits vorhandener Profilanalysen

Das Problem des Auffindens und geokodieren bereits vorhandener Profilanalysen stellte sich teils als relativ einfach, teils jedoch auch als sehr schwer bis unlösbar dar. So wurde an mehreren Feldtagen die alten Forschungsgebiete aufgesucht und versucht, die damalige Lage der Profile zu rekonstruieren. Erwähnt werden muss an dieser Stelle noch, dass einige Profile bereits vor zehn Jahren analysiert und auch wieder geschlossen wurden. Der Vorgang beinhaltete zu Beginn die Festlegung des Grobstandortes anhand von Regions-, Orts- und Lokalangaben auf den Aufnahmeblättern. Aus den weiteren Angaben wie Skizze, Landschaftsformen, Relief, Exposition, Bemerkungen usw. sowie aus den Erinnerungen der Aufnahmepersonen (G. Kironchi, H.P. Liniger), des Fahrers (Ben) und der damaligen Profilvergräber wurde dann versucht, den genauen Standort zu rekonstruieren. Dies teils mit grossem Erfolg. So war häufig die Erinnerung an den Standort zurückgekehrt und konnte anhand der Angaben genügend verifiziert werden. Auch wurde die damalige Grube als leichte, profilförmige Geländesackung im Feld oft wiedererkannt (Verg. Abb. 5.1).



Abb. 5.1: Hinweis auf das Vorhandensein einer früheren Profilgrube: profilförmige Geländesackung. Feldarbeit BINGGELI, LEDERMANN 2002

Die auf den Aufnahmeblättern vermerkten Standortsangaben konnten jedoch nicht immer jegliche Zweifel entfernen und so blieben einige unsichere Samples unbearbeitet und werden auch nicht in der Modellrechnung angewendet noch in dieser Arbeit erwähnt.

Die Erfolgsquoten beim Auffinden der Altstandorte hing auch vom Gebiet selber, dessen Grösse wie auch der Punktdichte ab. So konnten relativ kleine, gut bekannte Catchments wie Sirima oder Mukugodo mit einer grossen Dichte an Profilen relativ gut bestimmt werden. Andere Gebiete, in welchen sich in den letzten Jahren einiges verändert hatte, konnten meist nur ungenaue Koordinaten liefern und wurden somit weggelassen.

Konnte am Ende des gesamten Prozesses die Lage als gesichert angenommen werden, wurde sie anhand der zwei GPS-Geräten eingemessen und die Koordinaten jeweils gespeichert sowie zusätzlich auf ein angefertigtes Feldformular als Hardcopy übertragen. Zusätzlich zu den genauen Lageangaben wurde die aktuelle Vegetation erhoben.

5.3 Probenahme

Vor dem Beginn der Entnahme zusätzlicher Bodensamples stellte sich die Menge der Punktinformationen, welche für die Modellrechnung genutzt werden können, wie folgt dar (Tab. 5.1):

Source	Type of survey	Area	SOTER-Unit ID	Profiles lab. analysed	Profiles used for model
MBUVI, KIRONCHI 1994	Rec	Ewaso Ng'iro	1001 - 1018	18	18
MBUVI 1989	Site evn	Marura scheme	1019 - 1023	5	3
AHN, GEIGER 1987	Rec	Laikipia	2001 - 2017	17	17
DESAULES 1986	Semi- dtm	Timau- Nm	3001 - 3031	31	31
WANJOGU 1992	Detailed	Sirima, Mukogodo	4001 - 4036	36	36
SPECK 1983.	Rec	Mt. Kenya, Nyk- Nm	5031 - 5086	30	30
COLLIER 1962.	Rec	Ewaso Ng'iro	6314 - 6466	11	11
MAINGA, WANJOGU, MBUVI 1994	Site evn	Ngenia, Rum, Muk, Sirima	7001 - 7016	16	11
MAINGA, MBUVI 1994	Site evn	Embori, Kalalu, Muk	7017 - 7030	14	14
MATI 1999		Ewaso Ng'iro	7501 - 7583	83	83
KISINYO 1994	Semi- dtd	Emporio, Tel, Timau	8194 - 8230	13	3
LINIGER 1991	Site evn	Kalalu, Matanya		2	2
FURP 1987	Site evn	Ng'arua, Upepo		2	2
GACHENE 1984	Site evn	Broom H Farm	9001 - 9010	3	3
KIRONCHI 1994	Site evn	Karuri, Tel, Timau		4	4
MATHUVA, KITEME, KIRONCHI 1997	Site evn	Ewaso Narok, Pesi		4	4
OKOTH 1991	Site evr	Loosuk, Samburu	10001 - 10005	5	5
EKIRAPA, KINYANJUI 1984	Site evr	Laikipia	11001 - 11009	9	9
VAN ENGELLEN 1983	Site evr	Laikipia	12001 - 12003	3	3
EKIRAPA 1983	Site evr	Laikipia	13001 - 13007	7	7
Total				313	296

Tab. 5.1: Zusammenstellung der Bodenuntersuchungen im Upper Ewaso Ng'iro Basin, Laikipia Kenya

Aufgrund der bereits vorhandenen Datenanzahl mussten im Minimum noch ca. 80 Bodenproben gesammelt werden. Unter der Annahme, dass die Güte des Modells mit steigender Datenmenge verbessert werden kann, wurde keine Obergrenze festgelegt.

5.3.1 Planung der Feldtage

Die gesamte Erhebung der schlussendlich 184 Proben wurde an drei Eintags- und zwei Zweitagsbegehungen durchgeführt. Da es für die Planung der weiteren Feldtage wichtig war zu wissen, wie viele Samples in welcher Zeit gesammelt werden konnten, wurde der erste Feldtag als Übungsbegehung durchgeführt. Zusätzlich zur Zeitkomponente wurde noch auf die Methoden selber eingegangen und allfällige Probleme wenn möglich behoben. Auch das zuvor erstellte Aufnahmeformular konnte somit getestet und Ungereimtheiten im voraus entfernt oder ersetzt werden (Abb. 5.2, S. 56).

Die weiteren Feldtage wurden dann einige Tage zuvor in Nanyuki geplant. Bei der Routenwahl wurde versucht, auf folgende Punkte bestmöglichst einzugehen:

- (1) Homogene Verteilung über das Testgebiet
- (2) Einbezug der Hypothesen
- (3) Berücksichtigung vorhandener Einheiten im Feld
- (4) mögliche Erreichbarkeit des Standorts

- zu (1): Homogene Verteilung über das Testgebiet

Die geographische Darstellung der bereits vorhandenen Daten anhand der zugewiesenen Koordinaten ermöglicht es, eine ungefähr homogene Verteilung der Probestandorte über das Testgebietes aus der Betrachtung her zu erreichen. Die bestehenden Lücken konnten somit klar verringert werden.

- zu (2): Einbezug der Hypothesen

Unter Einbezug der in Kapitel 2.5, S. 27 erläuterten Hypothesen bezüglich geomorphologischen Gesichtspunkten wie Relief, Landschaftsformen sowie von Klima, Vegetation und Landnutzung erhoffte man sich ein möglichst breites Spektrum von unterschiedlichen Böden sowie Bodenparametern zu erfassen. Zusätzlich ermöglicht dieser Umstand eine bessere Beurteilung/Bewertung und Verifizierung der in die Arbeit implizierten Hypothesen.

- zu (3): Berücksichtigung vorhandener Einheiten im Feld

Durch die Auswertung von geologischen Karten, Luftbildern, Boden- sowie Landnutzungskarten und der anschliessenden grossräumigen Betrachtung im Feld wurde versucht, die Probestandorte nicht an die Grenzen oder Übergangszonen bereits bestehender Einheiten zu legen. Dies ermöglicht es, die Bedeutung auftretender Ungenauigkeiten bedingt durch das GPS zu reduzieren. Zusätzlich wurden für einige Samples, wenn die Bedingungen konstant blieben, eine zweite Position bestimmt.

- zu (4): mögliche Erreichbarkeit des Standorts

Aus Zeitgründen konnten nur gut erreichbare Standorte als mögliche Probestandorte gewählt werden. Bestimmte Gebiete, welche nicht über einen Zugang per Strasse verfügten, mussten somit gänzlich vernachlässigt werden. Zusätzlich stellte sich das Problem vom Zustand und Besitzrechten der in der Planung ausgeschiedenen Strassen. Somit war die Routenwahl grundsätzlich nicht ohne Aufsicht unseres Fahrers möglich.

Die am Ende der Planungsphase erstellten Routenblätter (Kap. 5.3.4, S. 66) enthielten Ortsangaben, Distanzmessungen hin zu markanten Gegebenheiten hinsichtlich Infrastruktur (Strassenkreuzungen, Brücken) und Naturraum (Berg, Vegetationsbestände) sowie die aus den Karten abgelesenen Koordinaten eines jeden Standortes. Jedoch konnten aus jeweils unterschiedlichen Gründen nicht alle in der Planungsphase erarbeiteten Standorte beprobt werden.

5.3.2 Probenahme und Analysen

Bei der Probenahme wurde jeweils versucht, möglichst ungestörte Bodenstandorte zu wählen und den Abstand zur Strasse auf Minimum 20 Meter zu halten. Anschliessend wurde jeweils das Feldformular vollständig ausgefüllt. Dabei wurde versucht, ein möglichst allgemeines Bild der näheren Umgebung wiederzugeben. Die Koordinaten wurden anhand zweier GPS-Geräte bestimmt und anschliessend die beiden Werte gemittelt. Gleiches betrifft die Höhe über Meer. Zusätzlich wurde von annähernd jedem Standort ein Photo abgelichtet, welches die Verhältnisse noch visuell erhalten soll. Auf die weiteren Aufnahmefelder wird im Kapitel 5.3.3 eingegangen.

Die Bodenentnahme erfolgte meist mit Hilfe eines Pickels, da aufgrund der herrschenden klimatischen Bedingungen der Boden oft sehr hart war und zuerst eine Auflockerung stattfinden musste. Anschliessend wurden ca. 1-2 Kilogramm Oberboden (0...15 cm) homogen vermischt und in Probesäckli abgefüllt und angeschrieben.

Die gesammelten Proben wurden am Ende unserer Feldarbeit am Department of Soil Science, University of Nairobi analysiert. Die angewendeten Standardmethoden sind in KLUTE (1986) und SPARKS et al. (1996) aufgezählt und beschrieben. Tab. 5.2 gibt eine Zusammenstellung der durchgeführten Analysen sowie über die angewendeten Methoden.

	Texture	Exch. Ca	Exch. Mg	Exch. Na	Exch. K	CEC	Total Carbon	Total Nitrogen
Method	Hydrometer method	Atomic Absorption Spectrometer		flame photometer		Leaching method	Walkley – Black method	Kjeldahl method

Tab. 5.2: Übersicht über die analysierten Bodenparameter sowie die angewendete Methode (aus KLUTE 1986, SPARKS et al. 1996)

5.3.3 Feldformular und Theorie

Als Hilfsmittel für die Bestimmung der wichtigen Standort- und Bodeneigenschaften wurde das in Abb. 5.2 wiedergegebene Feldformular benutzt. Das Feldformular entstand während den Vorarbeiten in der Schweiz.

Nach Abschluss der Feldarbeit bleibt noch zu sagen, dass sich das Feldformular in dieser Form während der ganzen Arbeit sehr bewährt hat. Es enthält viele Informationen welche zu einem späteren Zeitpunkt ohne grössere Probleme abgerufen werden können. Für kommende Feldbegehungen ist jedoch eine kleine Anpassung sehr entscheidend. So sollte neben der Aufnahme der Flächenanteile [%] von Trees/Shrubs/Grasses/Forbs auch der Anteil an „bare ground“, das heisst die gänzlich vegetationsfreie Fläche als Prozentschätzung ins Feldformular integriert werden.

Sample No. 1.	Date 2.	Coordinates GPS1 3a.	Asl GPS1 4a.	Coordinates GPS2 3b.	Asl GPS2 4b.	Scetch 5.	
Photo No. / Dir. 6.		Major Landform 7.	Landuse 8.				Slope 9.
Location 10.		Veg.code 11.	Trees 12a.	Shrubs 12b.	Grasses 12c.		forbs 12d.

Soil moisture 14.				Munsell color dry 17a.		Munsell color wet 17b.		Organic matter (%) 18.	Remarks 22.
Dry	Moist	Wet	Very wet						
Texture 15.				Compaction pen (cm) 19a.		Compaction knife (cm) 19b.		pH Hellige 20.	
Clay	Silt	Sand	class						
Structure 16.				Soft	Medium	Hard	Very hard	Ring samples 21.	
								yes	no

Abb. 5.2: Sample-Sheet Laikipia/ Kenya Jan. to Mar. 02, Thomas Ledermann and Sandra Binggeli

Erläuterung zum Feldformular:

- zu (1): Sample No.

Die Sample No. bezieht sich auf die Bezeichnungen im SOTER. Die ersten beiden Ziffern beziehen sich auf den Autor, die Zehner und Einer auf die Probe selber. KE steht als Kurzzeichen für Kenia. Die während unserer Feldarbeit gesammelten Proben tragen die IDs von KE1501-KE1683 sowie einigen KE#####B/C für zweite Koordinatenbestimmungen in der selben Einheit.

Autorenverzeichnis siehe Tab. 5.1, Seite 53.

- zu (2): Date

Datum der Probenahme [Tag.Monat.Jahr].

- zu (3): Coordinates GPS

Feld für den Eintrag der Koordinaten. Es handelt sich um UTM-Angaben.

Die Bestimmung des genauen Standortes wurde falls möglich mit zwei GPS-Geräten durchgeführt. Von den beiden Parallelmessungen wurde anschliessend der Mittelwert ermittelt.

- zu (4): Asl GPS

Bestimmung der Höhe über Meer [m] anhand des GPS. Auch hier wurden Parallelmessungen mit zwei GPS-Geräten durchgeführt und der Mittelwert ermittelt.

- zu (5): Scetch

Bei der Skizze wird ein Lageplan des Probestandortes erstellt. Abgebildet wird der Probestandort, Landschaftsmerkmale, anthropogene Besonderheiten sowie die jeweiligen Himmelsrichtungen. Sie dient zur späteren Wiederorientierung im Feld.

- zu (6): Photo No./Dir.

An den Probestandorten wurde meist zusätzlich zur Lage- und Landschaftsbeschreibung ein Foto abgelichtet. Dieses dient zur visuellen Archivierung der Verhältnisse. Zusätzlich zur Fotonummer wird noch die Aufnahme-richtung festgehalten.

- zu (7): Major Landform

Dieses Feld enthält Angaben über die übergeordnete Landschaftseinheit in welcher sich der Probestandort befindet (nach FAO 1977) (Tab. 5.3).

Physiographic position	Topography of surrounding country
Plateau	Flat or almost flat
Summit	Undulating
Crest (escarpment)	Rolling
Slope	Hilly
foot	Steeply dissected
middle	Mountainous
upper	
top	
convex	
concave	
Terrace	
Valley bottom	
Plain	
Depression	

Tab. 5.3: Major Landform – Description terms (nach FAO 1977: 8)

- zu (8): Landuse

Aufgenommen wird die aktuelle Landnutzung des Probestandortes (abgeändert nach ESAGJ 1998) (Tab. 5.4).

Land use	Further description
Urban areas	Grazing
Small-scale farming	extensive
Pastoralist area	intensive
Large-scale ranching	overgrazing
Forest areas	Cultivating
River	extensive
Swamps	intensive
Nationalpark	crops
	fallow
	Logging

Tab. 5.4: Landuse – Description terms (abgeändert nach ESAGJ 1998: 49, Figure 1. Source: LRP Database 1996)

- zu (9): Slope

Die Neigung am Aufnahmepunkt wurden mit dem Klinometer gemessen. Die Angaben sind in Prozenten.

- zu (10): Location

Aufnahme von Standortsbezeichnungen in Bezug auf die topographischen Karten 1/50'000. Viele Namen sind jedoch nicht mehr aktuell, da die Grossfarmen subdividiert wurden.

- zu (11): Veg.code

Angaben zum Vegetationskode nach dem ESAGJ 1998 (Tab. 5.5).

Classes	Description
Td	> 50% dense trees
TPd	> 50 % dense planted trees
Go	> 50 % bamboo-grass
TG	> 50 % grassland with 20- 50 % trees
tG	> 50 % grassland with 2-20 % trees
TGs	> 50 % sparse grassland with 20- 50 % trees
tGs	> 50 % sparse grassland with 2- 20 % trees
tGb	> 50 % bare grassland with 2- 20 % trees
G	> 50 % grassland
Gb	> 50 % bare grassland
Cveg	> 50 % cropland (green vegetation)
Cgrain	> 50 % cropland (grain)
Cfallow	> 50 % cropland (fallow)
tC	> 50 % cropland with 2- 20 % trees
tCG	> 50 % cropland with 20- 50 % grassland and 2- 20 % trees
R	> 50 % rock
tRG	> 50 % rock with 20- 50 % grassland and 2- 20 % trees

Tab. 5.5: Land Use/Vegetation Cover (aus ESAGJ 1998: 31, Figure 2. Source: ROTH 1997, THOMAS 1993)

Folgende Fotobeispiele aus der Feldarbeit von BINGGELI, LEDERMANN 2002 liefern einen Einblick in die oben aufgeführten Vegetationsklassen:



Abb. 5.3: Vegetationsklasse Td: > 50 % dense trees. l: KE1613, r: KE1542, Nkare E Ntare



Abb. 5.4: Vegetationsklasse Go: > 50 % bamboo-grass. KE1619, just below Met-Station



Abb. 5.5: Vegetationsklasse TGs: > 50 % sparse grassland with 20 – 50 % trees. KE1515, close to Longopito



Abb. 5.6: Vegetationsklasse G: > 50 % grassland. KE1502, Segera Ranch



Abb. 5.7: Vegetationsklasse C_{fallow}: > 50 % cropland (fallow). KE1657, Lailofa

- zu (12a-d): Trees/Shrubs/Grasses/Forbs

Schätzung der Flächenanteile in Prozent für den jeweiligen Vegetationstypen. Grundlage für die Bestimmung der Veg.code.

- zu (13): Erosion

Angabe über die qualitative Klassifikation der Bodenerosion am Standort (Mati 1999). Die jeweiligen Verhältnisse wurden bezüglich folgender Klassen beurteilt (Tab. 5.6). Abb. 5.8 zeigt die Erosionsproblematik anhand eines, während unserer Feldarbeit in Mukogodo begangenen Erosionsgullys, eindrucklich auf.

Classes	Description
1	no apparent erosion
2	slight or moderate erosion
3	moderate loss of topsoil generally and/or some dissections by run-off channels or gullies
4	severe loss of topsoil generally and/or marked dissection by run-off channels or gullies
5	very severe erosion with exposed subsoil and intricate dissection by run-off channels or gullies

Tab. 5.6: *Qualitative classification of soil erosion at the test sites (MATI 1999: 87, Table 4.4)*



Abb. 5.8: *Feldarbeit BINGGELI, LEDERMANN 2002: Gullyerosion Mukogodo*

- zu (14): Soil moisture

Angabe über den aktuellen Feuchtezustand des Bodens. Unterschieden wird zwischen trocken, feucht, nass und sehr nass.

- zu (15): Texture

Bei der Textur wird eine Einteilung der Äquivalentdurchmesser der Partikel in Fraktion angelegt. Zunächst trennt man das Bodenskelett mit Äquivalentdurchmesser $> 2\text{mm}$ vom Feinboden mit Durchmesser $< 2\text{mm}$. Die weitere Einteilung der Feinbodenfraktionen Sand, Schluff und Ton erfolgt bei $0,063\text{ mm}$ und $0,002\text{ mm}$ (SCHEFFER/SCHACHTSCHABEL 1998).

Im Gelände bestimmt man die Bodenart durch die Fingerprobe und nach sichtbaren Merkmalen. Das Bodenmaterial wird dabei zwischen Daumen und Zeigefinger gerieben und geknetet. Körnigkeit, Bindigkeit und Formbarkeit des Materials können mit ausreichender Sicherheit am schwach feuchten Bodenmaterial festgestellt werden. Die Mitnahme von Wasser zum Befeuchten trockener Böden ist zweckmässig (AG BODENKUNDE 1996). Die Tonfraktion ist gut formbar und hat eine glänzende glatte Schmierfläche. Schluff ist weniger formbar, mehlig und leicht staubig werdend. Seine Schmierfläche ist rau. Sand ist nicht formbar, schmutzt nicht, seine Körnigkeit ist zu erkennen. Bei humosen Proben (von der Farbe her anzusprechen) ist der Humusgehalt von dem für die Tonfraktion geschätzten Wert abzuziehen. Von geübten Kräften kann der Anteil dieser drei Fraktionen im Bereich bis zu 20 % Ton mit ca. 5 % Genauigkeit geschätzt werden. Bei Tonanteilen über 20 % wird die Schätzgenauigkeit geringer. Es ist also in vielen Fällen möglich, eine Körnung mit Hilfe der Fingerprobe einer Bodenart, also einem Flächenabschnitt in einem Körnungsdreieck wie Abb. 5.9, mit hoher Sicherheit zuzuordnen (SCHEFFER, SCHACHTSCHABEL 1998).

Die Angaben im Feldformular sind in Prozenten. Im Feld wurde versucht, den Anteil an Ton und Sand zu schätzen. Anschliessend konnte der Gehalt an Schluff nur noch errechnet werden (Auswertung Feldschätzung: Verg. BINGGELI 2003). Die Texturklasse kann aus dem Körnungsdreieck (Abb. 5.9) abgelesen werden.

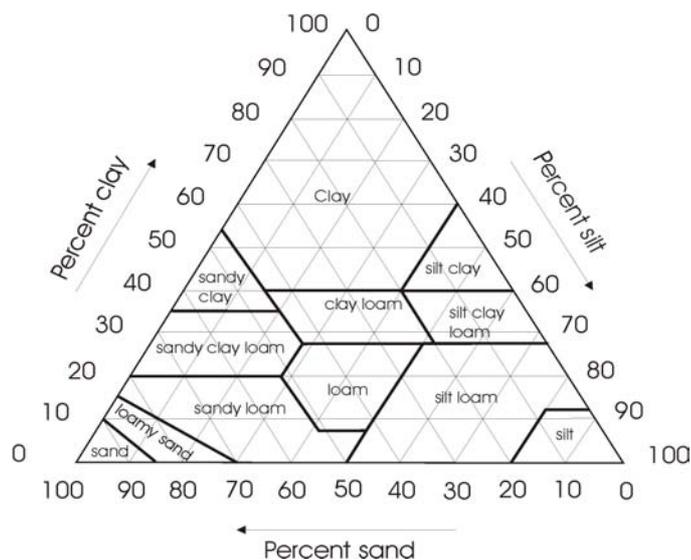


Abb. 5.9: Bodenarten des Feinbodens nach der US-Soil-Taxonomy (aus Soil Science Society of America; <http://www.soils.org>)

- zu (16): Structure

Die Anordnung der festen Bodenkomponenten und die Art der Gliederung des Porenvolumens im natürlich gelagerten Boden wird Bodengefüge oder Struktur genannt. Die mit blossen Auge erkennbaren Gefügestrukturen werden als Makrogefüge bezeichnet. Dieses wird in drei Hauptgruppen unterteilt, die auch im Freiland deutlich zu unterscheiden sind: in Einzelkorn-, Kohärent- und Aggregatgefüge (SCHEFFER, SCHACHTSCHABEL 1998).

Die Ansprache im Feld erfolgt nach der Klassifikation der FAO. Angaben beziehen sich immer auf die Grösse und den jeweiligen Strukturtypen. Tab. 5.7 gibt eine Aufzählung der im Feld anzutreffenden Grössenverhältnisse und Typen wieder.

Size classes	Range of size of structure elements [mm]				
	platy	prismatic/columnar	(sub)angular. blocky	granular	crumb
very fine	< 1	< 10	< 5	< 1	< 1
fine	1 - 2	10 - 20	5 - 10	1 - 2	1 - 2
medium	2 - 5	20 - 50	10 - 20	2 - 5	2 - 5
coarse	5 - 10	50 - 100	20 - 50	5 - 10	
very coarse	> 10	> 100	> 50	> 10	

Tab. 5.7: Size classes for structure elements of various types [mm] (Soil Survey Staff 1951; FAO 1977: 31)

- zu (17a/b): Munsell color dry/wet

Bei der Ansprache von Bodenfarben wird der subjektive Farbeindruck durch unterschiedliche Beleuchtung, Grösse der Farbfläche, Verteilungsform und Farbe der umgebenden Flächen sowie des Hintergrundes sehr stark beeinflusst. Eine allgemein vergleichbare Farbansprache ist daher nur bei Benutzung von Farbtafeln möglich. In der Bodenkunde haben sich die „Munsell Soil Color Charts“ bewährt.

Bei der Farbansprache muss der Boden so stark durchfeuchtet sein bzw. so angefeuchtet werden, dass durch weitere Befeuchtung keine Farbänderung mehr auftritt. Bei trockenem Boden empfiehlt es sich, auch dessen Farbe festzuhalten. In den Munsell-Farbtafeln werden die Farben mit Symbolen aus Buchstaben und Zahlen festgelegt, wobei Farbe (Hue), Helligkeit (Value) und Intensität (Chroma) berücksichtigt sind (AG BODENKUNDE 1996).

Die Helligkeit (Value) steht mit dem Humusgehalt und mit der Art der Huminstoffe im Zusammenhang. Dunkle Böden sind meistens huminstoffreich. Die Farbstärke (Chroma) steht im Zusammenhang mit dem Eisengehalt oder anderen färbenden Mineralstoffen des Bodens. Massgebend ist neben der Menge auch die chemische und mineralogische Form sowie der Zerteilungsgrad des Eisens in der Bodensubstanz (FREY, PEYER 1991).

- zu (18): Organic Matter [%]

Vergleiche Kapitel 2.2.2., Seite 20.

Schätzung über den Gehalt an organischer Substanz im Oberboden (Mischprobe mit Bodentiefe von 0...15 cm) aufgrund der Farbhelligkeit. Je höher der Humusgehalt, desto dunkler ist der Boden und desto feiner fühlt er sich an. Jedoch sind die obgenannten Eigenschaften noch von weiteren Parametern abhängig und so ist es oft schwierig, aus diesen Beobachtungen sichere Schlüsse auf die Höhe des Humusgehaltes zu ziehen (AG BODENKUNDE 1996). Auf den Vergleich zwischen geschätztem und tatsächlichem Humusgehalt, die Beurteilung der angewandten Feldmethode sowie weitere theoretische Ansätze wird in den Kapitel 6.1, Seite 71 und Kapitel 9 (S. 119) eingegangen.

Der geschätzte Gehalt an organischer Substanz im Oberboden wurde anschliessend einer der folgenden Klassen zugeteilt:

Kurzzeichen	Masse-%	Bezeichnung
h0	0	humusfrei
h1	< 1	sehr schwach humos
h2	1 – 1.99	schwach humos
h3	2 – 3.99	mittel humos
h4	4 – 7.99	stark humos
h5	8 – 14.99	sehr stark humos
h6	15 – 29.99	äusserst (extrem) humos, anmoorig
h7	> 30	organisch

Tab. 5.8: Gehalt an organischer Substanz im Boden (nach AG BODENKUNDE 1996: 108, Tabelle 10)

- zu (20a/b): Compaction Knife/Pen

Bei der Verdichtung handelt es sich um den Vorgang der Verringerung des Gesamtvolumens des Bodens durch Verpressung oder Setzung. Als Folge davon steigt der Anteil der Festsubstanz (erhöhte Lagerungsdichte), das Porenvolumen verringert sich und die Porengrössenverteilung verändert sich (Abnahme des Grobporenanteils) (nach AG BODENKUNDE 1996).

Für die Beurteilung der Verdichtung eines Bodens wird ein Bleistift oder ein Messer mit Druck senkrecht auf die zu bestimmende Oberfläche gedrückt. Nach einigen Versuchen kann eine Tabelle erstellt werden, welche die Verdichtung des Bodens qualitativ in Klassen abbildet und Vergleiche mit anderen Böden ohne Einschränkung zulässt (Tab. 5.9). Gut wäre es, wenn die Methode jeweils von der gleichen Person angewendet werden könnte. Somit wird der Druck auf Messer oder Bleistift annähernd konstant gehalten und die Einteilung in Klassen gewinnt deutlich an Aussagekraft. Werden zusätzlich bei einigen Böden verschiedener Verdichtungszustände Zylinderproben gesammelt und analysiert, kann den Klassen sogar ein quantitativer Wert zugeordnet werden.

Klasse	Methode	erreichte Tiefe [cm]
very soft	Messer	+5.0
	Bleistift	+5.0
soft	Messer	- 3.5
	Bleistift	- 2.0
medium	Messer	- 1.5
	Bleistift	- 0.5
hard	Messer	- 0.5
	Bleistift	0.0

Tab. 5.9: Grobmethode zur Abschätzung der Verdichtung-Eichungstabelle (BINGGELI, LEDERMANN 2002)

- zu (21): pH-Hellige

Viele Böden versauern im Laufe der Pedogenese, weil ihnen mehr Protonen zugeführt werden als sie neutralisieren, das heisst puffern können – sie entwickeln Bodenacidität. Das Pufferungsvermögen eines Bodens ist seine Fähigkeit, bei einer Zugabe von Basen oder Säuren die Veränderung des pH-Wertes in engen Grenzen zu halten. Zwei Faktoren bestimmen das Pufferungsvermögen eines Bodens: Die Ionenaustauschkapazität und die Basensättigung. Ein Boden durchläuft in seiner Entwicklung hin zu einem bestimmten Bodentyp, verschiedene Säurestufen. Im Boden sind eine Reihe von Puffersystemen wirksam, welche anfallende H^+ -Ionen binden können. Solange das jeweilige Puffersystem die puffernden Ionen noch nicht aufgebraucht hat, kann es weiterhin H^+ -Ionen neutralisieren und der pH wird konstant bleiben (GERMANN, SCHICHLER 1999). Der pH-Wert gibt somit an, in welcher Pufferungsstufe sich ein Boden befindet.

Der pH-Wert des Bodens wurde anhand eines pH-Helligen Feldset bestimmt. Dabei wurde darauf geachtet, immer etwa die gleiche Menge Bodensubstanz sowie Indikatorenlösung zu benutzen. Auch die Einwirkzeit der Lösung wurde konstant gehalten. Der Wert kann dann mit Hilfe der Farbskala abgelesen werden.

- zu (22): Ring samples

Während der Vorbereitungsphase zur Feldarbeit war die Idee entstanden, die Verdichtungsgrobmethode anhand von mehreren Stechzylinderproben zu eichen. Aus Zeit- und Materialgründen musste schlussendlich auf diesen Zugang verzichtet werden.

- zu (23): Remarks

Allfällige Besonderheiten oder Bemerkungen werden vermerkt. Hinweise zur Position des Probestandortes, der näheren Umgebung oder hinsichtlich des Bodentypes sowie wichtige bodenbestimmende Parameter werden zusätzlich noch aufgenommen.

Zusätzlich ist auf einigen Feldformularen am unteren Rand jeweils eine SOTER-ID-B (C) sowie zwei weitere GPS-Messungen aufgeführt. Diese Angabe bezieht sich auf eine zweite Koordinatenbestimmung für die im Formular angegebenen Werte. Dieser Umstand ermöglichte es uns, ohne grossen Aufwand die Menge an gesammelten Punktinformationen zu erhöhen. Es wurde darauf geachtet, dass die Zweitbestimmungen in der selben

geologischen sowie geomorphologischen Einheit stattfanden. Zusätzlich wurden auch die Oberflächenverhältnisse interpretiert und falls Abweichungen erkennbar waren, auf die zweite Messung verzichtet. Der Abstand von der ersten zur zweiten Ortsbestimmung beträgt immer mehr als 30 Meter, da in der anschliessenden Auswertung eine Pixelgrösse von eben gerade diesen 30 Metern gewählt wurde und zwei Datensätze pro Pixel keine Erleichterung darstellen würden.

5.3.4 Routen

Wie bereits in Kap. 5.3.1 unter Punkt (d) erwähnt, konnten aus Zeitgründen nur gut erreichbare Standorte beprobt werden. Jene Gebiete, welche nicht durch eine Strasse erschlossen sind, mussten somit gänzlich vernachlässigt werden. So kommt es, dass grosse Flächen im Testgebiet nicht mit Samples und Analysen erschlossen werden konnten und die Homogenität der Verteilung der Probestandorte nicht in jedem Fall möglich war. Jedoch nicht nur das Vorhandensein von Strassen und Pfaden, sondern auch deren Zustand, war von entscheidender Bedeutung. Da die Routenplanung hauptsächlich im Büro von NRM3 aufgrund der Toposheets 1/50000 erstellt wurde, musste ein Ortskundiger uns meist Hilfe leisten. Mit dieser Hilfe war es uns jedoch dann möglich, zwei Zwei-Tages-Routen sowie drei Eintagsrouten (Beispielsroute Verg. Tab. 5.10) zu planen und auch die Probenahme durchzuführen. Einige geplante Standorte mussten jedoch dennoch weggelassen oder um einige bis 100 Meter verschoben werden. Grund dafür waren nicht vorhersehbare Gebietseinschränkungen sowie Einschränkungen durch den Kontakt mit der lokalen Bevölkerung. In Tab. 5.10 wird ein Beispiel eines im Feld benutzten Routenblattes tabellarisch aufgelistet. Im Feld „Route“ werden Angaben über zu befahrenden Strassen und deren Zielorte angegeben. „Road“ gibt die genaue Strassenbezeichnung laut den Toposheets wieder. Sind in der gleichen Zelle jeweils noch zwei Ausrufezeichen in Klammer (!!) gesetzt, muss von diesem Punkt jeweils eine GPS-Messung durchgeführt werden und Distanzangaben folgender Samplepunkte beziehen sich nun auf diesen neu eingemessenen Fixpunkt. Meist wurden diese Fixpunkte bereits im voraus ins GPS übertragen. Bei der „Site Description“ werden zusätzliche Informationen bezüglich der Orientierung im Feld aufgeführt. Die „x-“ und „y-coord.“ beziehen sich auf die ungefähren Koordinaten, abgelesen aus den Toposheets. Unter „Remarks“ wird der Grund der Probenahme am jeweiligen Standort erläutert. So handelt es sich häufig um Transektion durch ein Flusstal oder Toposequenzen an einem Berg oder Hügel. Hier wird klar, dass die zu beprobenden Standorte nicht nur zufällig, sondern auch auf Grund der im voraus erarbeiteten Hypothesen ausgewählt wurden. Die Wahl von zufälligen Punkten wurde meist zum Füllen geographischer Lücken vorgenommen. Im Feld „Status“ wird die Wichtigkeit der Beprobung angegeben. Jene Zellen, welche mit einem „x“ ausgefüllt worden sind, sollten falls möglich unbedingt beprobt werden. Die Bezeichnungen „1“, „2“ oder „1/2“ findet sich nur in Formularen zweitägiger Feldbegehungen. Hier wird aufgeführt, ob der Standort am ersten, zweiten oder ersten bzw. zweiten Tag beprobt werden muss. So konnte der Zeitplan jeweils im Feld angepasst und abgeändert werden.

Abb. 5.10 bildet die Gesamtheit aller im Untersuchungsgebiet erhobenen Bodensamples ab. Die während der Feldarbeit zu dieser Studie (BINGGELI, LEDERMANN 2002) analysierten Proben sind als rote Sterne ersichtlich. Die in der Legende angegebenen Soter-Unit IDs können anhand der Tab. 5.1 interpretiert und nach Autor ausgewertet werden.

Route	Road	Site Description	x-coord.	y-coord.	Remarks	Status
Nanyuki	D463					
Mogwooni Ranch	D464					
Mukogodo	E465					
Ol Kimanjoi						
Tura	(!!)	Intersection, 2.5kl from road to Tula	280380	60730	Hill to footslope	
		“	280580	60840	“	
		“	280870	60980	“	
		Distance from Intersection: 6.5 km	276980	66180	random point to cover gap	
		Distance from Intersection: 8.0 km	276780	67780	random point to cover gap	
Ol Dolnya Ng'iro		4 km form Ol Dolnya	278650	71700	footslope	x
		next to Talehill	284150	75050	plain	x
		close to Longopito	290000	77700	plain	
Longopito	E470 (!!)	Intersection	292800	78500	random point to cover gap	
		Distance from Intersection: 5 km	289700	82500	random point to cover gap	
		Ewaso Ng'iro River area - far away	288800	86100	transection with river valley	x
		Ewaso Ng'iro River area - away			transection with river valley	
		Ewaso Ng'iro River area - close	289000	86970	transection with river valley	x
Ngutuk Olmuget- Bridge	(!!)		295500	85700	random point to cover gap	x 2
		Shorttrip offroad: 5 km if possible, left on main road after crossing bridge	294650	86050	random point to cover gap	2
			293550	86700	random point to cover gap	2
		middle of plain, 3-4 km from bridge	288600	90630	clustersamples	x
		middle of plain, 3	289000	90790	clustersamples	
		middle of plain, 3	289300	91000	clustersamples	
Mainroad to Wamba	C78 (!!)	Intersection E470 - C78	283800	98300	random	x 1/2
		close to Lowarakhill	285600	98750	random	1/2
Mainroad to Wamba	C78	Swamp - close to rivers, 5.5 km from inters.	289000	100000	Swamp	x 1/2
		dry area between to swamps	289900	100300	dry area	x 1/2

		Swamp - close to river	290650	100600	Swamp	1/2
			293300	102300	topslope	x 1/2
		Luisipass, transection on hillslope	293500	102400	middleslope	x 1/2
			293900	102450	footslope	x 1/2
	(!!)	Nagoru Woru-Bridge	300800	103650	riverside	x 1/2
		2.5 km after bridge	303400	104120	plain, short dist. to river	x 1/2
	(!!)	intersection C79	309700	105800	random	x 1/2
		shorttrip on C79, 3 km from intersection	310750	103230	random	x 1/2
		shorttrip on C79, 6 km from intersection	311700	100350	random	x 1/2
Mainroad to Wamba	C78					
Longopito	E470 (!!)	8.5 km, Intersection with dustroad	299000	73000	random	x
		Kipsing River	306630	68100	riverside	x
Kipsing	E470 (!!)	5 km, Intersection with dustroad	310800	64900	random	
		Nkare E Ntare	310800	64900	random	x
		3 km	320000	54400	plain, short dist. to river	
		hillslope near Kipsing Gap, lefthand	330200	49300	topslope	x
			330450	49020	middleslope	x
			330800	48800	footslope	x
			330200	48650	riverside	
		Isiolo River	342130	48900	riverside	x
		Intersection with road to Archers-Post (A2)	344360	48230	random	
Isiolo	A2	Intersection E809 Meru – A2	340600	35200	footslope	
		Picknicksite	338800	30000	middleslope	
		Intersection Birds Hill Rest Camp	336600	26500	upper slope	
Nanyuki						

Tab. 5.10: Beispiel Routenblatt Feldarbeit BINGGELI, LEDERMANN 2002: Route 1, 2 days – 31.01.02/01.02.02 – Nanyuki – Wamba – Isiolo - Nanyuki

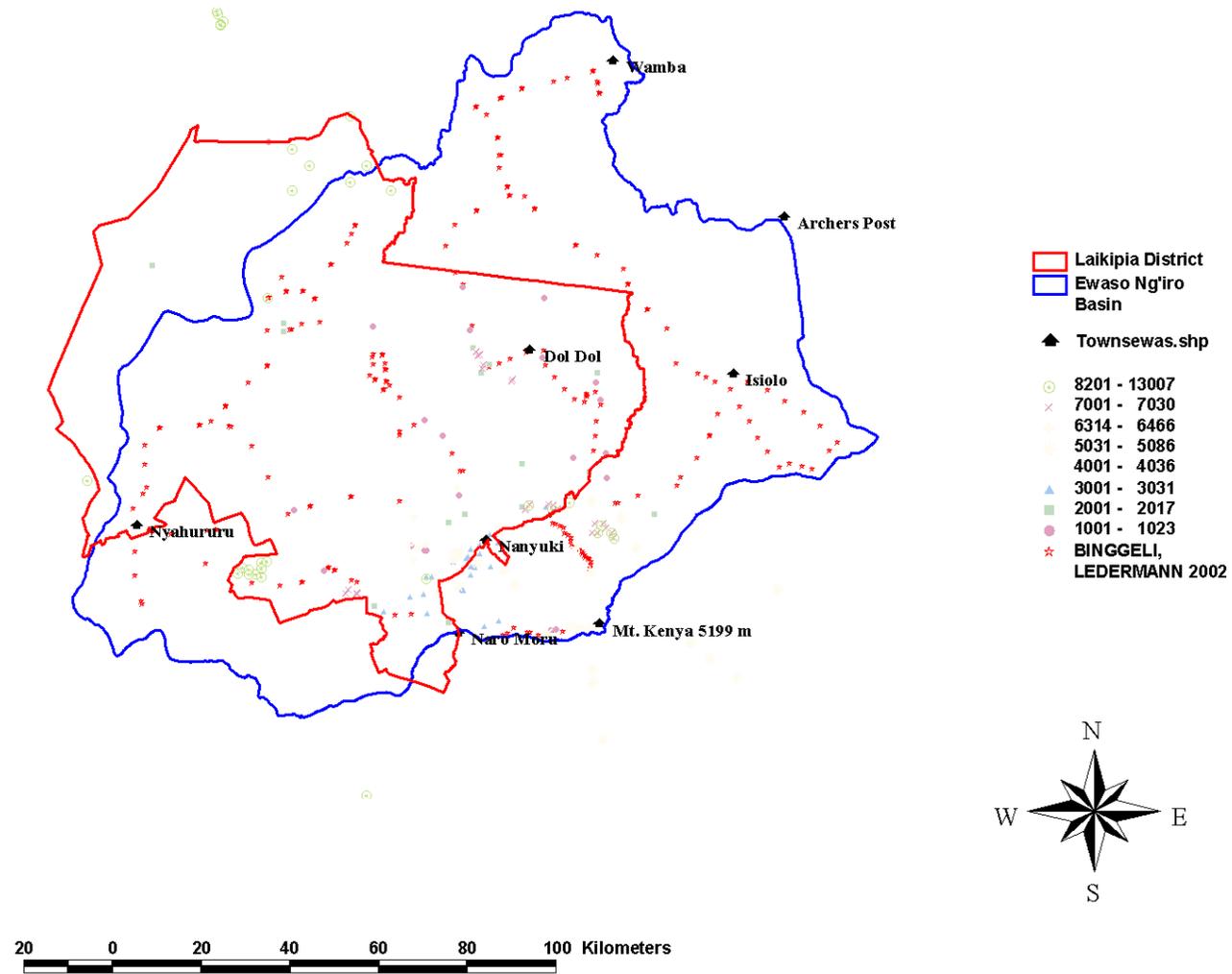


Abb. 5.10: Lage der Bodenproben im Untersuchungsgebiet. Unterteilt nach der Soter-Unit ID. Samplenummern KE1501–1684 sind unter BINGGELI, LEDERMANN (2002) aufgeführt

6 Die Datengrundlage

Die während der Feldarbeit gesammelte und analysierte Datenmenge (KE1501-1684: 184 Bodenproben plus 52 Zweitbestimmungen (B/C)) wird im weiteren Verlauf dieser Studie unter dem Verweis „BINGGELI, LEDERMANN 2002“ zusammengefasst. Die gesamte Datenmenge (Grundgesamtheit_{Total}) stellt sich somit aus den erhobenen Felddaten sowie den bereits bestehenden Bodenuntersuchungen zusammen (Verg. Tab. 5.1, S. 53). Die Grundgesamtheit_{Total} umfasst insgesamt 543 Samples, wobei nicht alle Bodenproben Informationen zu den gleichen Parametern enthalten (Verg. Anhang A3: Datenmatrix (gekürzte Version) oder Daten-CD (vollständige Version)).

6.1 Beurteilung/Auswertung der Feld- und Labordaten

Die Körnung sowie der Gehalt an organischer Substanz wurde während der Feldarbeit geschätzt und die Samples anschliessend bezüglich diesen Eigenschaften im Labor analysiert. Der Vergleich dieser Ergebnisse lässt eine Beurteilung über die Genauigkeit der geschätzten Werte zu. Für die organische Substanz ist die Auswertung im folgenden Kapitel 6.1.1 gegeben. Eine Diskussion der Ergebnisse für die Textur findet sich in BINGGELI (2003).

6.1.1 Geschätzter versus tatsächlicher Gehalt an organischer Substanz

Die Beurteilungen und Auswertungen in diesem Unterverzeichnis beziehen sich nur auf die Daten der Feldarbeit von BINGGELI, LEDERMANN 2002.

Beschreibung der Feldmethode

Der Gehalt an organischer Substanz im Oberboden wurde aufgrund der Farbhelligkeit und Fühleigenschaften der Bodenprobe abgeschätzt und anschliessend einer OS-Klasse zugeteilt. Dabei wurde davon ausgegangen, dass je höher der Humusgehalt, desto dunkler der Boden und desto feiner fühlt er sich auch an. Jedoch sind die obgenannten Eigenschaften noch von weiteren Parametern abhängig. So beeinflusst die Bodenart (Sandboden wird durch den gleichen Humusgehalt stärker gefärbt als Tonboden), der Verteilungsgrad und die Qualität (C/N-Verhältnis) des Humus sowie die Eigenfarbe des mineralischen Bodenanteils (AG BODENKUNDE 1996) den optischen Eindruck unterschiedlich stark und so ist es oft schwierig, aus diesen Beobachtungen sichere Schlüsse auf die Höhe des Humusgehaltes zu ziehen.

Auswertung der Feldmethode

Für die Auswertung und Beurteilung der angewandten Feldmethode wurden die genauen Laboranalysen des organischen Kohlenstoffs mit dem von LANDON 1991 angegebenen Umrechnungsfaktor von 1.72 multipliziert um den ungefähren Gehalt an organischer Substanz zu erhalten. Anschliessend wurden diese Werte den von uns während der Feldarbeit genutzten Klassen (AG BODENKUNDE 1996) von organischer Substanz zugewiesen um die Beurteilung zu ermöglichen.

Als Resultat können wir die tatsächliche Klasse mit der von uns während der Feldarbeit geschätzten vergleichen. Tab. 6.1 gibt eine Auswertung des Vergleichs (linke und rechte Seite sind unabhängig voneinander):

Klasse	Org. Substanz [%]	Anzahl Feld	Anzahl Analyse	Übereinstimmung	± 1 Klasse	± 2 Klassen	± 3 Klassen	
h1	< 1	62	16	69				
h2	1 – 1.99	64	41		8	0	1	+
h3	2 – 3.99	86	100		103	44	8	-
h4	4 – 7.99	20	52					
h5	8 – 14.99	1	13	69	111	44	9	Total
h6	> 15	0	11					
Total		233	233					233

Tab. 6.1: Vergleich von geschätztem und tatsächlichem organischen Gehalt des Bodens (l: Vergleich nach OS-Klassen; r: Vergleich der gesamten Population) - Samplepopulation Feldarbeit BINGGELI, LEDERMANN 2002

Auf der linken Seite von Tab. 6.1 ist der Vergleich nach OS-Klassen dargestellt. Zum Beispiel: Während der Feldbestimmung wurden 86 Proben der OS-Klasse h3 (2 – 3.99 % organische Substanz) zugeordnet. Aus den abschliessenden Laboranalysen aller Samples geht jedoch hervor, dass 100 Proben in diese Klasse zu liegen kommen.

Zur Formulierung eine Aussage über die gesamte Population musste jedoch der direkte Vergleich OS-Feld vs. OS-Analyse nach Klassen für jedes einzelne Sample durchgeführt werden (rechte Seite Tab. 6.1). Dabei wird ersichtlich, dass bei 69 Proben eine Übereinstimmung der im Feld zugeteilten Klasse mit dem bei der Analyse ermittelten Gehalt vorliegt. Zusätzlich wird aufgeführt, um wie viele Klassen und in welcher Richtung die Feldbestimmung neben dem bestimmten Laborwert zu liegen kommt („+“: Feld > Analyse, „-“: Feld < Analyse). Auffallend dabei ist, dass die Bestimmung der organischen Substanz im Feld meist unter dem analysieren Wert zu liegen kommt. Eine genaue Regressionsanalyse bietet Tab. 6.2.

Regressions-Statistik	
Multipler Korrelationskoeffizient	0.644
Bestimmtheitsmaß	0.415
Standardfehler	0.743
Beobachtungen	233

Tab. 6.2: Regressionsstatistik: Org. Substanz [Klassen] - Feld vs. Analyse. Sample-Population Feldarbeit BINGGELI, LEDERMANN 2002

In Abb. 6.1 werden die Resultate zusätzlich noch graphisch dargestellt. Dabei werden in der Abszisse die sechs OS-Klassen aufgetragen. Die OS_{Feld} -Werte werden nun bezüglich ihres OS_{Ana} -Wertes den Klassen zugeteilt und die jeweiligen Klassenelemente, dann anhand der statistischen Kennzahlen Maximum, Minimum, Mittelwert und Median ausgewertet. Zusätzlich sind in der Abszissenbezeichnung noch die Anzahl Stichprobenelemente pro Klasse aufgeführt.

Zum besseren Verständnis der Abb. 6.1 wird ein Beispiel angefügt: Während der Feldarbeit wurden 233 Samples bezüglich ihres Gehaltes an organischer Substanz analysiert. Anhand der Laborwerte für die Organische Substanz [%] können diese Proben auf die OS-Klassen (nach AG BODENKUNDE 1996) verteilt werden. Dabei fallen 52 Samples in die Klasse h4 (4 – 7.99 % OS). Diesen 52 Proben wurden, bei der Ansprache im Feld, OS_{Feld}-Klassen zugeteilt. Jedoch stimmen diese nicht immer mit den im Labor bestimmten OS_{Ana}-Klassen überein. So wurde die Bodenprobe KE1581 im Feld zum Beispiel der OS-Klasse h1 zuerkannt obwohl aus der Analyse ersichtlich wird, dass der tatsächliche Gehalt an organischer Substanz 4.01 % beträgt und somit der Klasse h4 angehört. Diese Abweichung ist nun als Minimumwert in der Graphik ersichtlich. Der Maximumwert(e) beträgt 4. Somit wurde die OS_{Ana}-Klasse h4 im Feld nie überbewertet. Der Mittelwert und der Median beziehen sich nun auf alle der OS_{Ana}-Klasse h4 zugehörigen OS_{Feld}-Bestimmungen.

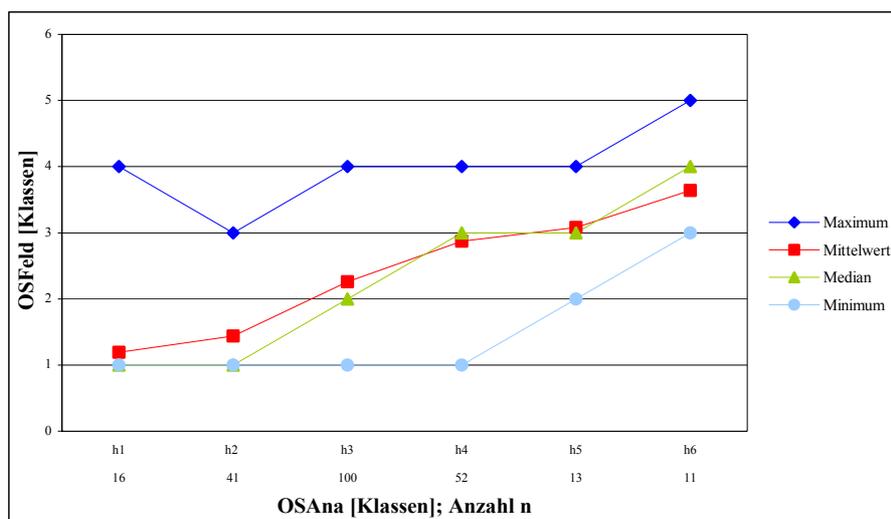


Abb. 6.1: Vergleich der OS-Klassen: Analyse vs. Feld. Darstellung statistischer Kennzahlen. Sample-Population Feldarbeit BINGGELI, LEDERMANN 2002

Allgemein können folgenden Überlegungen aus Abb. 6.1 abgeleitet werden:

- Mittelwert und Median:

Mittelwert und Median steigen mit zunehmendem OS_{Ana}-Gehalt [% od. Klassen] an. Die Feldd Bestimmungen sind zwar meist etwas zu tief, verfolgen aber den richtigen Trend.

- Maximum:

Bei den OS_{Ana}-Klassen h5 und h6 liegt sogar der Maximalwert unterhalb der tatsächlichen OS-Klasse. Fazit: Bei den Feldbegehungen wurden OS-Gehalte grösser 8 % meist unterschätzt. Nur Sample KE1618 weist, als einziger Punkt, die OS_{Feld}-Klasse h5 auf.

- Minimum:

Auch die Minimalwerte weisen den richtigen Trend auf.

6.2 Die Grundgesamtheit

6.2.1 Datengrundlage

Jede Datenebene, wie Höhe über Meer, Gefälle, Landnutzung usw., wird als Informations-Layer in der GIS-Software erfasst. Das dabei verwendete Raster-Datenmodell, im Gegensatz zum Vektor-Datenmodell, legt die Daten in Form einer $n \times m$ -dimensionalen Matrix aus einzelnen Werten ab. Um den räumlichen Bezug jeder Zelle festzulegen, sind die xy -Koordinaten der ersten Zelle der Matrix, sowie die Auflösung, das heisst die Kantenlänge jeder Zelle in der Realität, notwendig. Ein solches Rasterbild einer Datenebene wird in der Umgebung der GIS-Software ARC/INFO auch als GRID bezeichnet (GERBER 2000). Tab. 6.3 bietet eine Übersicht über die verwendeten GRIDs. Datenebenen, welche im Vektor-Datenformat vorlagen, wurden in GRID-Layers mit der Zellgrösse von 50 x 50 Meter umgewandelt.

	ELE	ASP	CURV	GEOL	SLO	RAIN	LDCOV_1	LDCOV_2	SUBDIV
Layer	DTM	DTM	DTM		DTM				
Author	LRP	LRP	LRP	BINGGELI, LEDERMANN	LRP		LINIGER et al. 1998a	MATI 1999	NIEDERER 2000
	SCHWILCH	SCHWILCH	SCHWILCH	KLINGL 1996	SCHWILCH	STURM 2002	NIEDERER 2000		
	NIEDERER	NIEDERER	NIEDERER		NIEDERER				

Tab. 6.3: Zusammenstellung der verwendeten GIS-Informationenlayer

Die Auswahl der unabhängigen Variablen wurde bereits in Kapitel 3.2: Statistische Verfahren (S. 35) erläutert. Tab. 6.4 bietet nun einen Einblick in die für die Modellrechnung relevante Datenmatrix. Es wird ersichtlich, in welcher Form die Daten vorliegen. Falls es sich um metrische Variablen handelt, sind die jeweiligen Einheiten angegeben. Für die kategorialen Variablen finden sich die Legenden in Tab. 6.5. Die jeweilige Klasseneinteilung wurden bezüglich den Quellen belassen. Die Variable SLOPE wird metrisch und kategorial abgebildet wobei sich die Klassenintervalle nach KLINGL 1996 richten. Auf der Daten-CD (siehe A2) sowie im Anhang A3 der aktuellen Studie findet sich die gesamte Matrix.

OM	ELE	ASP	CURV	GEOLOGY	SLO	RAIN	LDCOV_1	LDCOV_2	SUBDIV
[%]	[m]	[°]	--	Class	[°]/Class	Class	Class	Class	Class
4.18	2027	65	0.010	2	1	5	18	6	13
1.89	1725	52	0.000	4	2	3	4	6	13
1.48	1730	91	0.030	1	5	3	15	6	10
1.17	1671	295	0.000	1	1	1	15	6	10
3.18	1809	292	0.000	4	0	3	18	6	13
3.22	1960	356	0.000	2	1	3	18	6	2
11.06	1799	330	0.000	2	0	4	8	6	15
5.66	1801	316	-0.010	2	2	4	7	6	15
4.09	1780	128	0.000	2	0	4	13	6	15
6.45	1740	298	0.020	4	0	3	4	6	13

Tab. 6.4: Datenmatrix für die Regressionsanalyse - ein Ausschnitt

GEOLOGY	SLOPE	RAINFALL	LANDCOVER_1	LANDCOVER_2
1 Basement	1 0 - 1.99 %	1 < 500 mm	2 Cgrain	1 Moorland
2 Igneous_Rocks_b	2 2 - 4.99 %	2 501 - 600 mm	4 TGs	2 Forest
3 Igneous_Rocks_i	3 5 - 7.99 %	3 601 - 700 mm	5 Go	3 Bushland
4 Igneous_Rocks_s	4 8 - 15.99 %	4 701 - 800 mm	6 tRG	4 Bush grassland
5 Colluvium	5 16 - 29.99 %	5 801 - 900 mm	7 G	5 Grassland
6 Calcrete	6 > 30 %	6 901 - 1000 mm	8 Cveg	6 Shrub grassland
		7 1001 - 1100 mm	9 tG	7 Shrubland
		8 > 1101 mm	10 Td	8 Scarpline shrubs
			13 tC	9 Small scale cropland
			15 tGs	10 Large scale cropland
			16 Tpd	11 Swamp
			17 tCG	12 Urban settlement
			18 TG	
			20 tGb	

Tab. 6.5: Legenden zu den kategorialen unabhängigen Variablen ohne die Variable SUBDIVISION

Das GRID „GEOLOGY“ wurde aus verschiedenen Grundlagen zusammengestellt und nach KLINGL 1996 in sechs Aggregatsklassen unterteilt (Verg. Tab. 6.5, S. 75). Da jedoch zu Beginn dieser Studie einige Teilgebiete nördlich des Äquators noch nicht von den bestehenden GIS-Layern abgedeckt wurden, mussten diese noch digitalisiert werden (Verg. 6.2.2).

Für alle in die Arbeit einflussenden Layers, sowie die berechneten Karten, wurde folgende Projektion verwendet:

Projection UTM
 Units meters
 Zone37
 Datum ars
 Spheroid clarke1880
 Yshift 10'000'000

6.2.2 Digitalisierung der geologischen Karten

Die Grundlagen für die fehlende Geologie bilden zwei geologische Karten: (1) „Geology of the Baringo-Laikipia area“ (HACKMAN 1988) sowie (2) „Geology of the Isiolo Area“ (HACKMAN et al. 1989). Unter der Zusammenarbeit mit Sandra Binggeli wurde dann je eine geologische Karte digitalisiert. Als Arbeitstool wurde die Arc/View-Extension „Map Scan“ angewendet. Der Ablauf ist in folgende Schritte zu gliedern:

- Scannen und Bildvorbereitung

Die Kartengrundlagen wurden mit einem professionellen Reprogerät gescanned. Damit die Farbseparierung mit Map Scan durchgeführt werden konnte, mussten die Bilder im tiff-Format mit 256 Farben vorliegen. Anschliessend wurden die Farben mit Hilfe einer geeigneten Graphiksoftware geglättet um die Farbseparierung zu erleichtern.

- Referenzierung

Zur Referenzierung der Bilder werden die tiff-Files in Arc/View geladen. Für diesen Schritt wird die Extension „Image Analysis Data Source“ benötigt. Nach Umwandlung des Bildes in ein GRID (Seitenlänge: 50m) werden mit dem „Align Tool“ alle Ecken markiert und durch die Angabe der xy-Koordinaten im Raum definiert.

- Farbseparierung und Editieren

Nach den genannten Vorarbeiten kann nun mit Hilfe der „Map Scan“-Extension mit der Farbseparierung begonnen werden. Mit dem Tool „Select Class“ wird ein bestimmtes Pixel angewählt, worauf alle anderen Pixel mit demselben Farbwert zur Selektion hinzugefügt werden. Danach werden mit „Select Similar Colours“ ähnliche Farben ausgewählt bis eine möglichst optimale Auswahl vorliegt. Diese Selektion wird anschliessend in ein eigenes GIS-Layer extrahiert. Da in der Kartenvorlage sehr viele ähnliche Farben vorkommen, muss nun jeder dieser Teillayer von Hand editiert werden. Alle Pixel, welche zuviel extrahiert wurden, werden gelöscht. Die bearbeiteten Teillayers werden nun zur Klassifikation in Shapefiles umgewandelt. Mittels „Query Builder“ wird nach der Grösse sortiert, um sehr kleine Flächen zu löschen.

- Klassifizierung

Nach der Umwandlung in ein SHAPE werden jedem Feld eine Nummer (geolnum) sowie einen Namen (geolnam) zugeordnet. Dabei hielten wir uns an die Legende der Kartengrundlage. Die Nummerierung ist zufällig.

- Zusammenfügen der Teillayers

Ziel dieses Arbeitsschrittes ist es, die Teillayers wieder zu einem Ganzen zusammenzufügen. Dazu muss die Extension „Geoprocessing“ geladen werden. Mit dem „Geoprocessing Wizard“ können anschliessend alle Teile aktiviert und als neues Gesamtlayer abgelegt werden.

- Ergänzen fehlender Flächen

Um fehlende Flächen ergänzen zu können, musste das Layer zuerst wieder in ein GRID umgewandelt werden. Lücken innerhalb gleichwertiger Farbflächen (zum Beispiel unter schwarz gedruckten Beschriftungen) können in Arc/View mit einem einfachen Editiertool gefüllt werden. Für das Zuweisen von Lücken, aufgrund der Grenzen zwischen den jeweiligen Einheiten, muss auf eine Anwendung in Arc/Info, die Nachbarschaftswerte zuordnet, zurückgegriffen werden.

Bei genannten Kartengrundlagen mit der Extension „Map Scan“ zu arbeiten, stellte sich als sehr zeitaufwendig heraus. Die vielen, oft auch sehr kleinen Einheiten sowie die teilweise extrem ähnlichen Farbwerte beinhalteten einen beträchtlichen Aufwand. Für eine Vorlage hingegen, welche klar unterscheidbare Farbwerte aufweist, könnte ein Resultat relativ rasch erarbeitet werden. Jedoch wäre in diesem Fall die On-Screen Digitalisierung eben so schnell wie genau. Zusätzlich ist zu bedenken, dass durch das mehrmalige Umwandeln von GRID zu SHAPE und zurück Ungenauigkeiten entstehen, die sich beim direkten Digitalisieren von Hand hätten vermeiden lassen können. Abschliessend ist zu erwähnen, dass der häufige Wechsel zwischen Arc/View und Arc/Info zu Problemen mit der Kompatibilität der Daten führen kann.

6.3 Deskriptive Statistik der unabhängigen/abhängigen Variable(n)

Anhand der Deskriptiven Statistik kann beschrieben werden, wie sich die Werte von Variablen auf die Elemente einer endlichen Grundgesamtheit oder Stichprobe verteilen. Um einen guten Überblick über die Verteilung der Variablenwerte zu erhalten, kann die in tabellarischer oder graphischer Form abgebildete Häufigkeitsverteilung verwendet werden. Dabei müssen die metrischen Variablen noch in Klassen unterteilt werden. Es gilt: je weniger Klassen gebildet werden, desto besser ist die Übersichtlichkeit, aber desto grösser ist der Informationsverlust (BAHRENBERG, GIESE, NIPPER 1992). Die kategorialen Variablen verbleiben in ihrer ursprünglichen Form. Beschrieben werden in diesem Kapitel nur diejenigen Variablen, welche in die definitive Regressionsanalyse einbezogen werden.

Zusätzlich muss noch darauf hingewiesen werden, dass die Variablen sich untereinander bezüglich der Grösse ihrer Grundgesamtheiten unterscheiden. (Verg. Tab. 6.6/Tab. 6.7). Dieser Umstand liegt in der ungleichen Ausdehnung der von den GIS-Layern dargestellten Gebietsarealen begründet. Eine Angleichung erfolgt erst bei der Berechnung der Regression (Verg. Kap. 7.1.3: Berechnungs-Skript der „S-Plus 2000“ Software, S. 86).

Abb. 6.2 stellt die Streudiagramme der einzelnen unabhängigen Variablen gegen die ORGANIC MATTER dar und gibt zusätzlich auch noch den jeweiligen multiplen Korrelationskoeffizienten sowie die Standardabweichung an. Dabei sind folgende Merkmale anzusprechen:

- Metrische Variablen:

CURVATURE sowie die SLOPE offenbaren im Zusammenspiel mit der abhängigen Variable keine Trends. Die Streuung wird als zufällig interpretiert.

Ein schwacher, linearer Zusammenhang zwischen Einfluss- und Zielgrösse kann nur bei der Variable ELEVATION festgestellt werden.

- Kategoriale Variablen:

Der ASPECT zeigt eine zufällige Verteilung.

Mit zunehmendem jährlichem Niederschlagsmittel ist auch eine Zunahme im Gehalt an organischer Substanz feststellbar. Der Mittelwert pro Niederschlagsklasse steigt von 1.50 % bei < 500 mm auf ein Maximum von 11.04 % bei 1001–1100 mm durchschnittlicher Regenmenge pro Jahr. Die höchsten Gehalte an organischer Substanz finden sich bei der Niederschlagsklasse 4 (701–800 mm a⁻¹). Aus diesem Grund liegt auch hier der Mittelwert etwas ausserhalb der Trendlinie.

Auffallend bei der Geologie ist die Tatsache, dass hohe Gehalte an organischer Substanz (OS > 10 %) nur auf Eruptivgesteinen vorkommen. Ein Zusammenhang mit der Anzahl Stichproben pro Klasse ist jedoch nicht auszuschliessen (Abb. 6.3 d).

Bei der unabhängigen Variable LANDCOVER_1 ist das Scatterbild eher zufällig. Ein Trend ist nicht ersichtlich jedoch aufgrund der Tatsache, dass es sich um keine metrischen Klassenintervalle sondern eine nominalskalierte Variable handelt (eine Rangierung ist nicht möglich), auch nicht zu erwarten. Gehalte über 15 % kommen in folgenden Klassen vor: Cgrain, Go, G, tG, Td, tC. Die vier Klassen mit den tiefsten Werten sind tGs ($\bar{x} = 1.71\%$), tGb ($\bar{x} = 1.29\%$), TG ($\bar{x} = 3.08\%$) und TGs ($\bar{x} = 2.17\%$). Dieser Umstand erstaunt keineswegs, handelt es sich doch dabei um jene Vegetationsklassen mit einer nur spärlichen (s) bis sogar kahlen (b) Grasdecke. Einzig TG mit mehr als 50 % Grassbedeckung und 20 – 50 % Bäumen ist schwer zu erklären.

In Abb. 6.3 werden zusätzlich noch die Histogramme der einzelnen Ziel- und Einflussgrössen abgebildet. Dabei werden die Häufigkeiten in Form von Säulen dargestellt. Die Variablen CURVATURE und ASPECT werden nicht abgebildet, da das dabei erhaltene Bild nicht zum Verständnis der Daten beitragen kann. Ergänzt werden diese graphischen Darstellungen noch durch die tabellarische Erfassung (Tab. 6.6/Tab. 6.7).

Zusätzlich zur Häufigkeitsverteilung können bei den metrischen Variablen noch weitere statistische Kennzahlen herangezogen werden (Tab. 6.8).

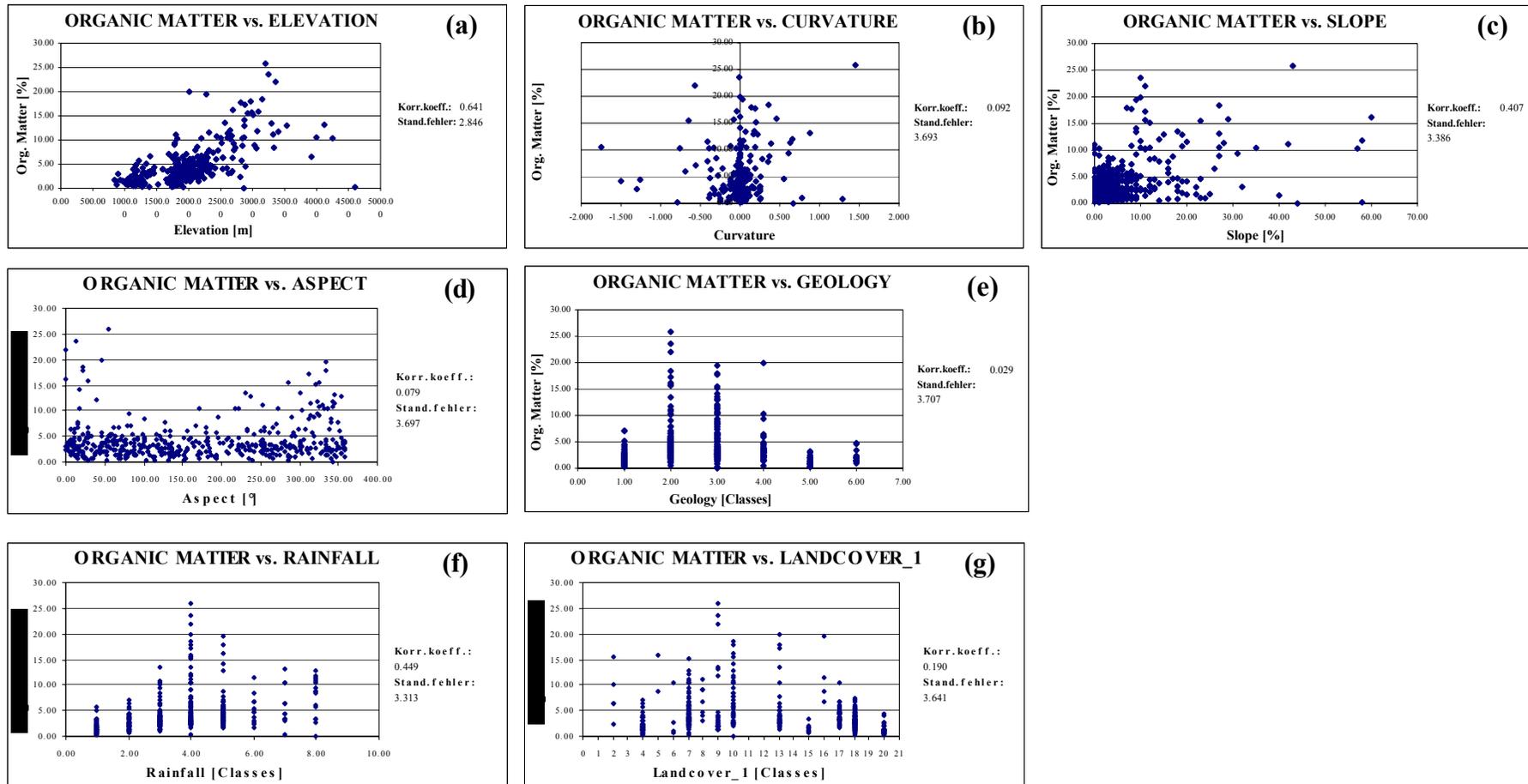


Abb. 6.2: Streuungsdiagramme der unabhängigen Variablen gegen die abhängige Variable. Extremwerte der organischen Substanz weggelassen. (a)-(d): metrische Variablen, (e)-(g): kategoriale Variablen. Daten: Grundgesamtheit_{Total}

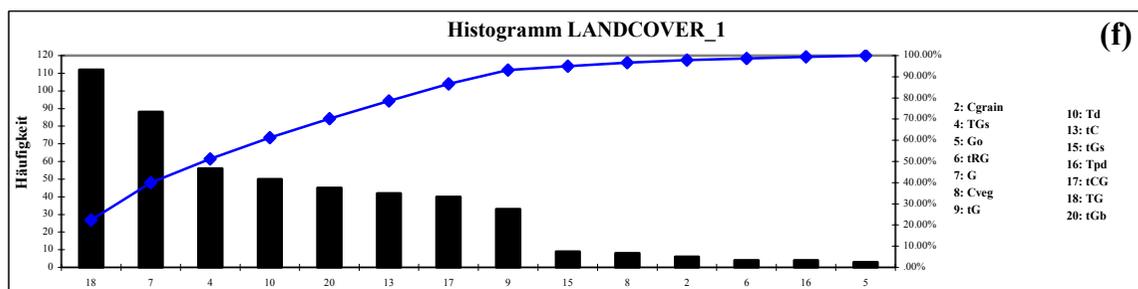
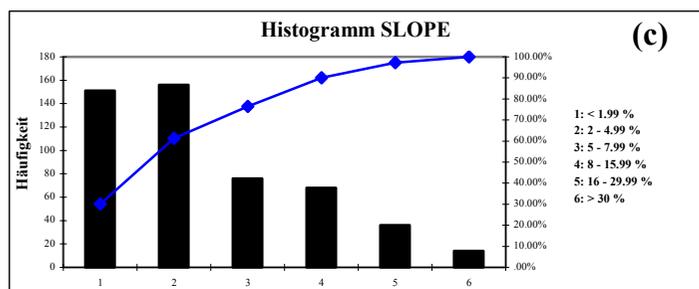
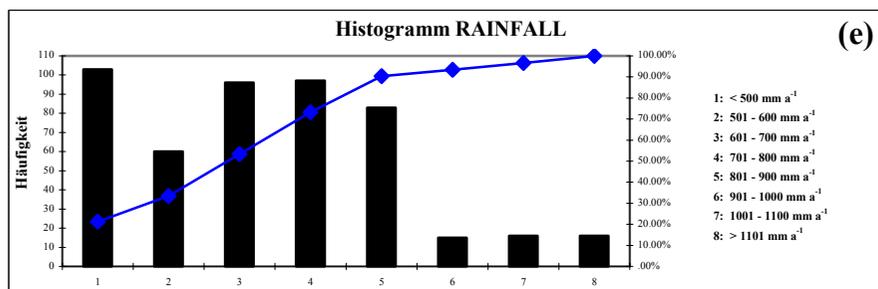
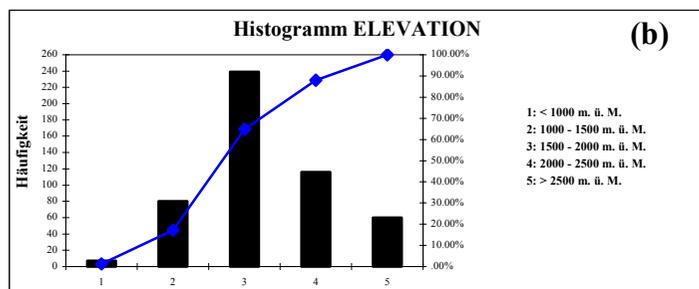
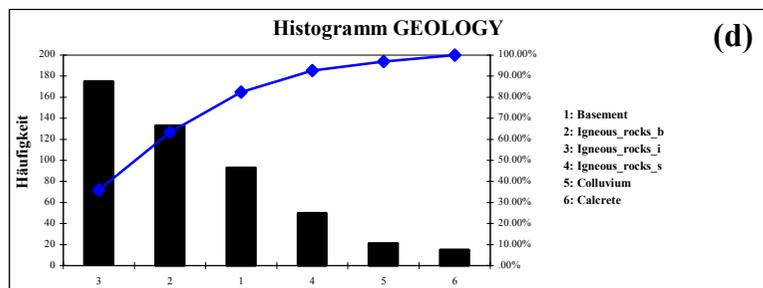
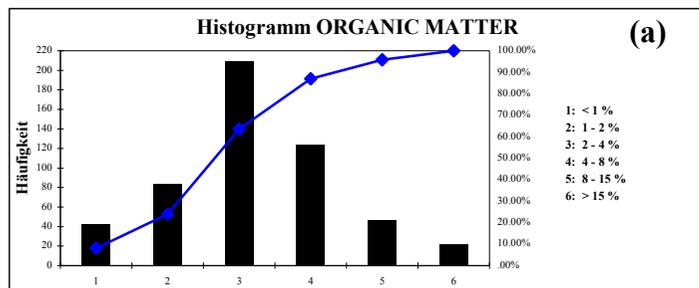


Abb. 6.3: Deskriptive Statistik: Histogrammdarstellungen der in die Methode einbezogenen abhängigen wie unabhängigen Variablen. (a)-(c): metrische Variablen, (d)-(f): kategoriale Variablen. Daten: Grundgesamtheit_{Total}

- kategoriale Variablen:

GEOLOGY		RAINFALL		LANDCOVER_1	
Klasse	Häufigkeit	Klasse	Häufigkeit	Klasse	Häufigkeit
1	93	1	103	2	6
2	133	2	60	4	56
3	175	3	96	5	3
4	50	4	97	6	4
5	21	5	83	7	88
6	15	6	15	8	8
Total	487	7	16	9	33
		8	16	10	50
		Total	486	13	42
				15	9
				16	4
				17	40
				18	112
				20	45
				Total	500

Tab. 6.6: Deskriptive Statistik: tabellarische Darstellung der Häufigkeitsverteilung kategorialer Variablen (Legende siehe Tab. 6.5, S. 75). Daten: Grundgesamtheit_{Total}

- metrische Variablen:

ORGANIC MATTER		SLOPE		ELEVATION	
Klasse	Häufigkeit	Klasse	Häufigkeit	Klasse	Häufigkeit
1	43	1	151	1	7
2	84	2	156	2	80
3	209	3	76	3	239
4	124	4	68	4	116
5	47	5	36	5	60
6	22	6	14	Total	502
Total	529	Total	501		

Tab. 6.7: Deskriptive Statistik: tabellarische Darstellung der Häufigkeitsverteilung metrischer Variablen. „Factor Summaries“ S-Plus 2000. Daten: Grundgesamtheit_{Total}

	ORGANIC MATTER	ELEVATION	ASPECT	CURVATURE	SLOPE
Min.	0.000	839.000	0.000	-1.7500	0.000
1st Qu.	2.012	1755.250	66.250	-0.0100	1.000
Mean	4.660	1941.638	168.847	-0.0073	6.092
Median	3.182	1884.000	152.500	0.0000	3.000
3rd Qu.	4.855	2131.750	270.750	0.0200	7.000
Max.	83.248	4600.000	359.000	1.4500	67.000

Tab. 6.8: Deskriptive Statistik: weitere Masszahlen empirischer Verteilungen. „Numeric Summaries“ S-Plus 2000. Daten: Grundgesamtheit_{Total}

7 Modellierung

Abschliessend zur Methodenentwicklung wird in diesem Kapitel das Vorgehen zur Herstellung einer synthetischen Karte bezüglich der organischen Substanz erläutert.

7.1 Das Modell

Aufgrund des zu kleinen Stichprobenumfangs werden alle Punktdaten für die Modellberechnung benötigt. Die Idee einer vorgängigen, zufälligen Auswahl von 50 Prozent der Daten zur Erstellung der Regressionsanalyse und einer anschliessenden Verifizierung mit der zweiten Hälfte der Daten wurde somit verworfen. Auch die Verifizierung der Bodeneigenschaftskarte im Feld kann im Rahmen einer Diplomarbeit aus zeitlichen Gründen nicht durchgeführt werden.

Um gleichwohl eine Aussage über die Qualität der Regressionsanalyse sowie der Bodeneigenschaftskarte machen zu können, werden die statistischen Kennzahlen „multiples Bestimmtheitsmass“ sowie der „multiple Korrelationskoeffizient“ berechnet. Dabei wird die positive Wurzel aus dem Bestimmtheitsmass als multipler Korrelationskoeffizient bezeichnet. Der Multiple Korrelationskoeffizient nimmt somit nur Werte zwischen 0 und 1 an. Eine Unterscheidung nach positiven und negativen Zusammenhängen ist nicht möglich. Die Stärke des Zusammenhangs ist umso grösser, je näher der Korrelationskoeffizient bei 1 liegt (BAHRENBERG, GIESE, NIPPER 1992).

7.1.1 Notwendige Anpassungen der Datengrundlage

- Logit-Transformation:

In der hier vorliegenden Arbeit besteht das Problem, dass eine direkte Modellierung der organischen Substanz unter Umständen nicht möglich ist, da die berechneten Werte das Intervall $[0, 1]$ nicht verlassen dürfen. Deshalb wird die Logit-Transformation zu Beginn der Modellrechnung auf die abhängige Variable angewendet mit dem Ziel, Y mit theoretischem Wertebereich von $-\infty$ und $+\infty$ zu erhalten und somit das Intervall auf den ganzen Zahlenbereich abzubilden.

$$\text{Transformation: } \quad \text{logit}\left(\frac{x}{100}\right) = \log \frac{\frac{x}{100}}{1 - \frac{x}{100}}$$

$$\text{Umkehrung: } \quad \frac{x}{100} = \frac{100}{1 + \frac{1}{\exp^x}}$$

- Sin/cos der unabhängigen Variable „ASPECT“:

Um die unabhängige Variable der Exposition in die Modellrechnung einbeziehen zu können, müssen die Werte zuerst auf den reellen Zahlenbereich abgebildet werden. Dies wird unter Einbezug des Kosinus sowie des Sinus erreicht. Anhand des Überganges von $360^\circ/0^\circ$ wird die Notwendigkeit dieser Umrechnung gut ersichtlich. Nur unter Berücksichtigung von Sinus und Kosinus erhält man für diese beiden Werte (360° und 0°) denselben Wert.

- Ausschliessen der Ausreisser:

Als Ausreisser bezeichnet man diejenigen Stichprobenelemente, die gegenüber den anderen Stichprobeelemente durch extrem abweichende Werte gekennzeichnet sind. Derartige Extremwerte beeinflussen alle beschreibenden Kennzahlen für die Stichprobe und damit auch die Schätzwerte für die Grundgesamtheit sowie die Tests.

Wegen ihrer verzerrenden Wirkung sollten Ausreisser bei der statistischen Analyse ausgeschlossen werden. Eine Übereinkunft, welche Stichprobenelemente als Extremwerte anzusehen sind, ist die folgende: Man bestimmt den Mittelwert \bar{x} und die Standardabweichung s der Stichprobenelemente. Variablenwerte, welche ausserhalb des Intervalls

$$\bar{x} \pm 4 * s$$

zu liegen kommen, werden ausgeschlossen (BAHRENBERG, GIESE, NIPPER 1990).

Aufgrund dieser Annahme wird das Intervall für die Variablenwerte der organischen Substanz berechnet und folgende Ausreisser weggelassen (Tab. 7.1).

SOTER Unit-Id	Gehalt OS [%]
KE4029	32.85
KE1618	41.62
KE5057	62.95
KE5063	83.25

Tab. 7.1: Extremwerte der abhängigen Variable ORGANIC MATTER. In der Modellrechnung weggelassen

- Anpassen der Grundgesamtheit:

Nur Samples mit Informationen zu allen unabhängigen Variablen können in die Modellrechnung einbezogen werden. Die Anzahl Elemente oder Bodenproben verändert sich somit je nach Modellansatz. Die Gesamtheit aller in die Regression einflussenden Daten wird als Grundgesamtheit N_{Modell} bezeichnet.

7.1.2 Verschiedene Modellansätze

Im Verlaufe der Regressionsanalyse wurden einige unterschiedliche Modelle berechnet und die Resultate untereinander verglichen. Ziel dieser Teilarbeit war es, den Zusammenhang zwischen Einfluss- und Zielgrösse zu verbessern. Die Berechnungen wurden mit der Mathematiksoftware „S-Plus 2000, MathSoft, Inc.“ durchgeführt. Auf diese Weise konnte das beste Resultat ermittelt werden. Tab. 7.2 bietet eine Übersicht. Beim „Modellansatz_1“ handelt es sich um das für die Modellierung verwendete multiple Regressionsmodell. Alle anderen Modellrechnungen wurden aufgrund schlechter Resultate verworfen.

Beschreibung	
Modellansatz_1	O.M. = ELEVATION + sinASPECT + cosASPECT + CURVATURE + GEOLOGY + SLOPE + RAINFALL + LANDCOVER_1 → SLOPE metrisch.
Modellansatz_2	O.M. = ELEVATION + sinASPECT + cosASPECT + CURVATURE + GEOLOGY + SLOPE + RAINFALL + LANDCOVER_2 → GIS- Layer LANDCOVER_2 anstelle LANDCOVER_1; SLOPE metrisch.
Modellansatz_3	O.M. = ELEVATION + sinASPECT + cosASPECT + CURVATURE + GEOLOGY + SLOPE + RAINFALL + LANDCOVER_1 → SLOPE als kategoriale Variable verwendet.
Modellansatz_4	O.M. = ELEVATION + sinASPECT + cosASPECT + CURVATURE + GEOLOGY + SLOPE + RAINFALL + LANDCOVER_1 + SUBDIVISION → Gebietsstratifizierung: strateneigene Berechnung der Regression; SLOPE metrisch.
Modellansatz_5	O.M. = ELEVATION + sinASPECT + cosASPECT + CURVATURE + GEOLOGY + SLOPE + RAINFALL + LANDCOVER_1 → Zwei Modelle für O.M.- Gehalt < 4 % und O.M.- Gehalt > 4 %; SLOPE metrisch.

Tab. 7.2: Aufzählung der verschiedenen Modellansätze. Definitiver Ansatz: Modell 1.

Im folgenden Kapitel 7.1.3 wird das Berechnungs-Skript für das gewählte Modell (Modellansatz_1) aufgeführt. Dieses enthält die von S-Plus durchgeführten Rechnungsschritte sowie einige Bemerkungen zum besseren Verständnis der Methodik. Diese Verständnishilfen als auch die Methodenschritte sind hellblau hervorgehoben und zu Beginn der Zeile mit dem Zeichen „#“ ergänzt. Zusätzlich wird die Eliminationreihe rot, die statistischen Kennzahlen gelb angeleuchtet.

7.1.3 Berechnungs-Skript der „S-Plus 2000“ Software

S-PLUS : Copyright (c) 1988, 2002 Insightful Corp.

S : Copyright Lucent Technologies, Inc.

License Managed Professional Edition Version 6.1.2 Release 1 for Microsoft Windows : 2002

Working data will be in Z:\User\Ledermann\S- Plus

```
> # abhängige Variable Y: ORGANIC.MATTER; unabhängige Variablen Xn: ELEVATION, ASPECT, CURVATURE, SLOPE, GEOLOGY, RAIN,
LANDCOVER_1

> # Extremwerte ORGANIC.MATTER bereits weggelassen (KE4029: 32.85 %, KE1618: 41.62 %, KE5057: 62.95 %, KE5063: 83.25%)

> # ASPECT mit sin/cos da in [°] - Übergang 360°/0° ergibt nur so gleiche Werte
> ASPECT.COS <- cos((Modell1$ASPECT*2*pi)/360)
> ASPECT.SIN <- sin((Modell1$ASPECT*2*pi)/360)

> ORGANIC.MATTERtrunc <- apply(cbind(Modell1$ORGANIC.MATTER, rep(0.1, nrow(Modell1))), 1,max)
> # Mindestens 0.1 %, damit logit funktioniert...

> Modell12 <- data.frame(Modell1, ASPECT.COS, ASPECT.SIN, ORGANIC.MATTERtrunc)

> #Festlegen logit-Transformation: logit <- function (x) {log(x/(1-x))}
> logitpercent <- function (x) {log((x/100)/(1-x/100))}
> invlogitpercent <- function (x) {100/(1+1/exp(x))}

> options(contrasts = c("contr.treatment", "contr.treatment"))

> # Graphikfenster öffnen
> par(mfrow = c(3, 1))
```

```
> # Samples mit unvollständiger Datengrundlage werden weggelassen. Nur Samples mit Informationen zu allen unabhängigen Variablen werden in die Modellrechnung mit einbezogen
```

```
> Modell1Av <- Modell12[!( is.na(Modell12$ORGANIC.MATTERtrunc) | is.na(Modell12$ELEVATION) | is.na(Modell12$ASPECT) | is.na(Modell12$CURVATURE) | is.na(Modell12$SLOPE) | is.na(Modell12$GEOLOGY) | is.na(Modell12$RAIN) | is.na(Modell12$LANDCOVER.1)), ]
```

```
> # Regressionsgleichung bestimmen und statistische Kennzahlen berechnen
```

```
> ORGANIC.MATTERfit <- lm(logitpercent(ORGANIC.MATTERtrunc) ~ ELEVATION + ASPECT.COS + ASPECT.SIN + CURVATURE + SLOPE + GEOLOGY + RAIN + LANDCOVER.1, data = Modell1Av)
```

```
> summary(ORGANIC.MATTERfit, cor = F)
```

```
Call: lm(formula = logitpercent(ORGANIC.MATTERtrunc) ~ ELEVATION + ASPECT.COS + ASPECT.SIN + CURVATURE + SLOPE + GEOLOGY + RAIN + LANDCOVER.1, data = Modell1Av)
```

Residuals:

Min	1Q	Median	3Q	Max
-4.26	-0.2669	0.006625	0.3015	1.839

Coefficients:

	Value	Std. Error	t value	Pr(> t)
(Intercept)	-4.8594	0.3421	-14.2039	0.0000
ELEVATION	0.0006	0.0001	5.9718	0.0000
ASPECT.COS	0.0311	0.0436	0.7144	0.4754
ASPECT.SIN	-0.0160	0.0433	-0.3706	0.7111
CURVATURE	0.0560	0.1348	0.4152	0.6782
SLOPE	-0.0051	0.0046	-1.1157	0.2652
GEOLOGY2	0.3815	0.1198	3.1832	0.0016
GEOLOGY3	0.1063	0.1156	0.9196	0.3583
GEOLOGY4	0.0101	0.1416	0.0711	0.9433
GEOLOGY5	-0.2188	0.1565	-1.3976	0.1630
GEOLOGY6	0.2938	0.1761	1.6684	0.0960
RAIN2	0.3371	0.1129	2.9860	0.0030
RAIN3	0.4647	0.1164	3.9937	0.0001

RAIN4	0.6812	0.1349	5.0512	0.0000
RAIN5	0.4141	0.1489	2.7814	0.0057
RAIN6	0.4111	0.2168	1.8964	0.0586
RAIN7	0.2584	0.2233	1.1569	0.2480
RAIN8	0.4840	0.2055	2.3555	0.0190
LANDCOVER.14	-0.2050	0.2961	-0.6926	0.4890
LANDCOVER.15	0.4714	0.5040	0.9352	0.3502
LANDCOVER.16	-0.5969	0.4108	-1.4530	0.1470
LANDCOVER.17	-0.1423	0.2784	-0.5110	0.6096
LANDCOVER.18	0.1971	0.3497	0.5636	0.5733
LANDCOVER.19	-0.1294	0.2899	-0.4464	0.6556
LANDCOVER.110	0.1788	0.2901	0.6164	0.5379
LANDCOVER.113	-0.1421	0.2871	-0.4948	0.6210
LANDCOVER.115	-0.3864	0.3551	-1.0883	0.2771
LANDCOVER.116	1.0184	0.4072	2.5013	0.0128
LANDCOVER.117	-0.0934	0.2932	-0.3186	0.7502
LANDCOVER.118	-0.2937	0.2799	-1.0496	0.2945
LANDCOVER.120	-0.4445	0.3072	-1.4469	0.1487

Residual standard error: 0.5853 on 423 degrees of freedom

Multiple R-Squared: 0.5487

F-statistic: 17.14 on 30 and 423 degrees of freedom, the p-value is 0

> # Scatterplot der Regression vor der Rückwärtselimination (Abb. 7.1, oben)

> plot(Modell1Av\$ORGANIC.MATTERtrunc, invlogitpercent (ORGANIC.MATTERfit\$fitted.values), main = "Volles Modell", xlab = "Org. Substanz (analysierter Wert)", ylab = "Org. Substanz (Wert aus Modell)")

> abline(c(0, 1))

> # Rückwärtselimination ($\Pr(>|t|) > 0.05$, $\alpha = 5\%$): ASPECT.SIN wird eliminiert, $\Pr(>|t|) = 0.7111$

```
> # Regressionsgleichung neu bestimmen, ohne ASPECT.SIN
```

```
> ORGANIC.MATTERfit <- lm(logitpercent(ORGANIC.MATTERtrunc) ~ ELEVATION + ASPECT.COS + CURVATURE + SLOPE + GEOLOGY +  
RAIN + LANDCOVER.1, data = Modell1Av)  
> summary(ORGANIC.MATTERfit, cor = F)
```

```
Call: lm(formula = logitpercent(ORGANIC.MATTERtrunc) ~ ELEVATION + ASPECT.COS + CURVATURE + SLOPE + GEOLOGY + RAIN +  
LANDCOVER.1, data = Modell1Av)
```

Residuals:

Min	1Q	Median	3Q	Max
-4.263	-0.2701	0.007378	0.3037	1.82

Coefficients:

	Value	Std. Error	t value	Pr(> t)
(Intercept)	-4.8548	0.3415	-14.2143	0.0000
ELEVATION	0.0006	0.0001	5.9977	0.0000
ASPECT.COS	0.0314	0.0435	0.7207	0.4715
CURVATURE	0.0505	0.1338	0.3775	0.7060
SLOPE	-0.0051	0.0046	-1.1023	0.2710
GEOLOGY2	0.3819	0.1197	3.1901	0.0015
GEOLOGY3	0.1061	0.1154	0.9192	0.3585
GEOLOGY4	0.0158	0.1406	0.1122	0.9107
GEOLOGY5	-0.2183	0.1564	-1.3956	0.1636
GEOLOGY6	0.2933	0.1759	1.6672	0.0962
RAIN2	0.3315	0.1118	2.9661	0.0032
RAIN3	0.4628	0.1161	3.9851	0.0001
RAIN4	0.6810	0.1347	5.0547	0.0000
RAIN5	0.4061	0.1472	2.7596	0.0060
RAIN6	0.4091	0.2165	1.8896	0.0595
RAIN7	0.2526	0.2226	1.1351	0.2570
RAIN8	0.4888	0.2048	2.3862	0.0175

LANDCOVER.14	-0.2143	0.2947	-0.7272	0.4675
LANDCOVER.15	0.4593	0.5025	0.9141	0.3612
LANDCOVER.16	-0.5922	0.4102	-1.4436	0.1496
LANDCOVER.17	-0.1485	0.2776	-0.5351	0.5929
LANDCOVER.18	0.1942	0.3493	0.5559	0.5786
LANDCOVER.19	-0.1385	0.2885	-0.4801	0.6314
LANDCOVER.110	0.1739	0.2895	0.6006	0.5484
LANDCOVER.113	-0.1481	0.2864	-0.5172	0.6053
LANDCOVER.115	-0.3890	0.3547	-1.0970	0.2733
LANDCOVER.116	1.0245	0.4064	2.5207	0.0121
LANDCOVER.117	-0.1009	0.2922	-0.3453	0.7300
LANDCOVER.118	-0.2998	0.2791	-1.0741	0.2834
LANDCOVER.120	-0.4560	0.3053	-1.4937	0.1360

Residual standard error: 0.5847 on 424 degrees of freedom

Multiple R-Squared: 0.5486

F-statistic: 17.77 on 29 and 424 degrees of freedom, the p-value is 0

> # Rückwärtselimination (Pr(>|t|) > 0.05, $\alpha = 5\%$): CURVATURE wird eliminiert, Pr(>|t|) = 0.7060

> # Regressionsgleichung neu bestimmen, ohne ASPECT.SIN und CURVATURE

> ORGANIC.MATTERfit <- lm(logitpercent(ORGANIC.MATTERtrunc) ~ ELEVATION + ASPECT.COS + SLOPE + GEOLOGY + RAIN + LANDCOVER.1, data = Modell1Av)

> summary(ORGANIC.MATTERfit, cor = F)

Call: lm(formula = logitpercent(ORGANIC.MATTERtrunc) ~ ELEVATION + ASPECT.COS + SLOPE + GEOLOGY + RAIN + LANDCOVER.1, data = Modell1Av)

Residuals:

Min	1Q	Median	3Q	Max
-4.239	-0.2632	0.009108	0.3054	1.814

Coefficients:

	Value	Std. Error	t value	Pr(> t)
(Intercept)	-4.8560	0.3412	-14.2328	0.0000
ELEVATION	0.0006	0.0001	5.9918	0.0000
ASPECT.COS	0.0341	0.0429	0.7943	0.4274
SLOPE	-0.0048	0.0045	-1.0552	0.2919
GEOLOGY2	0.3842	0.1194	3.2167	0.0014
GEOLOGY3	0.1085	0.1152	0.9420	0.3467
GEOLOGY4	0.0189	0.1402	0.1345	0.8931
GEOLOGY5	-0.2176	0.1562	-1.3929	0.1644
GEOLOGY6	0.2957	0.1756	1.6837	0.0930
RAIN2	0.3305	0.1116	2.9614	0.0032
RAIN3	0.4630	0.1160	3.9911	0.0001
RAIN4	0.6821	0.1346	5.0695	0.0000
RAIN5	0.4068	0.1470	2.7671	0.0059
RAIN6	0.4066	0.2162	1.8809	0.0607
RAIN7	0.2383	0.2191	1.0876	0.2774
RAIN8	0.4944	0.2041	2.4224	0.0158
LANDCOVER.14	-0.2113	0.2943	-0.7181	0.4731
LANDCOVER.15	0.4758	0.5001	0.9515	0.3419
LANDCOVER.16	-0.5999	0.4093	-1.4658	0.1434
LANDCOVER.17	-0.1473	0.2773	-0.5313	0.5955
LANDCOVER.18	0.1993	0.3487	0.5716	0.5679
LANDCOVER.19	-0.1330	0.2879	-0.4621	0.6443
LANDCOVER.110	0.1673	0.2887	0.5796	0.5625
LANDCOVER.113	-0.1461	0.2860	-0.5107	0.6098
LANDCOVER.115	-0.3847	0.3541	-1.0863	0.2780
LANDCOVER.116	1.0203	0.4059	2.5138	0.0123
LANDCOVER.117	-0.1009	0.2919	-0.3455	0.7299
LANDCOVER.118	-0.2991	0.2788	-1.0728	0.2840

LANDCOVER.120 -0.4523 0.3048 -1.4838 0.1386

Residual standard error: 0.5841 on 425 degrees of freedom

Multiple R-Squared: 0.5484

F-statistic: 18.43 on 28 and 425 degrees of freedom, the p-value is 0

> # Rückwärtselimination (Pr(>|t|) > 0.05, $\alpha = 5\%$): ASPECT.COS wird eliminiert, Pr(>|t|) = 0.4274

> # Regressionsgleichung neu bestimmen, ohne ASPECT.SIN, CURVATURE und ASPECT.COS

> ORGANIC.MATTERfit <- lm(logitpercent(ORGANIC.MATTERtrunc) ~ ELEVATION + SLOPE + GEOLOGY + RAIN + LANDCOVER.1, data = Modell1Av)

> summary(ORGANIC.MATTERfit, cor = F)

Call: lm(formula = logitpercent(ORGANIC.MATTERtrunc) ~ ELEVATION + SLOPE + GEOLOGY + RAIN + LANDCOVER.1, data = Modell1Av)

Residuals:

Min	1Q	Median	3Q	Max
-4.222	-0.2696	0.01382	0.3109	1.828

Coefficients:

	Value	Std. Error	t value	Pr(> t)
(Intercept)	-4.8526	0.3410	-14.2301	0.0000
ELEVATION	0.0006	0.0001	6.1040	0.0000
SLOPE	-0.0046	0.0045	-1.0268	0.3051
GEOLOGY2	0.3933	0.1188	3.3097	0.0010
GEOLOGY3	0.1086	0.1151	0.9439	0.3458
GEOLOGY4	0.0145	0.1401	0.1037	0.9175
GEOLOGY5	-0.2083	0.1557	-1.3377	0.1817
GEOLOGY6	0.2887	0.1753	1.6464	0.1004
RAIN2	0.3245	0.1113	2.9154	0.0037

RAIN3	0.4612	0.1159	3.9781	0.0001
RAIN4	0.6842	0.1345	5.0876	0.0000
RAIN5	0.4026	0.1468	2.7415	0.0064
RAIN6	0.3936	0.2155	1.8266	0.0685
RAIN7	0.2244	0.2183	1.0280	0.3045
RAIN8	0.4898	0.2039	2.4020	0.0167
LANDCOVER.14	-0.2224	0.2938	-0.7569	0.4495
LANDCOVER.15	0.4428	0.4981	0.8890	0.3745
LANDCOVER.16	-0.6275	0.4077	-1.5392	0.1245
LANDCOVER.17	-0.1681	0.2759	-0.6093	0.5427
LANDCOVER.18	0.1983	0.3485	0.5690	0.5697
LANDCOVER.19	-0.1456	0.2873	-0.5069	0.6125
LANDCOVER.110	0.1574	0.2883	0.5459	0.5854
LANDCOVER.113	-0.1535	0.2857	-0.5372	0.5914
LANDCOVER.115	-0.3970	0.3536	-1.1228	0.2621
LANDCOVER.116	1.0137	0.4056	2.4992	0.0128
LANDCOVER.117	-0.1066	0.2917	-0.3655	0.7149
LANDCOVER.118	-0.3104	0.2783	-1.1151	0.2654
LANDCOVER.120	-0.4674	0.3041	-1.5371	0.1250

Residual standard error: 0.5839 on 426 degrees of freedom

Multiple R-Squared: 0.5478

F-statistic: 19.11 on 27 and 426 degrees of freedom, the p-value is 0

> # Rückwärtselimination ($\Pr(>|t|) > 0.05$, $\alpha = 5\%$): SLOPE wird eliminiert, $\Pr(>|t|) = 0.3051$

> # Regressionsgleichung neu bestimmen, ohne ASPECT.SIN, CURVATURE, ASPECT.COS und SLOPE

> ORGANIC.MATTERfit <- lm(logitpercent(ORGANIC.MATTERtrunc) ~ ELEVATION + GEOLOGY + RAIN + LANDCOVER.1, data = Modell1Av)

> summary(ORGANIC.MATTERfit, cor = F)

Call: `lm(formula = logitpercent(ORGANIC.MATTERtrunc) ~ ELEVATION + GEOLOGY + RAIN + LANDCOVER.1, data = Modell1Av)`

Residuals:

Min	1Q	Median	3Q	Max
-4.311	-0.2708	0.01343	0.3058	1.8

Coefficients:

	Value	Std. Error	t value	Pr(> t)
(Intercept)	-4.7939	0.3362	-14.2592	0.0000
ELEVATION	0.0005	0.0001	6.5187	0.0000
GEOLOGY2	0.3992	0.1187	3.3629	0.0008
GEOLOGY3	0.1262	0.1138	1.1084	0.2683
GEOLOGY4	0.0287	0.1394	0.2060	0.8369
GEOLOGY5	-0.2054	0.1557	-1.3191	0.1878
GEOLOGY6	0.2832	0.1753	1.6158	0.1069
RAIN2	0.3293	0.1112	2.9609	0.0032
RAIN3	0.4793	0.1146	4.1825	0.0000
RAIN4	0.7028	0.1333	5.2744	0.0000
RAIN5	0.4243	0.1453	2.9198	0.0037
RAIN6	0.3945	0.2155	1.8308	0.0678
RAIN7	0.2222	0.2183	1.0179	0.3093
RAIN8	0.4696	0.2030	2.3135	0.0212
LANDCOVER.14	-0.2342	0.2936	-0.7976	0.4255
LANDCOVER.15	0.4128	0.4973	0.8300	0.4070
LANDCOVER.16	-0.6899	0.4031	-1.7113	0.0878
LANDCOVER.17	-0.1747	0.2759	-0.6332	0.5269
LANDCOVER.18	0.1975	0.3485	0.5665	0.5713
LANDCOVER.19	-0.1444	0.2873	-0.5024	0.6156
LANDCOVER.110	0.1277	0.2869	0.4451	0.6564
LANDCOVER.113	-0.1639	0.2856	-0.5740	0.5663
LANDCOVER.115	-0.4003	0.3536	-1.1319	0.2583

LANDCOVER.116	0.9903	0.4050	2.4453	0.0149
LANDCOVER.117	-0.1211	0.2913	-0.4156	0.6779
LANDCOVER.118	-0.3228	0.2781	-1.1609	0.2463
LANDCOVER.120	-0.4736	0.3040	-1.5577	0.1200

Residual standard error: 0.5839 on 427 degrees of freedom

Multiple R-Squared: 0.5466

F-statistic: 19.8 on 26 and 427 degrees of freedom, the p-value is 0

```
> # Ende der Rückwärtselimination: alle unabhängigen Variablen mit  $\Pr(>|t|) < 0.05$ . Bei Kategoriale Variablen reicht eine Klasse
```

```
> # Scatterplot der Regression nach der Rückwärtselimination (Abb. 7.1, mitte)
```

```
> plot(Modell1Av$ORGANIC.MATTERtrunc, invlogitpercent(ORGANIC.MATTERfit$fitted.values), main = "Nach Rückwärtselimination", xlab = "Org. Substanz (analysierter Wert)", ylab = "Org. Substanz (Wert aus Modell)")
```

```
> abline(c(0, 1))
```

```
> # Verfügbare Beobachtungen neu bestimmen. Evtl. grössere Sampleanzahl da weniger unabhängige Variablen
```

```
> # Regressionsgleichung neu bestimmen
```

```
> Modell1Av <- Modell12[!( is.na(Modell12$ORGANIC.MATTERtrunc) | is.na(Modell12$ELEVATION) | is.na(Modell12$GEOLOGY) | is.na(Modell12$RAIN) | is.na(Modell12$LANDCOVER.1)), ]
```

```
> ORGANIC.MATTERfit <- lm(logitpercent(ORGANIC.MATTERtrunc) ~ ELEVATION + GEOLOGY + RAIN + LANDCOVER.1, data = Modell1Av)
```

```
> summary(ORGANIC.MATTERfit, cor = F)
```

```
Call: lm(formula = logitpercent(ORGANIC.MATTERtrunc) ~ ELEVATION + GEOLOGY + RAIN + LANDCOVER.1, data = Modell1Av)
```

Residuals:

Min	1Q	Median	3Q	Max
-4.311	-0.2708	0.01343	0.3058	1.8

Coefficients:

	Value	Std. Error	t value	Pr(> t)
(Intercept)	-4.7939	0.3362	-14.2592	0.0000
ELEVATION	0.0005	0.0001	6.5187	0.0000
GEOLOGY2	0.3992	0.1187	3.3629	0.0008
GEOLOGY3	0.1262	0.1138	1.1084	0.2683
GEOLOGY4	0.0287	0.1394	0.2060	0.8369
GEOLOGY5	-0.2054	0.1557	-1.3191	0.1878
GEOLOGY6	0.2832	0.1753	1.6158	0.1069
RAIN2	0.3293	0.1112	2.9609	0.0032
RAIN3	0.4793	0.1146	4.1825	0.0000
RAIN4	0.7028	0.1333	5.2744	0.0000
RAIN5	0.4243	0.1453	2.9198	0.0037
RAIN6	0.3945	0.2155	1.8308	0.0678
RAIN7	0.2222	0.2183	1.0179	0.3093
RAIN8	0.4696	0.2030	2.3135	0.0212
LANDCOVER.14	-0.2342	0.2936	-0.7976	0.4255
LANDCOVER.15	0.4128	0.4973	0.8300	0.4070
LANDCOVER.16	-0.6899	0.4031	-1.7113	0.0878
LANDCOVER.17	-0.1747	0.2759	-0.6332	0.5269
LANDCOVER.18	0.1975	0.3485	0.5665	0.5713
LANDCOVER.19	-0.1444	0.2873	-0.5024	0.6156
LANDCOVER.110	0.1277	0.2869	0.4451	0.6564
LANDCOVER.113	-0.1639	0.2856	-0.5740	0.5663
LANDCOVER.115	-0.4003	0.3536	-1.1319	0.2583
LANDCOVER.116	0.9903	0.4050	2.4453	0.0149
LANDCOVER.117	-0.1211	0.2913	-0.4156	0.6779
LANDCOVER.118	-0.3228	0.2781	-1.1609	0.2463
LANDCOVER.120	-0.4736	0.3040	-1.5577	0.1200

Residual standard error: 0.5839 on 427 degrees of freedom

Multiple R-Squared: 0.5466

F-statistic: 19.8 on 26 and 427 degrees of freedom, the p-value is 0

```
> # Scatterplot der Regression nach der Rückwärtselimination mit vollständiger Anzahl Samples (Abb. 7.1, unten)
```

```
> plot(Modell1Av$ORGANIC.MATTERtrunc, invlogitpercent (ORGANIC.MATTERfit$fitted.values), main = "Nach  
Rückwärtselimination mit allen vollständigen Samplepunkten", xlab = "Org. Substanz (analysierter Wert)", ylab = "Org.  
Substanz (Wert aus Modell)")
```

```
> abline(c(0, 1))
```

```
> # Regressionsgleichung mit allen Dezimalstellen berechnen
```

```
> ORGANIC.MATTERfit$coefficients
```

(Intercept)	ELEVATION	GEOLOGY2	GEOLOGY3	GEOLOGY4	GEOLOGY5	GEOLOGY6	RAIN2	RAIN3
-4.793864	0.0005148952	0.3992198	0.126189	0.02870709	-0.2053762	0.2831915	0.3292949	0.4792772
RAIN4	RAIN5	RAIN6	RAIN7	RAIN8	LANDCOVER.14	LANDCOVER.15	LANDCOVER.16	
0.7028217	0.4243264	0.3945209	0.2221785	0.4695984	-0.2342193	0.4127693	-0.6898504	
LANDCOVER.17	LANDCOVER.18	LANDCOVER.19	LANDCOVER.110	LANDCOVER.113	LANDCOVER.115			
-0.1746879	0.1974511	-0.144357	0.1276963	-0.1639224	-0.4002672			
LANDCOVER.116	LANDCOVER.117	LANDCOVER.118	LANDCOVER.120					
0.99032	-0.1210847	-0.322829	-0.4736194					

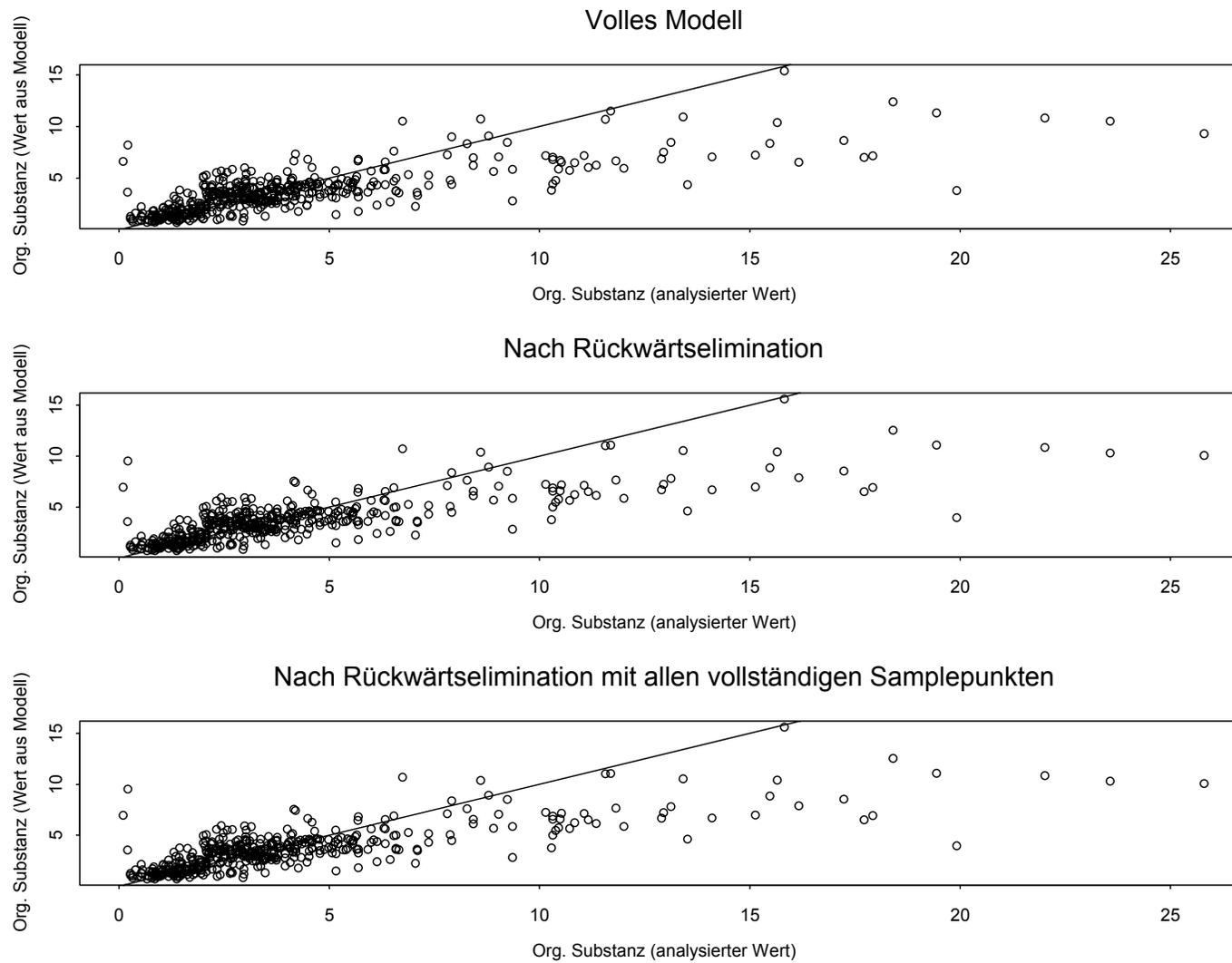


Abb. 7.1: Scatterplot S-Plus für Modellansatz 1. Oben: mit allen unabhängigen Variablen. Mitte: ohne ASPECT.SIN, ASPECT.COS, CURVATURE, SLOPE. Unten: ohne ASPECT.SIN, ASPECT.COS, CURVATURE, SLOPE jedoch mit neu berechneter Grundgesamtheit (Sampleanzahl ist jedoch gleich wie 'Scatterplot Mitte' obwohl weniger unabhängige Variablen).

7.1.4 Die Regressionsgleichung

Wie aus dem S-Plus Skript ersichtlich (Kap. 7.1.3), wurden folgende unabhängige Variablen anhand der Rückwärtselimination in der aufgeführten Reihenfolge aus der Regressionsgleichung ausgeschlossen: (1) sinASPECT, (2) CURVATURE, (3) cosASPECT, (4) SLOPE. Tab. 7.3 gibt die somit erhaltene definitive Regressionsgleichung für den Modellansatz_1 wieder.

Parameter	Regressionskoeffizient	Parameter	Regressionskoeffizient
Intercept	-4.793864	LANDCOVER.14	-0.2342193
ELEVATION	+0.0005148952	LANDCOVER.15	+0.4127693
GEOLOGY2	+0.3992198	LANDCOVER.16	-0.6898504
GEOLOGY3	+0.126189	LANDCOVER.17	-0.1746879
GEOLOGY4	+0.02870709	LANDCOVER.18	+0.1974511
GEOLOGY5	-0.2053762	LANDCOVER.19	-0.144357
GEOLOGY6	+0.2831915	LANDCOVER.110	+0.1276963
RAINFALL2	+0.3292949	LANDCOVER.113	-0.1639224
RAINFALL3	+0.4792772	LANDCOVER.115	-0.4002672
RAINFALL4	+0.7028217	LANDCOVER.116	+0.99032
RAINFALL5	+0.4243264	LANDCOVER.117	-0.1210847
RAINFALL6	+0.3945209	LANDCOVER.118	-0.322829
RAINFALL7	+0.2221785	LANDCOVER.120	-0.4736194
RAINFALL8	+0.4695984		

Tab. 7.3: Regressionsgleichung Modell_1

Die statistischen Kennzahlen zur Regressionsgleichung sind in Tab. 7.4 noch einmal aufgeführt. Das multiple Bestimmtheitsmass $B_{Y.X_n}$ gibt an, wieviel Prozent der Varianz von Y insgesamt durch die vier unabhängigen Variablen erklärt wird. Die positive Wurzel aus dem Bestimmtheitsmass wird als multipler Korrelationskoeffizient $R_{Y.X_n}$ bezeichnet (BAHRENBURG/GIESE/NIPPER 1992).

Beobachtungen n	454
multiple Bestimmtheitsmass B	0.5466
multipler Korrelationskoeffizient r	0.7393

Tab. 7.4: Statistische Kennzahlen zur Regressionsgleichung Modell_1

7.2 Rechenschritte Arc/Grid

Anhand der für den Modellansatz_1 errechneten Regressionsgleichung (Tab. 7.3) können folgende Berechnungsschritte für das GIS, Arc/Grid abgeleitet werden. Dabei werden die folgenden Formeln auf die gesamte Fläche und somit auf jede Zelle des Endgrids angewandt. Die Werte für die unabhängigen Variablen GEOLOGY, RAINFALL, LANDCOVER fließen anhand der Ingrids in die Berechnungen ein.

Als Endprodukt entsteht ein Raster-Layer (Zellgrösse: 50 Meter), welches die organische Substanz in Klassen über das von den unabhängigen Variablen abgedeckte Gebiet darstellt. Die Gehalte sind auf Zellbasis berechnet.

- 1. Schritt: Berechnungen für die kategorialen Variablen:

```

GEOLTOT_REG =      con (GEOLTOT == 1, 0,
                    con (GEOLTOT == 2, 0.3992198,
                    con (GEOLTOT == 3, 0.126189,
                    con (GEOLTOT == 4, 0.02870709,
                    con (GEOLTOT == 5, -0.2053762,
                    con (GEOLTOT == 6, 0.2831915, 0))))))

```

```

RAIN_REG =         con (RAINFALL == 1, 0,
                    con (RAINFALL == 2, 0.3292949,
                    con (RAINFALL == 3, 0.4792772,
                    con (RAINFALL == 4, 0.7028217,
                    con (RAINFALL == 5, 0.4243264,
                    con (RAINFALL == 6, 0.3945209,
                    con (RAINFALL == 7, 0.2221785,
                    con (RAINFALL == 8, 0.4695984, ))))))))

```

```

LDCOV_REG =      con (LDCOV_1 == 2, 0,
                  con (LDCOV_1 == 4, -0.2342193,
                  con (LDCOV_1 == 5, 0.4127693,
                  con (LDCOV_1 == 6, -0.6898504,
                  con (LDCOV_1 == 7, -0.1746879,
                  con (LDCOV_1 == 8, 0.1974511,
                  con (LDCOV_1 == 9, -0.144357,
                  con (LDCOV_1 == 10, 0.1276963,
                  con (LDCOV_1 == 13, -0.1639224,
                  con (LDCOV_1 == 15, -0.4002672,
                  con (LDCOV_1 == 16, 0.99032,
                  con (LDCOV_1 == 17, -0.1210847,
                  con (LDCOV_1 == 18, -0.322829,
                  con (LDCOV_1 == 20, -0.4736194, 100)))))))))))))

```

Dabei sind „GEOLTOT_REG“, „RAIN_REG“ und „LDCOV_REG“ die neu berechneten Grids.

Die Rechenoperation ‚con‘ führt eine oder mehrere Wenn/Dann/Sonst-Beurteilungen auf Zellbasis durch.

Die Bezeichnungen „GEOLTOT“, „RAINFALL“ sowie „LDCOV_1“ beziehen sich auf die Ingrid.

Die jeweiligen Klassenwerte für die Variablen sind aus der Regressionsgleichung (Verg. Tab. 5.10) abzulesen.

Der Wert 100, welcher in der Formel zu LDCOV_REG ganz zum Ende als Sonst-Wert aufgeführt ist, wird in Kapitel 7.4 noch angesprochen.

- 2. Schritt: Schätzung für den Gehalt an organischer Substanz (logit-Wert):

```

OM_LOGIT =      -4.793864 + 0.0005148952 * ELEVATION + GEOLTOT_REG
                  + RAIN_REG + LDCOV_REG

```

„GEOLTOT_REG“, „RAINFALL_REG“ sowie „LDCOV_REG“ beziehen sich auf die im 1. Schritt berechneten Outgrids. Die Variable „ELEVATION“ kann aufgrund des metrischen Skalenniveaus direkt in die Regressionsgleichung übernommen werden.

- 3. Schritt: Umkehrtransformation auf logit-Wert:

$$OM_PERC = 100 / (1 + 1 / (\exp (OM_LOGIT)))$$

Um den Gehalt an organischer Substanz in Prozent zu erhalten, müssen die in Schritt 2 berechneten Werte aufgrund der vorangegangenen logit-Transformation noch rückberechnet werden. Das Grid „OM_PERC“ enthält nun in jeder Zelle Informationen über den Gehalt an organischer Substanz [%].

- 4. Schritt: Darstellung in OS-Klassen:

$$OMATTER = \text{con} (OM_PERC < 1, 1, \\ \text{con} (OM_PERC < 2, 2, \\ \text{con} (OM_PERC < 4, 3, \\ \text{con} (OM_PERC < 8, 4, \\ \text{con} (OM_PERC < 15, 5, \\ \text{con} (OM_PERC >= 15, 6, 0))))))$$

Anhand aufgeführter Formel wird abschliessend die Zugehörigkeit jeder Zelle des Raster-Layers „OMATTER“ zu einer OS-Klasse nach der AG BODENKUNDE 1996 berechnet.

7.3 Bodeneigenschaftskarte Organische Substanz

Das aus den vorangegangenen Berechnungen im Arc/Grid modellierte Raster-Layer „OMATTER“ ist in Abb. 7.2 dargestellt und stellt das graphische Endprodukt dieser Studie dar. Wie bereits erläutert, wurden die Gehalte an organischer Substanz bezüglich den Abstufungen und Bezeichnungen in AG BODENKUNDE 1996 vorgenommen. Auf die in der Legende zusätzlich aufgeführte Klasse „kein Wert“ wird in Kapitel 7.4 eingegangen.

Aufgrund der schlechten statistischen Zusammenhänge zwischen Ziel- und Einflussgrössen (Tab. 7.4, S. 99) muss darauf verwiesen werden, dass es sich bei der modellierten Bodeneigenschaftskarte hauptsächlich um einen Ansatz zur Methodenentwicklung handelt. Bei der Weiterverwendung der Resultate ist somit Vorsicht geboten. Nur gerade 54.66 % der Varianzen von Y (Organische Substanz) sind insgesamt durch die vier unabhängigen Variablen erklärbar. Die Diskussion über die Auswertung und Beurteilung der Anwendbarkeit wird in Kapitel 8: Diskussion der Modellierung geführt.

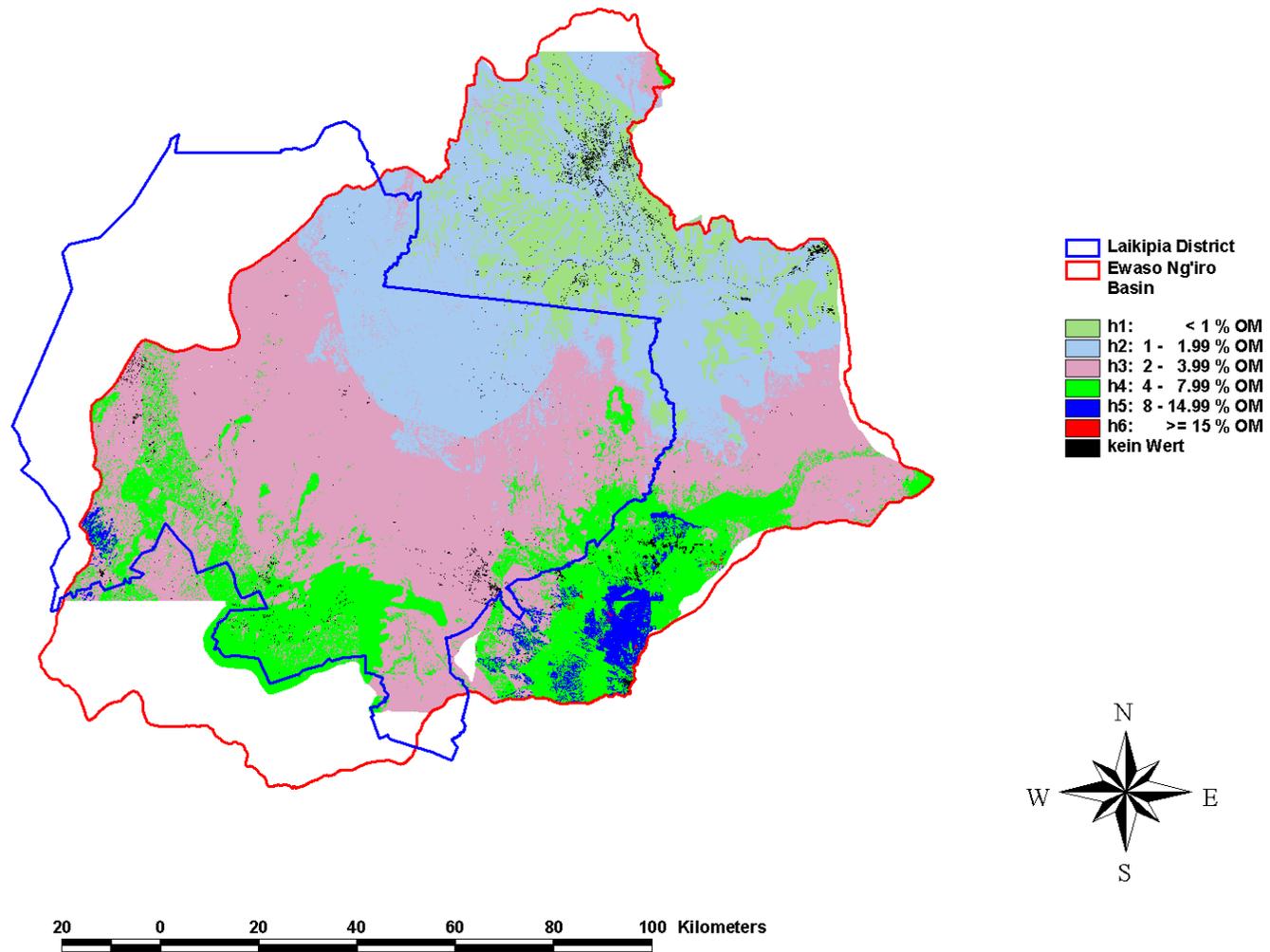


Abb. 7.2: Bodeneigenschaftskarte Organische Substanz, Upper Ewaso Ng'iro Basin, Kenia

7.4 Problembehebung und Prüfung

Bei der Verwendung des Raster-Layers für die unabhängige Variable LANDCOVER_1 trat ein unvorhergesehener Fehler auf. Aufgrund der zu kleinen Gesamtstichprobe wurden folgende LANDCOVER_1 Klassen nicht in die Regressionsberechnungen mit einbezogen: (1) I/Cl: Ice/Cloud, (3) Cfallow: > 50 % Cropland (fallow), (11) Gb: > 50 % bare Grassland, (12) R: > 50 % Rock, (14) W: Water und (19) U: Urban (nach NIEDERER 2000, Verg. Tab. 5.10). Dies war möglich aufgrund der Tatsache, dass kein Samplepunkt in die entsprechenden Klassen zu liegen kam. Um diese Problematik auszuschalten, boten sich zwei Lösungsansätze an:

(1) Fehlerhafte Zellen werden aus der Modellberechnung ausgelassen:

Zellen mit den Werten einer nicht berücksichtigten Klasse werden aus der definitiven Modellberechnung ausgelassen. Anhand des eingeführten Wertes 100 am Ende der für LDCOV_REG berechneten Formel (Kapitel 7.2, 1. Schritt) ist es möglich, jene Zellen im Endgrid zu markieren. Diese erscheinen mit einem Gehalt an organischer Substanz von 100 Prozent und können somit leicht identifiziert werden und als Klasse „kein Wert“ in der Bodeneigenschaftskarte ausgewiesen werden.

(2) Vernachlässigte Klassen werden umklassiert:

Die einzelnen, vernachlässigten Klassen können vergleichsweise ähnlichen Klassen zugeordnet werden.

Für die definitive Endberechnung der Bodeneigenschaftskarte wurde nach „Lösung 1“ vorgegangen. Einerseits wären die folgenden drei Klassen (1) I/Cl, (14) W und (19) U nur schwer einer Nachbarklasse zuzuweisen und andererseits handelt es sich bei den aufgeführten Klassen um jene mit den geringsten Häufigkeiten. Jene Zellen, welche nun aufgrund dieses Umstandes schlussendlich nicht in die Berechnungen einbezogen werden konnten, sind somit der Klasse „kein Wert“ zugeordnet.

Um weitere Ungenauigkeiten und Probleme aufzudecken, wurde die Bodeneigenschaftskarte noch anhand der analysierten OS-Gehalte überprüft. Dabei wurden die Samples nach ihrer organischen Substanz den jeweiligen Klassen zugeteilt und bezüglich ihrer Lage in der Karte abgebildet. Die Überprüfung der Übereinstimmung zwischen Karte und analysierten Werten konnte somit rein visuell durchgeführt werden und zeigte eine beinahe perfekte Deckung auf. Die Bodeneigenschaftskarte konnte somit ohne weitere Anpassungen als Endprodukt ausgewiesen werden und ist in Abb. 7.2 abgebildet.

8 Diskussion der Modellierung

Zu Beginn des Kapitels sollen hier noch einmal die statistischen Kennzahlen der für die Modellierung benötigten Regressionsgleichung tabellarisch dargestellt werden (Tab. 8.1). Diese berechnen sich aus dem Vergleich des tatsächlichen, analysierten und dem vom Modell berechneten Gehalt an organischer Substanz. Da für die Modellierung jedoch nicht der genau Prozentwert sondern die OS-Klasse verwendet wurde, ist in Tab. 8.1 im Vergleich zu Tab. 5.12 nun zusätzlich auch noch die Statistik nach Klassen aufgeführt.

	nach %	nach Klassen
Beobachtungen n	454	454
multipl. Bestimmtheitsmass B	0.5466	0.5417
multipler Korrelationskoeffizient r	0.7393	0.7360

Tab. 8.1: Statistische Kennzahlen zur Regressionsgleichung Modellansatz_1

Da diese Kennzahlen meist nur schwer zu interpretieren sind wird in diesem Kapitel anhand verschiedener Ansätze versucht, auf die Resultate tabellarisch wie graphisch etwas näher einzugehen. Das dabei erhaltene Bild zeigt die Stärken und Schwächen des Modells auf und lässt ein einfacheres Interpretieren zu.

Für die Auswertung des Modells werden die Daten zuerst in einer leicht überschaubaren Weise dargestellt. Tab. 8.2 gibt einen zufälligen Ausschnitt aus dieser, für die Auswertung relevanten Datenmatrix wieder. Als zentrale Größen werden dabei der tatsächliche Gehalt an Organischer Substanz (OS_{Ana}) dem aus dem Modell resultierendem OS-Gehalt (OS_{Mod}) gegenübergestellt und aus diesen zwei Werten jeweils die Betragsdifferenz

$$\left| OS_{Ana} - \overline{OS_{Mod}} \right|$$

gebildet. Die Soter-Unit ID wird zur Identifikation eines Punktes benötigt, welche eine genauere Betrachtung und Interpretation erst zulassen.

Soter- Unit ID	OS _{Ana} [%]	OS _{Ana} [Klassen]	OS _{Mod} [%]	OS _{Mod} [Klassen]	$ OS_{Ana} \cap \overline{OS_{Mod}} $ [%]
1003	1,50	2,00	2,30	3,00	0,80
1005	2,92	3,00	3,58	3,00	0,66
1528	1,63	2,00	1,15	2,00	0,49
1529	0,98	1,00	1,16	2,00	0,18
1635	16,17	6,00	7,89	4,00	8,28
1638	12,01	5,00	5,86	4,00	6,15
2016	1,96	2,00	2,55	3,00	0,59
3001	4,21	4,00	3,63	3,00	0,58
3031	3,68	3,00	3,14	3,00	0,54
4001	0,81	1,00	1,70	2,00	0,89
4002	1,20	2,00	1,63	2,00	0,42
6466	2,08	3,00	5,04	4,00	2,96
7001	2,82	3,00	3,84	3,00	1,02
9009	10,49	5,00	6,58	4,00	3,92
11001	4,01	4,00	4,00	4,00	0,01

Tab. 8.2: Datenmatrix Auswertung - ein Ausschnitt. Daten: Grundgesamtheit_{Modell}

8.1 Auswertung des Modells

Tab. 8.3 bietet einen ersten Anhaltspunkt für die Auswertung des Modells. Dabei werden im linken Teil die Anzahl Bodenproben pro Klasse für die analysierten sowie die errechneten Werte bestimmt und die Resultate gegeneinander verglichen. Bereits jetzt lässt sich erahnen, dass die Modellrechnung keine sehr hohen Werte zu berechnen vermag. In die OS-Klassen h5 und h6 fallen nur gerade 18 Proben gegenüber 48 Proben bei der Analyse.

OS [Klasse]	OS [%]	n _{Ana}	n _{Mod}	Übereinstimmung	1 Klasse	2 Klassen	3 + Klassen
h1	< 1	38	25	249			
h2	1 – 2	77	86		102	11	1 +
h3	2 – 4	186	193		87	2	2 -
h4	4 – 8	105	132				
h5	8 – 15	34	17	249	189	13	3 Total
h6	> 15	14	1				
Total		454	454				454

Tab. 8.3: Auswertung organische Substanz nach Klassen: Modell vs. Analyse. Linke Seite: Anzahl Proben pro Klasse - Analyse und Modell. Rechte Seite: Vergleich Analyse - Modell pro Probe. Daten: Grundgesamtheit_{Modell}

Auf der rechten Seite von Tab. 8.3 wird die Übereinstimmung von Analyse und Modell pro Datenpunkt überprüft. Bei 249 Proben errechnet das Modell dieselbe Klassenzugehörigkeit wie bei den Analyseresultaten. Das sind ca. 55 % der Grundgesamtheit. Die folgenden

Spalten geben an, wie viele Samples um n-Klassen abweichen. Ist das Vorzeichen positiv, liegt der vom Modell errechnete Gehalt an organischer Substanz um die genannte Anzahl Klassen zu tief. Falls das Vorzeichen negativ ist, berechnet das Modell zu hohe Werte. Daraus ergibt sich, dass 95 % aller Berechnungen entweder in der richtigen OS-Klasse oder nur eine daneben zu liegen kommen.

Der Wertebereich der OS-Klassen untereinander ist jedoch nicht identisch. Aus diesem Grunde ist bei der Interpretation dieses Ansatzes Vorsicht geboten. Um das Problem unterschiedlicher Klassenintervalle auszuschalten, werden beim weiteren Vorgehen meist die genauen OS-Gehaltsangaben [%] als Basis genommen.

Ein weiterer wichtiger Interpretationszugang ist der Vergleich der Populationskenngrößen von OS_{Ana} und OS_{Mod} . Diese sind in Tab. 8.4 aufgeführt. Ergänzt wird die Tabelle zusätzlich noch durch die Kenngrößen für die, aus Analyse- und Modellresultaten gebildete Differenz.

$$OS_{Ana} \cap \overline{OS_{Mod}}$$

Bei der nun folgenden Ansprache ist vor allem auf den Mittelwert, sowie die jeweiligen Minima und Maxima zu achten. Der vom Modell berechnete Maximalwert liegt bei 15,60 % und somit um ca. 10 % tiefer als der Maximalwert aus den Analysedaten.

	OS_{Ana} [%]	OS_{Mod} [%]	$OS_{Ana} \cap \overline{OS_{Mod}}$ [%]
Mittelwert	4,10	3,58	0,52
Standardfehler	0,17	0,10	0,12
Median	3,04	3,30	0,05
Standardabweichung	3,70	2,14	2,48
Wertebereich	25,80	14,90	25,28
Minimum	0,00	0,70	-9,31
Maximum	25,80	15,60	15,97
Summe	1862,70	1627,21	235,49
Anzahl	454,00	454,00	454,00
Anzahl neg.			222,00
Anzahl pos.			232,00
Summe neg.			211,33
Summe pos.			446,82

Tab. 8.4: Populationskenngrößen der Organischen Substanz. Daten: Grundgesamtheit_{Modell}

Weiter wird aus den für die Differenz zusätzlich angefügten Angaben (Tab. 8.4) ersichtlich, dass bei fast genau der Hälfte der Grundgesamtheit der errechnete Modellgehalt an organischer Substanz über (Anzahl neg.), bei der andere Hälfte unter (Anzahl pos.) dem tatsächlichen Gehalt an organischer Substanz zu liegen kommt. Wird nun die Summe aller negativen und positiven Werten gebildet und gegeneinander verglichen fällt auf, dass die

Summe aller positiven Differenzen fast doppelt so gross wie die Summe aller negativen Differenzen ist.

Die aus den oben aufgeführten Tabellen und unter Zuzug von Tab. 8.4, Spalte „Anzahl“ erworbenen Erkenntnisse zeigen ein zentrales Problem der Regressionsgleichung bereits sehr deutlich auf. Die Modellrechnung vermag, wie zu Beginn bereits vermutet, keine hohen OS-Werte zu modellieren.

In Tab. 8.5 werden die Proben bezüglich ihrer tatsächlichen OS-Gehalte in Klassen mit der Intervallgrösse von 2 % eingeteilt und die Summe aller Betragsdifferenzen

$$\sum_{i=1}^n |OS_{Ana} \cap \overline{OS_{Mod}}|$$

innerhalb dieser Klasse berechnet. Um jedoch eine Vergleichsbasis zu erhalten, muss eine Durchschnittsdifferenz kalkuliert werden; das heisst die Summe muss jeweils noch durch die Anzahl Proben pro Klasse dividiert werden.

$$\frac{1}{n} \sum_{i=1}^n |OS_{Ana} \cap \overline{OS_{Mod}}|$$

Org. Substanz [Klassen]	n_{Ana}	n_{Mod}	$\sum_{i=1}^n OS_{\text{Ana}} \cap \overline{OS_{\text{Mod}}} $ [%]	$\frac{1}{n} \sum_{i=1}^n OS_{\text{Ana}} \cap \overline{OS_{\text{Mod}}} $ [%]
0 – 1.99 %	115	111	77.33	0.67
2.00 – 3.99 %	186	193	169.63	0.91
4.00 – 5.99 %	76	100	84.21	1.11
6.00 – 7.99 %	29	32	64.03	2.21
8.00 – 9.99 %	10	6	22.75	2.28
10.00 – 11.99 %	17	10	67.73	3.98
12.00 – 13.99 %	6	1	35.21	5.87
14.00 – 15.99 %	5	1	27.70	5.54
16.00 – 17.99 %	4	0	39.22	9.80
18.00 – 19.99 %	3	0	30.18	10.06
20.00 – 21.99 %	0	0	---	---
22.00 – 23.99 %	2	0	24.43	12.22
24.00 – 25.99 %	1	0	15.73	15.73

Tab. 8.5: Vergleich der Modellresultate hinsichtlich der tatsächlichen Organischen Substanz eingeteilt in %-Klassen. Daten: Grundgesamtheit_{Modell}

Die somit erhaltenen Daten zeigen einen weiteren Schwachpunkt des Modells auf. Es wird klar ersichtlich, dass je höher der tatsächliche Gehalt an Organischer Substanz [%] ist, desto grösser ist auch die durchschnittliche Abweichung von der Modellberechnung.

Für Analysewerte, die den Maximalwert des Modells klar übersteigen, scheint diese Erkenntnis nachvollziehbar. Jedoch erstaunt dieser Umstand bei OS_{Ana} -Gehalten unter 15,60 % (Tab. 8.5).

Abb. 8.1 stellt die Erkenntnisse von Tab. 8.5 noch in einer Grafik dar.

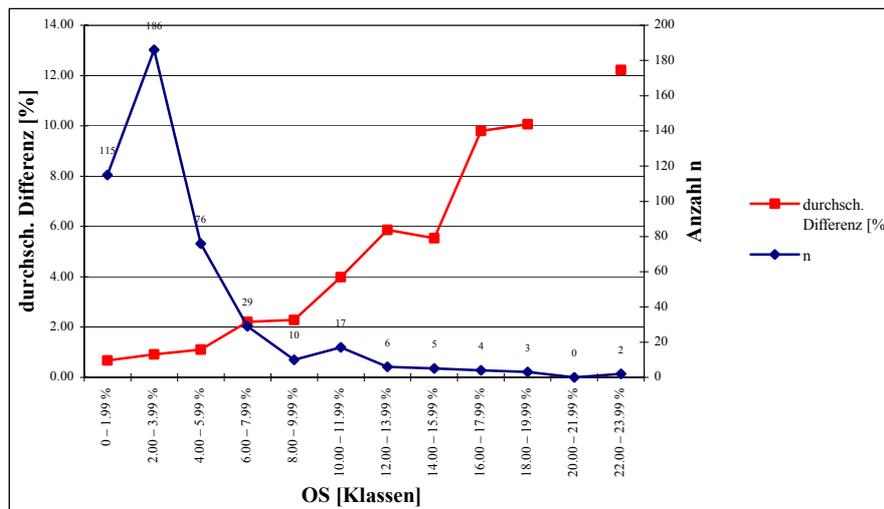


Abb. 8.1: Darstellung der durchschnittlichen Abweichung der Modellresultate von der tatsächlichen Organischen Substanz [%]. Tatsächliche Organische Substanz in %- Klassen eingeteilt. Daten: Grundgesamtheit_{Modell}

Zum Ende dieser Ausführungen kommen wir zum Schluss, dass das Modell einerseits keine hohen OS-Gehalte zu berechnen vermag (auch nicht unter Einbezug der Extremwerte in die Regressionsrechnung) und andererseits mit zunehmendem tatsächlichen Gehalt an Organischer Substanz klar ungenauer wird.

8.2 Mögliche Fehlerquellen

Auf die Probleme bei der Modellrechnung wurde im letzten Unterkapitel eingegangen. Es wird jedoch nicht ersichtlich, ob die genannten Probleme überall auftreten oder nur bestimmte Punkte als Fehlerquellen agieren. Im nun folgenden Kapitel soll versucht werden, mögliche Mängel in der Grundgesamtheit zu erkennen und anzusprechen. Dabei werden folgende Fehlerquellen in Betracht gezogen: Autor/Literaturquelle, Datengrundlagen/GIS-Informationenlayer, geographische Lage, Stichprobenfehler, Gebietsgrösse.

Als Beurteilungskriterium für die Identifikation sowie die Ansprache und Beurteilung der möglichen Fehlerquellen wird, falls nicht anders erwähnt, wiederum auf die Betragsdifferenz $OS_{Ana} - OS_{Mod}$ [%] zurückgegriffen.

8.2.1 Auswertung nach Autor

Bei der Betrachtung der Grundgesamtheit nach Autor soll zu keiner Zeit Kritik geübt oder die vorliegenden Resultate angezweifelt werden. Es geht dabei lediglich darum, mögliche Fehlerquellen aufzuzeigen. Die Tatsache alleine, dass die vorhandenen Daten über eine sehr langen Zeitspanne von verschiedenen Autoren und somit unterschiedlichen Erhebungsmethoden gesammelt wurden, lässt Ungenauigkeiten vermuten.

Zu Beginn wird die gesamte Population nach der Soter-Unit ID sortiert und bezüglich Tab. 4.1 unterteilt. Anschliessend wird das Minimum, Maximum sowie der Mittelwert der Betragsdifferenz $OS_{Ana} - OS_{Mod}$ [%] berechnet und gegeneinander verglichen. Abb. 8.2 stellt

die Resultate dar. Auf der Abszisse sind zusätzlich zu der Soter-Unit ID auch die Anzahl Stichprobenelement pro Autor vermerkt.

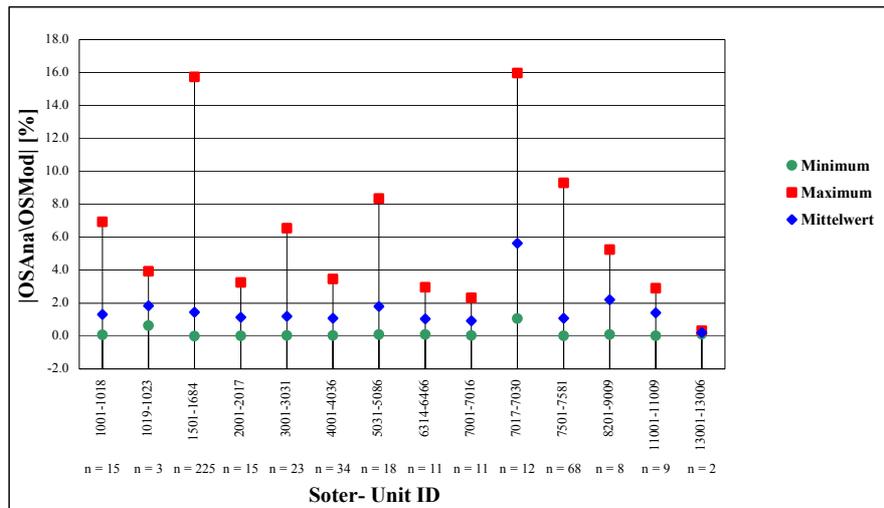


Abb. 8.2: Darstellung der minimalen, maximalen und durchschnittlichen Abweichung der Modellresultate von der tatsächlichen Organischen Substanz [%]. Daten: Grundgesamtheit_{Modell} unterteilt nach Autor

EKIRAPA 1983 (Soter-Unit ID: 130001-13006) sowie MBUVI 1989 (Soter-Unit ID: 1019-1023) sollten zu Beginn, aus Mangel an Proben, aus den Betrachtungen ausgeschlossen werden. Die Punktzahl ist auch bei anderen Autoren sehr klein und somit sind auch jene Resultate mit Vorsicht zu interpretieren.

Auffallend sind die hohen Maximalwerte bei BINGGELI/LEDERMANN 2002 (KE1501-1684) sowie MAINGA, MBUVI 1994 (KE7017-7030). In beiden Fällen ist eine genauere Betrachtung dieser Maximalwerte unumgänglich. In Kombination mit dem Mittelwert kann der hohe Wert bei BINGGELI/LEDERMANN 2002 jedoch als Ausreisser abgetan werden. Der Mittelwert bei MAINGA, MBUVI 1994 übersteigt aber 5 % und auch das Minimum ist bereits grösser als 1 %.

8.2.2 Auswertung nach Datenherkunft

Zu Beginn der Modellrechnung wurden folgende GIS-Informationenlayer in die Regressionsgleichung aufgenommen (Verg. Tab. 6.3): Elevation, Aspect, Curvature, Geology, Slope, Rain, Landcover_1. Im folgenden werden einige Layers noch einmal angesprochen und nach möglichen Fehlerquellen gesucht.

Aus diesen Ausführungen wird zum Teil auch ersichtlich, warum einige unabhängige Variablen (ASPECT, CURVATURE, SLOPE) aus der schlussendlichen Regressionsgleichung wegfallen.

- Elevation:

Die Zuverlässigkeit des Layers kann anhand der im Feld bestimmten Höhe überprüft werden. Abb. 8.3 stellt die Resultate graphisch dar und liefert zusätzlich noch einige statistische Kennzahlen.

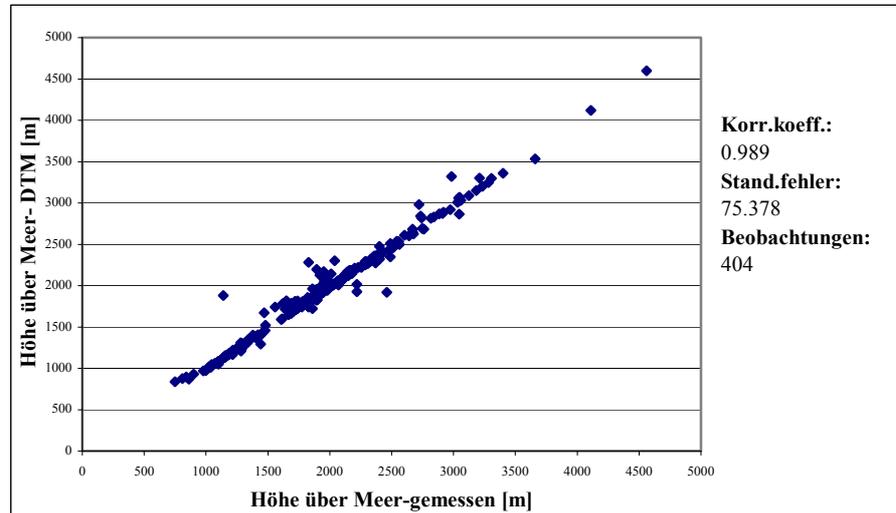


Abb. 8.3: Streudiagramm der Höhe über Meer [m]: gemessen vs. DTM. Ergänzt durch statistische Kennzahlen. Daten: Grundgesamtheit_{Total}

Bei einem Korrelationskoeffizient von 0.989 kann von einer sehr guten Übereinstimmung gesprochen werden. Dieser Layer sollte somit keine Mängel beinhalten.

- Aspect

Der Einbezug des Aspect-, bzw. Expositionslayers ist aus zwei Gründen zu hinterfragen. Einerseits ist der Einfluss der Exposition auf die Bodenparameter in Gebieten nahe des Äquators stark eingeschränkt. Andererseits wird bei einer Gridgröße von 50 x 50 Meter kein genereller Trend sondern kleinräumige Unterschiede aufgezeigt.

- Curvature

Wie bereits beim Aspect tritt beim Curvature-Layer die Problematik der Zellgröße erneut auf. Entscheidend für die Fragestellung der aktuellen Arbeit sind Geländeformen der Makroebene. So sind zum Beispiel konvexe wie auch konkave Grossformen von grosser Bedeutung. Durch die Gridgröße von 50 x 50 Meter wird jedoch wiederum nur das Mikrorelief abgebildet.

- Geology

Der Umstand, dass das Geology-Layer aus Teilen von verschiedenen Autoren zusammengefügt wurde, könnte eventuell einige Fehler bewirken. Beim Zusammenfügen wurden jedoch die in KLINGL (1996) verwendeten sechs Klassen genutzt und somit eine gemeinsame Basis geschaffen. Bestehende Überschneidungen wurden überprüft und zeigten eine gute Übereinstimmung. Auch die Klassenanzahl sowie die Wahl der zusammengefassten geologischen Einheiten sollten keine weiteren Mängel bewirken.

- Landcover

Bei der Vegetationsansprache handelt es sich um Daten, welche aus Satellitenbildern gewonnen wurden und sollten somit keine Fehler beinhalten. Folgende Probleme könnten dennoch auftreten: Einerseits könnte die Anzahl der Klassen, bzw. die zum Teil sehr feine Unterteilung zwischen den Klassen, zu Fehlern führen. Andererseits sind die Daten nicht sehr aktuell. Veränderungen in der Landnutzung könnten in kurzer Zeit auch Auswirkungen auf den Gehalt an organischer Substanz haben. Dieses Problem tritt jedoch nur sehr vereinzelt auf und wird somit nicht von entscheidender Bedeutung sein.

8.2.3 Geographische Auswertung

Bei der geographischen Auswertung werden die einzelnen Punkte bezüglich ihrer Lage im Untersuchungsgebiet angesprochen. Dabei soll ersichtlich werden, ob Proben mit einer grossen Betragsdifferenz $OS_{Ana} - OS_{Mod}$ [%] zufällig über das Gebiet verteilt oder in Ansammlungen auftreten. Ziel dieses Ansatzes ist es, gebietsspezifische Aussagen formulieren zu können.

Zu Beginn werden für die Betragsdifferenzen $OS_{Ana} - OS_{Mod}$ [%] Klassen definiert. Tab. 8.6 zeigt die Abstufungsintervalle auf und gibt zusätzlich noch die Anzahl Stichprobenelemente pro Klasse wieder. Die Intervallsbreite wurde aus Gründen der besseren Interpretierbarkeit nicht einheitlich gewählt.

Klasse	Bereich	Bezeichnung Betragsdifferenz	Anzahl
BDiff-1	< 0.25 %	sehr klein	98
BDiff-2	0.25 – 0.99 %	klein	168
BDiff-3	1.00 – 1.99 %	mittel	97
BDiff-4	2.00 – 3.99 %	gross	59
BDiff-5	4.00 – 5.99 %	sehr gross	13
BDiff-6	6.00 – 9.99 %	äusserst gross	13
BDiff-7	≥ 10.00 %	extrem	6

Tab. 8.6: Klassenintervalle der Betragsdifferenzen. Ergänzt durch Anzahl Stichprobenelemente pro Klasse

In Abb. 8.4 werden die einzelnen Probestandorte nun bezüglich ihrer Lage und Klassenzugehörigkeit abgebildet. Die Betragsdifferenzklassen BDiff-5 bis BDiff-7 sind mit starken Farben hervorgehoben. Auffallend ist, dass bis auf zwei die gesamten Samples mit

BDiff-5/6/7 im Raume des Mt. Kenya zu liegen kommen. Vergleicht man des weitem Tabelle 7.7 wird ersichtlich, dass die Subdivision Mt. Kenya tatsächlich klar dominiert (nur BDiff 6 und 7). Einige Punkte finden sich auch in den Gebieten des Gebirgsfusses Embori, Ngenia und Naro Moru.

Die Verteilung der Proben, welche in die Klassen BDiff-1 bis BDiff-4 fallen, ist jedoch klar als zufällig zu interpretieren. Es treten keine Häufungen auf.

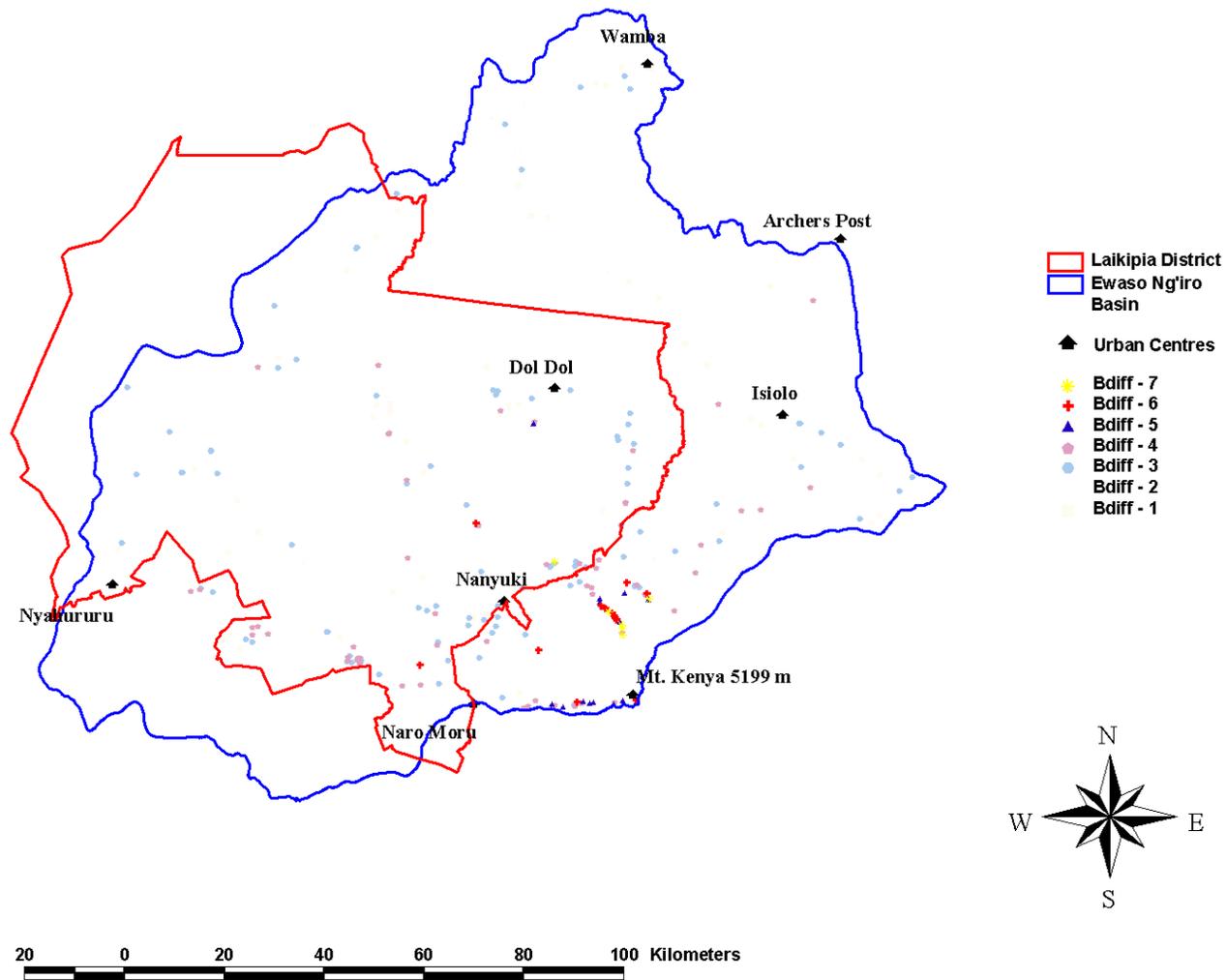


Abb. 8.4: Darstellung der Betragsdifferenzen in Klassen (BDiff). Daten: Grundgesamtheit_{Modell}

8.2.4 Punktbezogene Betrachtung

Abschliessend zu diesem Kapitel wird nun die punktbezogene Betrachtung erläutert. Dabei werden alle Stichprobenelemente der Betragsdifferenz-Klassen BDiff-6 und BDiff-7, das heisst alle mit Werten über 6 %, separat etwas genauer auf mögliche Fehler oder Besonderheiten überprüft. Tab. 8.7 zeigt eine Zusammenstellung der angesprochenen Samples.

Wie bereits angesprochen befinden sich die angesprochenen Samples meist im Gebiete des Mt. Kenyas. Dieser Umstand wird klar durch die Betrachtung der Spalte Subdivision ersichtlich. Gleichzeitig dazu sind natürlich auch die Werte für die Elevation eher gross.

Auffallend ist im weitem die Übereinstimmung aller Samples bei der Geologie. So befinden sich alle auf Eruptivgestein. Dies ist jedoch durch die Lage am Mt. Kenya nicht anders zu erwarten. Probestandorte im Westen des Forschungsgebietes, welche auch auf vulkanischem Untergrund liegen, besitzen gleichwohl eine tiefe Betragsdifferenz. Somit kann ein Zusammenhang zwischen der Geologie und hohen Betragsdifferenzen ausgeschlossen werden.

Die Betrachtung der anderen Parameter von Tab. 7.7 bringt keine neuen Erkenntnisse. Ihre Werte liegen zufällig in den jeweiligen Werteintervallen der Grundgesamtheit verteilt.

8.3 Möglichkeiten der Weiterentwicklung

Eine Weiterentwicklung der Methode ist nur dann sinnvoll, wenn folgende Punkte eingehalten und die erwähnten Fehler vermieden werden können.

- Grösse des Untersuchungsgebietes:

Grundsätzlich stellt sich die Frage nach der Grösse des zu untersuchenden Gebietes. Je grösser die Testfläche, desto grösser muss auch die vorhandene Samplepopulation sein. Dieser Umstand ist in vielerlei Hinsicht von Bedeutung.

- a.) Auftretende Extremwerte und/oder Besonderheiten werden zu stark berücksichtigt. Nur eine grosse Stichprobenzahl vermag deren Einfluss zu schmälern.
- b.) Der Aufwand zur Erhöhung der Probedichte ist enorm. Dieser Aspekt bezieht sich nicht nur auf die zeitliche, sondern auch auf die administrative, finanzielle Komponente.
- c.) Die von uns geplante Verifizierung des Modells anhand einem zufälligen Teil der Samples ist aufgrund der zu kleinen Grundgesamtheit unmöglich.
- d.) Grosse Gebiete weisen eine Zunahme in der Komplexität auf. Je grösser die Fläche umso mehr Parameter sind für die bestehende Variabilität der Zielgrösse verantwortlich. Eine sinnvolle Stratifizierung des Gebietes ist nur schwer durchzuführen und die separate Behandlung der Straten ermöglicht keine besseren Resultate (Siehe Tab. 7.2: Modellansatz_4).

- **Masstabswahl:**

Wie bereits in Kap. 8.2.2 am Beispiel der Curvature erläutert, ist die Wahl des Abbildungsmasstabs für die in die Modellrechnung einflussenden unabhängigen Variablen sehr entscheidend. Aus diesem Grund sollte bereits zu Beginn der Studie abgeklärt werden, in welcher Weise die vorhandenen Informationen vorliegen und wie sie den Modellgedanken am Besten unterstützen würden. Somit könnte zum Beispiel die Zellgröße eines Grids bereits festgelegt und falls möglich, abgeändert werden.

Unit - ID	Sub- division	ELE [m ü M]	GEOL	RAIN [mm]	LD- COV_1	Particle Size class	pH	Exch. [me %]				CEC [me %]	Total C [%]	Total N [%]	OS _{Ana} [%]	OS _{Ana} - OS _{Mod} [%]
								Ca	Mg	Na	K					
1002	Mt Kenya	2864	Igneous_rocks_i	> 1101	Td										0.00	6,94
1507	Pejeta	1782	Igneous_rocks_s	601 - 700	G	sandy clay loam		15.85	3.54	0.05	5.00	26.80	5.44	0.57	9.36	6,55
1624	Mt Kenya	3360	Igneous_rocks_b	701 - 800	tG	sandy loam	5	2.10	Trace	0.25	1.50	35.00	12.80	0.95	22.02	11,17
1626	Mt Kenya	3246	Igneous_rocks_b	701 - 800	tG	sandy loam	4	2.60	0.62	Trace	0.85	40.40	13.70	1.29	23.56	13,27
1627	Mt Kenya	3199	Igneous_rocks_b	701 - 800	tG	loam/sandy loam	5	1.85	0.62	Trace	0.50	45.00	15.00	1.34	25.80	15,73
1630	Mt Kenya	3009	Igneous_rocks_i	701 - 800	G	Loam	5	10.60	2.71	0.10	4.00	38.60	8.80	1.02	15.14	8,16
1631	Mt Kenya	2920	Igneous_rocks_i	701 - 800	Td	sandy clay loam	5	13.85	3.12	0.25	1.50	40.40	9.00	1.11	15.48	6,64
1632	Mt Kenya	2872	Igneous_rocks_i	801 - 900	Td	sandy loam	5	18.10	4.37	0.50	1.50	34.40	8.20	1.09	14.10	7,42
1633	Mt Kenya	2870	Igneous_rocks_i	801 - 900	Td	clay loam	4	1.35	1.04	0.25	0.85	19.60	7.50	0.53	12.90	6,23
1634	Mt Kenya	2815	Igneous_rocks_i	801 - 900	Td	sandy loam	4	7.60	1.04	0.25	0.50	34.20	10.30	0.84	17.72	11,22
1635	Mt Kenya	2690	Igneous_rocks_b	801 - 900	Td	sandy clay loam	4	27.10	6.64	0.50	3.50	36.20	9.40	0.87	16.17	8,28
1638	Mt Kenya	2647	Igneous_rocks_i	701 - 800	G	Clay	5	8.60	3.96	0.25	3.00	29.20	6.98	0.62	12.01	6,15
3028	Sirima	1819	Igneous_rocks_s	701 - 800	tCG	Clay	6	18.50	16.07	1.05	1.91	53.00	5.98		10.29	6,54
5073	Naro Moru	2275	Igneous_rocks_i	801 - 900	Tpd	sandy clay loam	6	24.40	5.50	0.30	4.30	70.40	11.30	0.98	19.44	8,35
7017	Mt Kenya	2968	Igneous_rocks_i	701 - 800	tC	sandy loam	5	8.50	3.50	0.80	1.30	32.30	10.42	1.31	17.92	11,01
7018	Embori	2880	Igneous_rocks_b	701 - 800	tC	Loam	5	5.80	4.00	0.30	3.20	18.60	10.02	1.40	17.23	8,71
7022	Ngenia	2567	Igneous_rocks_i	601 - 700	tC	sandy loam	6	10.00	5.20	0.20	3.00	27.00	7.86	1.39	13.52	8,91
7026	Ngenia	2010	Igneous_rocks_s	701 - 800	tC	Loam	8	13.00	6.60	0.20	3.60	26.70	11.58	1.20	19.92	15,97
7559	Mt Kenya	4600	Igneous_rocks_i	1001 - 1100	G	loamy sand									0.21	9,31

Tab. 8.7: Auszug aller Samples mit der Betragsdifferenzen $OS_{Ana} - OS_{Mod}$ [%] Bdiff-6 und Bdiff-7 aus der Grundgesamtheit_{Modell}. Tabelle beinhaltet eine beschränkte Auswahl an Parametern

9 Weitere Datenanwendung

9.1 Schätzung der organischen Substanz nach der Munsell-Farbhelligkeit

In Anlehnung an Kapitel 6.1.1 (S. 71) werden bereits bestehende Konzepte und Ansätze zum Thema: „Schätzung der organischen Substanz nach der Munsell-Farbhelligkeit“ zusammengetragen und auf der für diese Studie aktuellen Daten ($\text{Grundgesamtheit}_{\text{Total}}$) geprüft.

9.1.1 Konzept von FREI, PEYER (1991)

Beschreibung des Konzeptes

Humusarme Böden sind hell, der Helligkeitswert (Value) beträgt 7 - 8, der Gehalt an organischer Substanz in der Feinerde liegt dann meistens unter 2 %. Schwach humose Böden mit 2- 4 % organischer Substanz zeigen Helligkeitswerte von 5 - 6. Humose Böden mit 11 – 30 % organischer Substanz erscheinen extrem dunkel oder schwarz (Munsell Value unter 2). Bei solchen Böden wird auch die erhöhte Porosität, Lockerheit und Krümelung bei der Humusgehaltsschätzung berücksichtigt. Humusböden mit über 30 % organischer Substanz enthalten oft unvollständig zersetzte Pflanzenreste. Das Material ist meistens sehr locker gelagert. Vorhandene Mineralerde erscheint dazwischen gestreut (nicht inkorporiert) (FREI, PEYER 1991).

Auswertung des Konzeptes

Das Konzept von FREI, PEYER (1991) bezieht sich nur auf die Beziehung zwischen Helligkeit (value) und Gehalt an organischer Substanz. Es werden keine Anpassungen vorgenommen. Abb. 9.1 (Streudiagramm) und Abb. 9.2 (Darstellung statistischer Kennzahlen) stellen die Resultate graphisch dar.

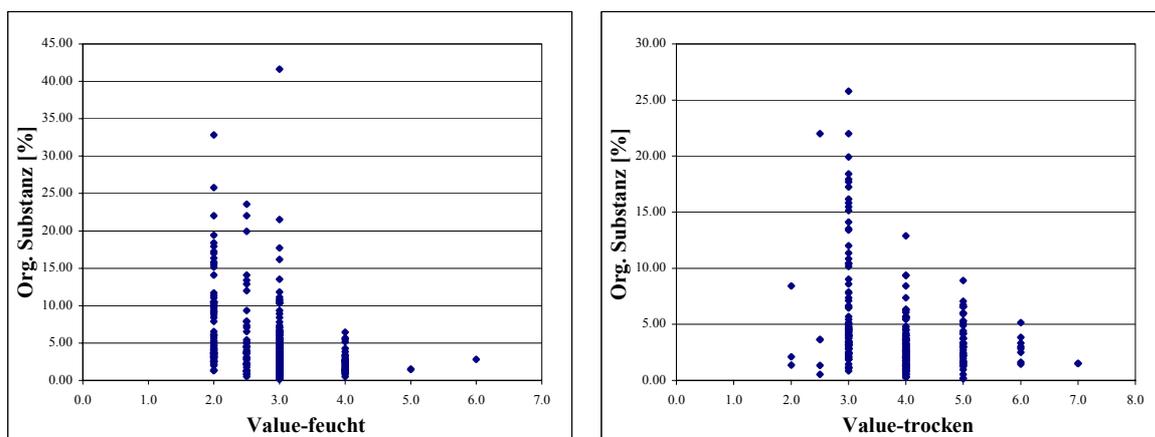


Abb. 9.1: Streudiagramme: Munsell-Value (feucht/trocken) vs. Gehalt an organischer Substanz [%]. Daten: $\text{Grundgesamtheit}_{\text{Total}}$

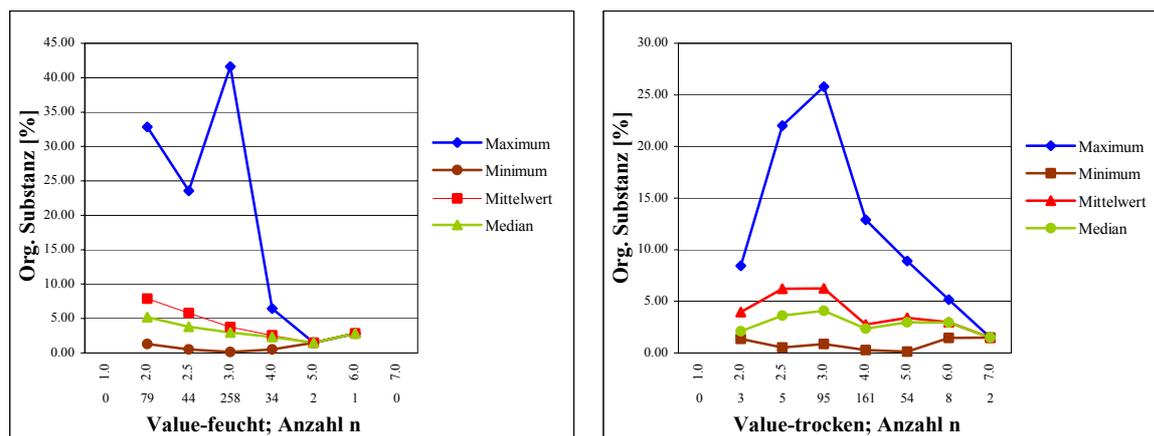


Abb. 9.2: Munsell-Values (feucht/trocken) vs. Gehalt an organischer Substanz [%]. Darstellung statistischer Kennzahlen. Daten: Grundgesamtheit_{Total}

Zusätzlich zu der graphischen Auswertung sind in Tab. 9.1 unter dem 1. Schritt noch der multiple Korrelationskoeffizient, der Standardfehler sowie die Anzahl Beobachtungen bezüglich der von FREI, PEYER (1991) aufgestellten Beziehung aufgeführt.

Die obgenannten Resultate lassen folgende Schlussfolgerung zu. Der aus Abb. 9.1 erkennbare, jedoch schwer interpretierbare Trend (Abnahme OS [%] bei Zunahme Value) wird in Abb. 9.2 anhand des Mittelwertes noch einmal klarer ersichtlich. Dieser erreicht bei tiefer Helligkeit den höchsten Wert um dann mit steigendem Munsell-Value kontinuierlich abzusinken. Zusätzlich unterstützt der Umstand, dass hohe OS-Werte nur bei tiefem Value vorkommen, die Überlegungen von FREI, PEYER (1991). Jedoch fällt auf, dass die angesprochenen Tendenzen bei der feuchten Farbansprache viel stärker auftreten als bei trockenen Proben. Der in Tab. 9.1 berechnete Korrelationskoeffizient gibt die Stärke des Zusammenhangs zwischen den beiden Variablen wieder.

9.1.2 Auswertung und Beurteilung des Konzeptes nach BLUME, HELSPER (1987)

Beschreibung des Konzeptes

Im Vergleich zum Ansatz von FREI, PEYER (1991) gehen BLUME, HELSPER (1987) in ihrem Konzept noch etwas weiter. Zwecks Optimierung der Grobmethode wurden von 156 Feinerdeproben die Gehalte an C_{org} ermittelt. Ausserdem wurden die Farbhelligkeiten (Value) und Farbtiefen bzw. –intensitäten (Chroma) homogenisierter, lufttrockener, feuchter (etwa Feldkapazität) und nasser Proben mit einer Munsell-Tafel bestimmt. Bei Verrechnung aller Ergebnisse zeigte sich eine negative, lockere, jedoch gesicherte Beziehung zwischen Humusgehalt und Farbhelligkeit.

Die Modellrechnung von BLUME, HELSPER (1987) wird nun übernommen und mit der Datengrundlage dieser Diplomarbeit überprüft. Die Beschränkung auf Proben mit weniger als 15 % Humus sollte den Korrelationskoeffizienten erhöhen (Schritt 2, Tab. 9.1). Laut BLUME, HELSPER (1987) dürfte die Ursache dafür sein, dass nur die schwarz gefärbten Huminstoffe bei der Schätzung erfasst werden, bei sehr humusreichen Proben jedoch oft die hellen Streustoffe überwiegen.

Durch das zusätzliche Logarithmieren der Humusgehalte sowie das Heraufstufen der Farbhelligkeit um 1 bei Proben mit hohem Chroma sollten sich weitere Verbesserungen der Regression ergeben (Schritt 3 und 4, Tab. 9.1).

Auch die getrennte Verrechnung von Proben unterschiedlicher Bodenart (Schritt 5, Tab. 9.1) verbessert die Regression (MURTI, SATYANARAYANA 1971) und zwar vor allem dann, wenn nur Proben mit einem Humusgehalt unter 4 % verrechnet werden (Schritt 6, Tab. 9.1). Der Einfluss der Textur lässt sich damit erklären, dass sich Huminstoffe zum Teil an Mineraloberflächen befinden und dann umso mehr färbender Humus zum Erreichen eines bestimmten Farbwertes erforderlich ist, je grösser die Mineraloberflächen sind, bei tonreichen Proben je Gewichtseinheit mithin mehr.

Da die Schätzung durch verschiedene Personen im Feld noch wesentlich ungenauer sein wird als die Bestimmung der Munsell-Farbhelligkeiten unter einheitlichen Feuchte- und Lichtverhältnissen durch eine Person im Labor sollte angestrebt werden, die Schätzwerte den Gehaltsstufen nach AG BODENKUNDE (1996) zuzuordnen (Schritt 7, Tab. 9.1).

Auswertung

Vergleicht man nun die Regressionsstatistiken von Schritt zu Schritt wird ersichtlich, dass sich der Korrelationskoeffizient der feuchten Proben bis hin zum 4. Schritt nicht stark verändert (Tab. 9.1). Dies ist darauf zurückzuführen, dass nur ca. 5 Prozent der gesamten Bodensamples einen Humusgehalt über 15 % aufweisen. Dieser Anteil ist jedoch zu gering um merklich ins Gewicht zu fallen. Nach der Bereinigung der Farbhelligkeit hinsichtlich des Chroma einer Probe ist jedoch ein klarer Anstieg des Korrelationskoeffizienten ersichtlich. Wie aus Tab. 9.1 abzulesen, bringen die zwei Folgeschritte leider keine Verbesserung, sondern eine signifikante Verschlechterung der Regression mit sich.

Auch die im letzten Schritt (Tab. 9.1) versuchte Verbesserung des Modells unter Reduktion des Gehaltes an org. Substanz auf Klassen und der Neuberechnung der Regressionsstatistik aufgrund der bis Schritt 4 vorgenommenen Anpassungen bringt keine neuen Erkenntnisse hervor.

Schritt	Autor	Beschreibung	Regressionsstatistik Munsell-Value und org. Substanz			
			feucht		trocken	
1. Schritt	FREY, PEYER (1991)		Multipler Korrelationskoeffizient	0.339		0.295
			Standardfehler	0.531		0.783
			Beobachtungen	418		328
2. Schritt	BLUME, HELSPER (1987)	nur Proben mit Humus unter 15 %	Multipler Korrelationskoeffizient	0.325		0.200
			Standardfehler	0.525		0.797
			Beobachtungen	398		316
3. Schritt	BLUME, HELSPER (1987)	Schritt 2 + Logarithmieren der Humusgehalte	Multipler Korrelationskoeffizient	0.296		0.174
			Standardfehler	0.530		0.801
			Beobachtungen	398		316
4. Schritt	BLUME, HELSPER (1987)	Schritt 3 + Erhöhung der Farbhelligkeit (+ 1) bei hohem Chroma (> 3.5)	Multipler Korrelationskoeffizient	0.432		0.286
			Standardfehler	0.686		0.977
			Beobachtungen	398		316
5. Schritt	BLUME, HELSPER (1987)	Schritt 4 + getrennte Verrechnung nach Bodenart	Multipler Korrelationskoeffizient		> 40 % Ton	> 60 % Sand
			Standardfehler	0.328	0.316	0.182
			Beobachtungen	0.648	0.816	0.968
6. Schritt	BLUME, HELSPER (1987)	Schritt 5 + nur Proben mit Humus unter 4 %	Multipler Korrelationskoeffizient		> 40 % Ton	> 60 % Sand
			Standardfehler	0.231	0.303	0.107
			Beobachtungen	0.731	0.779	1.017
7. Schritt	BLUME, HELSPER (1987)	Schritt 4 + Zuordnung nach Humus- Gehaltsstufen	Multipler Korrelationskoeffizient	0.464		0.357
			Standardfehler	0.677		0.964
			Beobachtungen	418		328

Tab. 9.1: Regressionsstatistiken zwischen dem Munsell-Value (feucht/trocken) und dem Gehalt an organischer Substanz. Unterteilt nach Schritten bezüglich Modellerweiterungen der aufgeführten Autoren FREY, PEYER (1991) und BLUME, HELSPER (1987). Daten: Grundgesamtheit_{Total}

9.1.3 Der Ansatz von SCHULZE et al. (1993)

Beschreibung des Ansatzes

SCHULZE et al. (1993) nehmen erstmals zusätzlich den Begriff „Landschaftsraum“ in die Modellrechnung auf. Aufgrund früherer Versuche und deren Interpretation wird ersichtlich, dass Bodenproben, welche die Hauptböden eines relativ grossen geographischen Raum repräsentieren, nur einen generellen Trend, nicht jedoch ein Modell zur Bestimmung der organischen Substanz hinsichtlich der Munsell-Farbhelligkeit ermöglichen. Als Fazit gilt somit, dass das Beziehungsgefüge, welches aus solch „globalen“ Probeschemen entwickelt wird, im Allgemeinen nicht sehr gute Resultate liefert.

Böden treten nie völlig isoliert voneinander auf. Voraussagbare Muster kommen immer wieder im selben Landschaftsraum vor. Aufgrund dieser Annahme wird der geographische Raum, aus welchem die Bodenproben stammen, in unterschiedliche Landschaftseinheiten gegliedert. Faktoren, welche diese Gliederung steuern sind die Topographie (Tab. 9.5), das Muttergestein (Tab. 9.2) sowie die Vegetation (Tab. 9.4).

Die Beziehung zwischen dem Humusgehalt und der Munsell-Farbhelligkeit innerhalb einer Landschaftseinheit ist (a) voraussagbar, falls die Bodentextur innerhalb der geographischen Einheit nicht allzu stark variiert, (b) meist unterschiedlich für verschiedene Landschaften und (c) sehr stark von der Bodentextur abhängig.

Aus ALEXANDER (1969), SCHNITZER, KHAN (1978) und AG BODENKUNDE (1996) ist bekannt, dass sandige Proben typischerweise viel dunkler erscheinen als feinkörnige Böden mit dem gleichen Gehalt an organischer Substanz. Um diesem Umstand gerecht zu werden, wurde abschliessend zu der Besprechung des Modells von SCHULZE et al. (1993) das Value stark sandhaltiger Bodenproben (über 65 % Sand) um den Wert 0.5 angehoben. Die so erhaltenen Regressionsstatistiken sind in den jeweiligen Tabellen (Tab. 9.2, Tab. 9.4, Tab. 9.5) aufgeführt.

Auswertung

Wie aus Tab. 9.2 bis Tab. 9.5 ersichtlich, führen die meisten Zusatzschritte zu einer leichten Verbesserung der Methode innerhalb der Landschaftseinheiten. Vergleicht man nun die Resultate der drei Landschaftseinheiten untereinander so fällt auf, dass keine grösseren Unterschiede bestehen. Die Werte für den Korrelationskoeffizienten befinden sich meist im Intervall 0.40 bis 0.60. Auch einen Einfluss der Stichprobengrösse auf die Resultate der Regressionsstatistik ist nicht ersichtlich.

Zusätzlich muss darauf hingewiesen werden, dass die Korrelation unter Einbezug des Chroma nicht merklich an Signifikanz gewinnt. Die Probesets, mit welchen BLUME, HELSPER (1987) arbeiteten, wurden in einer grossen geographischen Region gesammelt und somit viele, verschiedene Landschaften beprobt. Das Chroma formiert nun Gruppen mit relativ homogenem Muttergestein und anderen bodenbildenden Faktoren. Somit wird eine Annäherung an das Landschaftsraum-Modell von SCHULZE et al. (1993) erreicht.

Regressionsstatistik Munsell-Value und org. Substanz									
Schritt	Autor	Beschreibung		Basement		Vulk. + Colluv.		Calcrete	
				feucht	trocken	feucht	trocken	feucht	trocken
1. Schritt	SCHULZE et al. (1993)		Multipler Korrelationskoeffizient	0.057	0.095	0.296	0.323	0.467	0.719
			Standardfehler	0.389	0.562	0.526	0.799	0.846	1.050
			Beobachtungen	74	74	301	235	11	11
2. Schritt	SCHULZE et al. und BLUME,HELSPER	Erhöhung der Farbhelligkeit (+ 1) bei hohem Chroma (> 3.5)	Multipler Korrelationskoeffizient	0.291	0.138	0.284	0.323	0.438	0.800
			Standardfehler	0.626	0.739	0.644	1.012	1.201	0.958
			Beobachtungen	74	74	301	235	11	11
3. Schritt	SCHULZE et al. und BLUME,HELSPER	Schritt 2 + Logarithmieren der Humusgehalte	Multipler Korrelationskoeffizient	0.362	0.171	0.377	0.319	0.440	0.804
			Standardfehler	0.610	0.735	0.622	1.013	1.199	0.948
			Beobachtungen	74	74	300	235	11	11
4. Schritt		Schritt 3 + Erhöhung der Farbhelligkeit (+ 0.5) bei Sandanteil der Textur über 65 %	Multipler Korrelationskoeffizient	0.420	0.232	0.410	0.354	0.506	0.815
			Standardfehler	0.657	0.815	0.636	1.026	1.306	1.038
			Beobachtungen	74	74	295	233	11	11

Tab. 9.2: Regressionsstatistiken zwischen dem Munsell-Value (feucht/trocken) und dem Gehalt an organischer Substanz. Gegliedert nach Landschaftseinheiten: Geologie. Unterteilt nach Schritten bezüglich Modellerweiterungen der aufgeführten Autoren SCHULZE et al. (1993) und BLUME, HELSPER (1987). Daten: Grundgesamtheit_{Total}

Regressionsstatistik Munsell-Value und org. Substanz									
Beschreibung		Igneous Rocks b		Igneous Rocks i		Igneous Rocks s		Colluvium	
		feucht	trocken	feucht	trocken	feucht	trocken	feucht	trocken
Erhöhung der Farbhelligkeit (+ 1) bei hohem Chroma (> 3.5) und Logarithmieren der Humusgehalte	Multipler Korrelationskoeffizient	0.435	0.210	0.368	0.403	0.086	0.103	0.099	0.00013
	Standardfehler	0.477	0.768	0.650	0.906	0.703	1.214	0.882	0.760
	Beobachtungen	114	74	133	112	39	35	14	14

Tab. 9.3: Regressionsstatistiken zwischen dem Munsell-Value (feucht/trocken) und dem Gehalt an organischer Substanz. Statistik der in der Geologieeinheit „Vulk. + Colluv.“ zusammengefassten Geologie-Untereinheiten. Daten: Grundgesamtheit_{Total}

Beschreibung		Regressionsstatistik Munsell-Value und org. Substanz							
		Grass + Shrub		Bush		Forest		Crop	
		feucht	trocken	feucht	trocken	feucht	trocken	feucht	trocken
Erhöhung der Farbhelligkeit (+ 1) bei hohem Chroma (> 3.5) und Logarithmieren der Humusgehalte	Multipler Korrelationskoeffizient	0.450	0.277	0.477	0.486	0.459	0.231	0.417	0.209
	Standardfehler	0.663	0.949	0.446	1.124	0.712	0.907	0.697	0.985
	Beobachtungen	206	192	33	19	45	36	82	66
Erhöhung der Farbhelligkeit (+ 1) bei hohem Chroma (> 3.5) und Logarithmieren der Humusgehalte + Erhöhung der Farbhelligkeit (+ 0.5) bei Sandanteil der Textur über 65 %	Multipler Korrelationskoeffizient	0.514	0.369	0.453	0.449	0.445	0.303	0.428	0.202
	Standardfehler	0.834	1.014	0.557	1.148	0.999	0.904	0.889	0.993
	Beobachtungen	205	191	32	18	45	36	81	66

Tab. 9.4: Regressionsstatistiken zwischen dem Munsell-Value (feucht/trocken) und dem Gehalt an organischer Substanz. Gegliedert nach Landschaftseinheiten: Vegetation. Unterteilt nach Schritten bezüglich Modellerweiterungen der aufgeführten Autoren SCHULZE et al. (1993) und BLUME, HELSPER (1987). Daten: Grundgesamtheit_{Total}

Beschreibung		Regressionsstatistik Munsell-Value und org. Substanz					
		< 1200 m		1200 – 2200 m		> 2200 m	
		feucht	trocken	feucht	trocken	feucht	trocken
Erhöhung der Farbhelligkeit (+ 1) bei hohem Chroma (> 3.5) und Logarithmieren der Humusgehalte	Multipler Korrelationskoeffizient	0.441	0.580	0.405	0.252	0.511	0.462
	Standardfehler	0.752	0.857	0.649	0.994	0.609	0.884
	Beobachtungen	37	37	277	236	75	54
Erhöhung der Farbhelligkeit (+ 1) bei hohem Chroma (> 3.5) und Logarithmieren der Humusgehalte + Erhöhung der Farbhelligkeit (+ 0.5) bei Sandanteil der Textur über 65 %	Multipler Korrelationskoeffizient	0.558	0.649	0.468	0.312	0.496	0.468
	Standardfehler	0.822	0.930	0.695	1.031	0.600	0.891
	Beobachtungen	37	37	275	234	72	54

Tab. 9.5: Regressionsstatistiken zwischen dem Munsell-Value (feucht/trocken) und dem Gehalt an organischer Substanz. Gegliedert nach Landschaftseinheiten: Topographie. Unterteilt nach Schritten bezüglich Modellerweiterungen der aufgeführten Autoren SCHULZE et al. (1993) und BLUME, HELSPER (1987). Daten: Grundgesamtheit_{Total}

9.1.4 Empfehlung für weitere Feldbegehungen

Aus den vorangegangenen Erläuterungen und Berechnungen wird ersichtlich, dass die von uns in Kenia angewandte Feldmethode der qualitativen Abschätzung des Gehaltes an organischer Substanz aufgrund der Farbhelligkeit und Fühleigenschaften (Verg. Kap. 6.1, S. 71) die besten Resultate liefert. Aus diesem Grund wird auch in zukünftigen Feldbegehungen auf diese Methode zurückgegriffen, um so mehr, als dass sich diese Schätzungen mit zunehmender Felderfahrung noch verbessern werden.

Die Begründung für die besseren Ergebnisse anhand der qualitativen Ansprache muss in der Nähe zum Raum liegen. Ein Sample wird nicht unabhängig sondern im Kontext aller Einflussfaktoren betrachtet und bewertet.

Die verschiedenen, angesprochenen Konzepte bieten leider nur ungenügende Resultate. Ein genereller Trend zur Bestimmung der organischen Substanz hinsichtlich der Munsell-Farbhelligkeit wird zwar klar ersichtlich (je kleiner Munsell-Value, desto grösser OS-Wert) aber genaue Resultate lassen sich kaum kalkulieren. Dies mag verschiedene Gründe haben:

- Die Ansätze sind für Böden ausserhalb der Tropen konzipiert. Ihre Anwendung auf zum Teil roten Böden ist fraglich. Zusätzlich weisen gerade Böden in tropischen Gegenden ein häufiges Fehlen einer sichtbaren Braun- oder Schwarzfärbung trotz hohem Gehalt an organischer Substanz auf (SCHEFFER, SCHACHTSCHABEL 1998).
- Der Heterogenität des Untersuchungsgebietes wird anhand des von SCHULZE et al. (1993) in die Diskussion eingebrachten Begriffs der „Landschaftsräume“ nur ungenügend Rechnung getragen. Die angesprochenen Unterteilungen sind zu grob oder werfen nur in Kombination bessere Resultate auf. Das Testen der verschiedenen Konzepte auf einem kleinen, homogenen Raum ist zu empfehlen.

Zusätzlich könnte eine separate Betrachtung der Samples nach Bodentyp zu einigen Verbesserungen führen.

- Der Helligkeitswert (Value) lässt sich nur in wenige Value-Klassen unterteilen. Für eine genauere Berechnung des Gehaltes an organischer Substanz müsste jedoch die Klassenanzahl vergrössert als auch die Intervalle verfeinert werden. Allgemein gilt: Je weniger Klassen gebildet werden, desto besser ist die Übersichtlichkeit, aber desto grösser ist der Informationsverlust (BAHRENBERG, GIESE, NIPPER 1990). Durch die im Ansatz von BLUME, HELSPER (1987) aufgeführte Berücksichtigung des Chroma wird diesem Umstand bereits Rechnung getragen. Jedoch stellt sich auf hier die Frage der Klassenanzahl. Unterteilt wird lediglich zwischen einem hohen (> 3.5) und einem tiefen Chroma. Eine feinere Abstufung wäre wünschenswert.

Die Zunahme folgender Variablen in die Regressionsberechnungen könnten zu einer Erhöhung der Klassenanzahl und zu einer Verbesserung in der Genauigkeit der Resultate führen: der Farbton („hue“ nach Munsell) und die Textur.

Auffallend ist zudem, dass die Berechnungen an feuchte Farbwerten meist bessere Korrelationskoeffizienten liefern. Weitere Untersuchungen sollten somit auch diesen Umstand berücksichtigen.

10 Schlusswort

Abschliessend ist zu sagen, dass das gewählte Modell die Zusammenhänge zwischen der Organischen Substanz sowie den unabhängigen Variablen nur in ungenügender Qualität darzustellen vermag. Die modellierte Karte des Upper Ewaso Ng'iro Basin darf somit nur als Ansatz und nicht als aussagekräftige Bodeneigenschaftskarte interpretiert werden.

Die Wahl der in die Modellrechnung einflussenden unabhängigen Variablen ist theoriebezogen. Dennoch vermögen sie es nicht, die komplexen Zusammenhänge zwischen den Standortbedingungen und dem Gehalt an organischer Substanz genügend darzustellen. Für eine weitere Modellierung des Gehaltes an organischer Substanz stellt sich somit die Frage über die Hinzunahme weiterer Parameter.

Probleme treten jedoch bei der Qualität sowie dem Abbildungsmassstab der vorhandenen Datengrundlagen auf. So wurde beispielsweise einerseits der Einfluss der Erosion anhand der unabhängigen Variable nur ungenügend in die Regressionsanalyse mit einbezogen und andererseits die Landschaftsformen viel zu kleinräumig abgebildet.

Die Problematik der Grösse des Untersuchungsgebietes wurde bereits oft angesprochen. Tatsache ist, dass die Qualität des Modells mit zunehmender Stichprobendichte eventuell stark verbessert werden könnte. Diese Verdichtung kann nur mit einer Verkleinerung der Fläche erarbeitet werden, da der zeitliche wie auch finanziell, administrative Aufwand der Probenahme bei gleicher Gebietsgrösse ins Unermessliche steigen würde. Eine zusätzlich Verifizierung des gebildeten Modells würde weitere Anforderungen an den Stichprobenumfang richten.

Der Versuch, der Komplexität des Gebietes anhand einer Stratifizierung in kleinere Teilareale entgegen zu wirken, brachte keine Verbesserungen. Jedoch ist in zukünftigen Arbeiten gerade auf diesen Gedanken Wert zu legen. Es besteht durchaus die Möglichkeit, dass für ein kleines, bezüglich den unabhängigen Variablen homogenes und dicht beprobtes Gebiet ein besseres Resultat für den Zusammenhang zwischen Ziel- und Einflussgrösse gewonnen werden könnte. Weiter Untersuchungen konnten im zeitlichen Rahmen dieser Studie leider nicht mehr durchgeführt werden.

Aufgrund der aufgezeigten Methodenentwicklung zur Modellierung einer synthetischen Bodeneigenschaftskarte der organischen Substanz muss die hier vorliegende Arbeit dennoch positiv gewertet werden. Auch liegen alle verfügbaren Bodendaten des Upper Ewaso Ng'iro Basin und des Laikipia Districts erstmals in digitaler Form bereit.

Zusätzlich wurden die beiden geologischen Karten „Geology of the Baringo-Laikipia Area“ (HACKMAN 1988) und „Geology for the Isiolo Area“ (HACKMAN et al. 1989) digitalisiert und stehen nun für weitere Untersuchungen zur Verfügung.

Für zukünftige Studien ergibt sich zudem die Möglichkeit der Methodenkombination mit Fernerkundungsdaten. So liefert zum Beispiel der Ansatz von SHEPHERD AND WALSH (2002) sehr gute Resultate bezüglich einer Modellierung des Gehaltes an organischer Substanz. Leider konnte aus zeitlichen Gründen nicht auf die genannte Methode eingegangen werden. Dennoch soll das Prinzip hier kurz erläutert werden.

SHEPHERD AND WALSH (2002) entwarfen ein System, welches auf die diffuse Reflektionsspektroskopie basiert. Anhand einer bodenbezogenen Spektralbibliothek ist es somit möglich, Schätzungen zu Bodeneigenschaften rasch und nachhaltig zu erheben. Für die Überprüfung der Methode wurden über 1000 archivierte Oberbodenanalysen des Raumes Süd- wie Ostafrikas in die Berechnungen einbezogen. Dieser Zugang eröffnet eine Vielzahl von neuen Möglichkeiten zur Modellierung, Abschätzung und Handhabung von bodenkundlichen Risiken betreffend Landwirtschaft, Umwelt sowie dem Ingenieurwesen.

Die Kombination mit der hier aufgeführten Methode könnte durchaus zu weit besseren Resultaten führen. Die Datengrundlagen wurden bereits ausgetauscht und liegen nun für weitere Untersuchungen vor.

11 Literaturverzeichnis

- AG BODENKUNDE (1996): Bodenkundliche Karieranleitung. 4. Auflage. Schweizerbart: Stuttgart.
- AHN P. M. , GEIGER L. C. (1987): Soils of Laikipia District. Reconnaissance Soil Survey Report, Kenya Soil Survey, Ministry of Agriculture- National Agricultural Laboratories, Republic of Kenya.
- ALEXANDER J. D. (1969): A color chart for organic matter. *Crops Soils* 21(8): 15-17.
- BAHRENBERG G., GIESE E., NIPPER J. (1990): Statistische Methoden in der Geographie. Band 1: Univariate und bivariate Statistik. Stuttgart: B. G. Teubner.
- BAHRENBERG G., GIESE E., NIPPER J. (1992): Statistische Methoden in der Geographie. Band 2: Multivariate Statistik. Stuttgart: B. G. Teubner.
- BAKER B. H. (1967): Geology of the Mount Kenya area. Report No. 79, Geological Survey of Kenya, Ministry of Natural Resources, Republic of Kenya: Nairobi, 78 p., 1 Map Scale 1:125.000, 2 sketch maps.
- BERGER P. (1989): Rainfall and Agroclimatology of the Laikipia Plateau, Kenya. AFRICAN STUDIES SERIES, A5, Geographica Bernensia, Institute of Geography, University of Berne, Switzerland: Bern.
- BINGGELI S. (2003): GIS-gestützte Modellierung einer Bodentexturkarte im Upper Ewaso Ng'iro Basin, Kenya. . Dipl.arb. Geographisches Institut Universität Bern, Schweiz: Bern.
- BINGGELI S., LEDERMANN T. (2002): Feldarbeit zu der aktuellen Studie, Kenia.
- BLUME H. P., HELSPER M. (1987): Kurzmitteilung- Short communication: Schätzung des Humusgehaltes nach der Munsell- Farbhelligkeit. Institut für Pflanzenernährung und Bodenkunde. *Z. Pflanzenernähr. Bodenk.*, 150, 354- 356. VCH Verlagsgesellschaft mbH: Weinheim:
- COLLIER F. W. (1962): The Soils of the Ewaso Ng'iro Catchment in Relation to Potential Irrigation Development. Appendix E in: An Investigation into the Water Resources of the Ewaso Ng'iro Basin, Kenya (Technical Version) 1958- 1961. Ministry of Works, Hydraulic Branch Report no. 4, vol. II. Mimêo.

- DESAULES A. (1986): The Soils of Mount Kenya Semi- Arid Northwestern Footzone and their Agricultural Suitability. Semi- detailed soil survey and land evaluation with emphasis on small- scale farming. App. vol. 1: Soil Profile Descriptions and Data of the Soil Survey. Department of Geography, University of Berne, Switzerland: Bern.
- DIERCKE: LESER H., HAAS H-D., MOSIMANN T., PAESLER R. (1997): Diercke. Wörterbuch Allgemeine Geographie. 9. Auflage. DTV: München.
- DMK, DPK (1992): Formeln und Tafeln. Mathematik – Physik. 5. Auflage. Orell Füssli: Zürich. – ISBN 3-280-02162-6
- EKIRAPA A. E. E. (1983) : A preliminary Evaluation of the soils of the national youth service ranch- Kirimun- Sukuta Lol Marmar (Laikipia District). Site Evaluation Report No. P61. Ministry of Agriculture- National Agricultural Laboratories. Kenya Soil Survey.
- EKIRAPA A. E. E., KINYANJUI H. C. K. (1984) : An assessment of the irrigation suitability of the soils of Suguroi Estate (Laikipia District). Site Evaluation Report No. P76. Ministry of Agriculture and Livestock Development- National Agricultural Laboratories. Kenya Soil Survey.
- ESAGJ (1998): Resources, Actors and Policies: towards sustainable regional development in the Highland- Lowland System of Mount Kenya. Eastern and Southern Africa Geographical Journal, Vol. 8, Special Number.
- FAO (1977): Guidelines for Soil Profile Description (second edition). Soil Resources Development and Conservation Service, Land and Water Development Division. Food and Agriculture Organization of the United Nations. Italy: Rome. – ISBN 92-5-100508-7
- FERTILIZER USE RECOMMENDATION PROJECT (FURP) (1987): Laikipia District Sites Evaluations. Kenya Agricultural Research Institute.
- FINK A. (1982): Pflanzenernährung. In Stichworten. 4., verbesserte Auflage. Verlag Ferdinand Hirt: Kiel/Germany. – ISBN 3-554-80198-4
- FREI E. (1971): Der Einfluss der organischen Düngung und der Vegetation auf den Humuszustand des Bodens. Schw. Land. Forsch. X.
- FREI E. (1978): Andepts in some high mountains of East Africa. Geoderma 21.
- FREI E., PEYER K. (1991): Boden- Agrarpedologie. 2. Auflage. Paul Haupt: Bern/ Stuttgart.

- FURLEY P. A. (1968): Soil formation and slope development: 2 The relationship between soil formation and gradient angle in the Oxford area. *Z. Geomorph.*, NF 12, 25- 42.
- FURLEY P. A. (1971): Relationships between slope form and soil properties developed over chalk parent materials. In: *Slopes, form and process*, D. Brunson (ed.). Inst. Br. Geographers Special Publ., no. 3, 141- 164.
- GACHENE C. K. K. (1984): Site evaluation of Broom Hill Farm. Site Evaluation, Report No. P69, Kenya Soil Survey, National Laboratories, Ministry of Agriculture and Livestock Development.
- GERBER K. (2000): Modellierung einer synthetischen Bodenkarte im Norden der Simen Mountains, Aethiopien. Dipl.arb. Geographisches Institut Universität Bern, Schweiz: Bern.
- GERMANN P., SCHICHLER B. (1999): Skript zur Vorlesung: „Landschaftsökologie IV – Bodenkunde. Sommersemester 1999. Geographisches Institut, Universität Bern.
- GERRARD A. J. (1981): *Soils and Landforms. An Integration of Geomorphology and Pedology*. London [etc.]: G. Allen and Unwin. – ISBN 0-04-551049-0 Pbk
- GICHUKI F. N., LINIGER H. P., SCHWILCH G. (1998b): Knowledge about Highland – Lowland Interactions: The Role of a Natural Resource Information System. Paper presented in: ESAGJ (1989): *Resources, Actors and Policies: towards sustainable regional development in the Highland- Lowland System of Mount Kenya*. Eastern and Southern Africa Geographical Journal, Vol. 8, Special Number.
- GICHUKI F. N., LINIGER H. P., SCHWILCH G., GIKONYO G. (1998a): Scarce water: Exploring resource availability, use and improved management. Paper presented in: ESAGJ (1989): *Resources, Actors and Policies: towards sustainable regional development in the Highland- Lowland System of Mount Kenya*. Eastern and Southern Africa Geographical Journal, Vol. 8, Special Number.
- HACKMAN B.D. (1988): *Geology of the Baringo- Laikipia area, Karte 1: 250'000*, Report 104, Mines and Geological Department, Ministry of Natural Resources, Republic of Kenya: Nairobi, British Geological Survey.
- HACKMAN B.D., CHARLESLEY T.J., KAGASI J., KEY R.M., SIAMBI W.S., WILKINSON A.F. (1989): *Geology for the Isiolo Area, Karte 1: 250'000*, Report 103, Mines and Geological Department, Ministry of Natural Resources, Republic of Kenya: Nairobi, British Geological Survey.
- JAETZOLD R., SCHMIDT H. (1983): *Farm management handbook of Kenya. Vol. II/B. Central Kenya*. Ministry of Agriculture, Nairobi.

- JENNY H.: The soil resource. Springer, New York.
- JENNY H., LEONHARD C. O. (1984): Functional relationships between soil properties and rainfall. *Soil Sci.* 38, 363.
- KIRONCHI G. (1994): Site Evaluation: Karuri, Embori- Teleswani research sites. NRM Soil Database.
- KISINYO P. O. (1994): Land Suitability Evaluation for Agriculture around Timau Area, Meru District. Msc Thesis. UoN.
- KLINGL T. (1996): GIS- gestützte Generierung synthetischer Bodenkarten und landschaftsökologische Bewertung der Risiken von Bodenwasser- und Bodenverlusten. Die Fallstudie Laikipia East, Kenya. GRUNDLAGENFORSCHUNG, G50, Geographica Bernensia, Institute of Geography, University of Berne, Switzerland: Bern. – ISBN 3-906151-12-3
- KLUTE A. (1986): Methods of Soil Analysis, Part 1 – Physical and Mineralogical Methods, no. 5 in the Soil Science Society of America Book Series.
- KOHLER T. (1987): Land use in transition. Aspects and problems of small scale farming in a new environment. The examples of Laikipia District, Kenya. African Studies Series, A5. Geographica Bernensia. University of Berne, Switzerland.
- LANDON J. R. (1991): Booker tropical soil manual. A handbook for soil survey and agricultural land evaluation in the tropics and subtropics. Longman Group (FE) Limited: Hong Kong.
- LINIGER H. P. (1988): Water Conservation For Rainfed Farming In The Semi- Arid Footzone Northwest Of Mt. Kenya (Laikipia Highlands). Consequences on the water balance and the soil productivity. PhD Thesis, Institute of Geography, University of Berne, Switzerland: Bern.
- LINIGER H. P. (1991): Water Conservation for Rainfed Farming in the Semi- Arid Footzone Northwest of Mt. Kenya (Laikipia Highland). Laikipia- Mt. Kenya Papers, Series D: Discussion Papers, D- 3, LRP- Laikipia Research Programme: Universities of Nairobi and Berne: Nanyuki.
- LINIGER H. P., GICHUKI F. N., KIRONCHI G., NJERU L. (1998a): Pressure on the Land: The search for sustainable use in a highly diverse environment. Paper presented in: ESAGJ (1989): Resources, Actors and Policies: towards sustainable regional development in the Highland- Lowland System of Mount Kenya. Eastern and Southern Africa Geographical Journal, Vol. 8, Special Number.

- LINIGER H. P., THOMAS D. B. (1998c): GRASS – Ground Cover for Restoration of Arid and Semi-arid Soils. *Advances in GeoExology* 31, 1167 – 1178. Catena Verlag: Reiskirchen. – ISBN 3-923381-42-5
- LINIGER H. P., WEINGARTNER R., GROSJEAN M., et al. (1998b): Mountains of the World, Water Towers for the 21st Century- A Contribution to Global Freshwater Management. *Mountain Agenda*. Paul Haupt: Bern.
- LRP DATABASE (1996): Land Use and Land Ownership Map (1996 Update). GIS Database – Laikipia Research Programme/University of Berne – Switzerland.
- MAINGA, MBUVI (1994): Preliminary soil conditions of Embori, Kalalu and Mukogodo sites. *Laikipia- Mt. Kenya Papers, Series B: Baseline Data, B- 10*, LRP- Laikipia Research Programme: Universities of Nairobi and Berne: Nanyuki.
- MAINGA, WANJOGU, MBUVI (1994): Preliminary soil conditions of Ngenia, Rumuruti, Mukogodo and Sirima catchment sites. *Laikipia- Mt. Kenya Papers, Series B: Baseline Data, B- 9*, LRP- Laikipia Research Programme: Universities of Nairobi and Berne: Nanyuki.
- MATHUVA J. M., KITEME B. P., KIRONCHI G. (1997): A Pre- drainage environmental impact study for Laikipia Wetlands, Laikipia District. Technical Report for ASAL Development Programme, Laikipia District.
- MATI B. M. (1999): Erosion Hazard assessment in the Upper Ewaso Ng'iro Basin of Kenya: Application of GIS, USLE and EUROSEM. PhD Thesis. Cranfield University.
- MBUVI J. P. (1989): Site Evaluation of Marura Settlement Scheme, Nanyuki, Laikipia District. Solum Associated Laboratory Service. Technical Report.
- MBUVI, KIRONCHI (1994): Explanations and profile descriptions to reconnaissance soil survey of the Upper Ewaso Ng'iro Basin (Laikipia East and slopes west and north of Mt. Kenya). *Laikipia- Mt. Kenya Papers, Series B: Baseline Data, B- 8*, LRP- Laikipia Research Programme: Universities of Nairobi and Berne: Nanyuki.
- MC CALL G. J. H. (1967): Geology of the Nakuru – Thomson's Falls – Lake Hannington Area. Ministry of Natural Resources, Geological Survey of Kenya, Republic of Kenya: Nairobi, 122 p..
- MINISTRY OF WATER DEVELOPMENT (ed) (1987): Water Resources Assessment Study in Laikipia District. Republic of Kenya, Nairobi, Main Report 89 p. Appendix 221 p., 6 Maps Scale 1:250.000.

- MOORE I. D., GRAYSON R. B., LANDSON A. R. (1991): Digital Terrain Modelling: a Review of Hydrological, Geomorphological, and Biological Applications. Hydrological Processes. Vol. 5.3- 30.
- MÜLLER- HOHENSTEIN K. (1981): Die Landschaftsgürtel der Erde. Stuttgart: B. G. Teubner. – ISBN 3-519-13414-4
- MURTI K., SATYANARAYANA G. und K. (1971): Influence of chemical characteristics in the development of color. Geoderma 5, 243- 248.
- MUTUNGA C. N., LINIGER H. P., THOMAS D. B. (forthcoming): The influence of vegetative cover on runoff and soil loss – a study in Mukogodo, Laikipia District, Laikipia Mount Kenya Papers, Nanyuki, Kenya.
- NIEDERER P. (2000): Classification and multitemporal analysis of land use and land cover in the Upper Ewaso Ng'iro Basin (Kenya) using satellite data and GIS. Diplomarbeit phil. nat., Geographisches Institut, Universität Bern.
- NORTON E. A., SMITH R. S. (1930): influence of topography on soil profile character. J. Am. Soc. Agron. 22, 251- 262.
- OKOTH P. F. (1991): Preliminary report on the soil conditions of Kiplagat's Farm (Loosuk Location, Samburu District). Site Evaluation Report No. P92. Kenya Agricultural Research Institute. National Agricultural Research Laboratories. Kenya Soil Survey.
- ROTH S. (1997): Land use classification of the Upper Ewaso Ng'iro Basin in Kenya by means of Landsat TM Satellit. Diplomarbeit phil.- nat. Fak. Univ. Bern.
- SCHEFFER, SCHACHTSCHABEL (1998): SCHACHTSCHABEL P., BLUME H.-P., BRÜMMER G., HARTGE K. H., SCHWERTMANN U. (1998): Lehrbuch der Bodenkunde. 14. Auflage. Stuttgart: Enke Verlag. – ISBN 3-432-84774-2
- SCHNITZER M., KHAN S. U. (1978): Soil organic matter. Developments in Soil Science 8. Elsevier Scientific Publishing Company: Amsterdam.
- SCHULZE D. G. ET AL. (1993): Significance of Organic Matter in Determining Soil Colors. SSSA Special Publication Number 31. Soil Science Society of America, Inc. USA: Madison WI. 71- 90.
- SHACKLETON R.M. (1945): Geology of the Nyeri area. Rep. No. 12, Geological Survey of Kenya. Mining and Geological Department, Colony and Protectorate of Kenya, 26 p., 1 Map Scale 1:125.000.

- SHEPHERD K. D., WALSH M. G. (2000): sensing soil quality: the evidence from Africa. Natural Resource Problems, Priorities and Policies Programme Working Paper 2000- 1. International Centre for Research in Agroforestry. Kenya: Nairobi.
- SHEPHERD K. D., WALSH M. G. (2002): Development of Reflectance Spectral Libraries for Characterization of Soil Properties. Soil Science Society of America Journal, Volume 66, no. 3. USA: Madison WI.
- SPARKS D. L. et al. (1996): Methods of Soil Analysis, Part 3 – Chemical Methods, no. 5 in the Soil Science Society of America Book Series.
- SPECK H. (1983): Mount Kenya Area. Ecological and Agricultural Significance of the Soils- with 2 Soil Maps. AFRICAN STUDIES SERIES, A2, Geographica Bernensia, Institute of Geography, University of Berne, Switzerland: Bern. – ISBN 3-906290-01-8
- SPÖNEMANN J. (1974): Studien zur Morphogenese und rezenten Morphodynamik im mittleren Ostafrika. Göttinger geogr. Abhandlungen, H. 62, Verl. Erich Goltze KG: Göttingen.
- STURM B. (2002): Development and Use of Long and Short-Term Precipitation Interpolation Models in the Ewaso Ng'iro Basin. Diplomarbeit phil. nat, Geographisches Institut, Universität Bern.
- THUROW T. L., HERLOCKER D. J. (1993): Range Management Handbook of Kenya. Volume III, 5. Users Guide for the Range Management Handbook of Kenya. Republic of Kenya, Ministry of Agriculture, Livestock Development and Marketing, Nairobi.
- VAN ENGELEN V. W. P. (1983) : An assessment of the irrigation suitability of the soils of the Kiamariga and New Mutaro Farms and the Lari- Wendani Area. Site Evaluation Report No. P66. Ministry of Agriculture- National Agricultural Laboratories. Kenya Soil Survey.
- WANJOGU (1992): The Soils of Sirima and Mukogodo Catchments, Laikipia District, Kenya. Laikipia- Mt. Kenya Papers, Series D: Discussion Papers, D- 18, LRP- Laikipia Research Programme: Universities of Nairobi and Berne: Nanyuki.
- WARNECKE G. (1997): Meteorologie und Umwelt. Eine Einführung. 2. Auflage. Springer-Verlag: Berlin Heidelberg. – ISBN 3-540-61593-8
- WHITFIELD W. A. D., FURLEY P. A. (1971): The relationship between soil patterns and slope form in the Etrick Association, south- east Scotland. In: Slopes, form and process, D. Brunson (ed.). Inst. of Br. Geographers, Special Publ., no. 3, 165- 175.

WOODHEAD T. (1968): Studies of potential evaporation in Kenya. EAAFRO: Nairobi.

YOUNG A. (1963): Deductive models of slope evolution. Neue Beiträge zur internationalen Hangforschung. Gottingen: Vandenhoeck and Ruprecht.

Anhang

A1: Abkürzungsverzeichnis

Allg.:	OS	Organische Substanz
	OS _{Ana}	Organischer Substanz-Gehalt in Prozent, durch die Laboranalyse bestimmt
	OS _{Mod}	Organischer Substanz- Gehalt in Prozent, durch die Modellrechnung bestimmt
	Ana	Analyse
	Mod	Modell
Variablen:	OM	ORG. MATTER = ORG. SUBSTANZ
	ELE	ELEVATION
	ASP	ASPECT
	CURV	CURVATURE
	GEOL	GEOLOGY
	SLO	SLOPE
	RAIN	RAIN
	LDCOV_1	LANDCOVER_1
	LDCOV_2	LANDCOVER_2
	SUBDIV	SUBDIVISION
Mathematik:	$A \cap \bar{B}$	Differenz
	$ a = \sqrt{a^2}$	Betrag
	$ A \cap \bar{B} $	Betragsdifferenz
	n	Stichprobenanzahl
	$\sum_{i=1}^n A \cap \bar{B} $	Summe Betragsdifferenz
	$\frac{1}{n} \sum_{i=1}^n a_i$	Mittelwert

A2: Daten-CD

Die beigelegte CD teilt sich in folgenden Unterordner auf:



Im Ordner „Data“ findet sich die gesamte Datenmatrix als Excel-file. Diese Aufzählung beinhaltet alle gesammelten und analysierten Angaben und ist somit um einiges ausführlicher als die im Anhang A3 – Datenmatrix (gekürzt) wiedergegeben Tabelle.

Des weitern findet sich im Ordnet „Fieldsheets“ alle während unserer Feldarbeit ausgefüllten Feldblätter. Die Bezeichnungen beziehen sich auf die SOTER Unit-ID. Zusätzlich sind unter „Fotos“ die jeweiligen Fotos zu jedem Probestandorte enthalten.

A3: Datenmatrix (gekürzte Version)

Source	Soter Unit-ID	
	Author, Year	Autor und Jahr der Datenerhebung (Verg. Tab. 4.1)
Coordinate	UTM, Longitude/Latitude	projection UTM units meters zone 37 datum ars y-shift 10'000'000 spheroid Clarke1880
	Asl	Höhe über Meer [m ü M]
DTM	Aspect	Exposition [°]
	Curvature	Landschaftsform
	Slope	Hangneigung [%]
	Geol_Value	Geologie in Aggregatsklassen, Legende siehe Tab. 6.5, S. 75
GIS	Rainfall	Interpolation des langjährigen Mittels der Niederschlagsmessungen von 1967 bis 1997 [mm]
	Ldcov_1 & 2	Bodenbedeckung, Legende siehe Tab. 6.5, S. 75
Texture	Fieldtest Sand, Silt, Clay	Feinerdekörnung im Feld geschätzt [%]
	Analysis Sand, Silt, Clay	Feinerdekörnung aus Analyse [%]
	Analysis Particular Size Class	Texturklassen aus Analyse gemäss SSSA 2003
Soil Color	Munsell Color Chart moist/dry	Farbwerte nach Munsell im trockenen und feuchten Zustand
Vegetation	Trees, Shrubs, Grasses, Forbs	Anteil an Bäumen, Sträuchern, Grässern, Büschen & Kräutern [%]
	Code	Vegetationskode, Legende siehe S.
pH-Value	H₂O, KCl, Hellige	pH-Wert nach Methode, Helligen als Feldbestimmung
Nutritient Exchangable	Ca, Mg, Na, K	Analyse: Gehalt an austauschbaren Nährstoffen [me %]
	CEC	Analyse: KationenAustauschKapazität [me %]
	Tot N	Analyse: [%]
	Tot C	Analyse: [%]
Organic Matter	Fieldtest O.M.	Gehalt an Organischer Substanz [Klassen], Legende siehe Tab. 5.8, S. 64
	Analysis O.M.	Gehalt an Organischer Substanz [%]
Foto number	Film No./Foto No.	Angaben zu Film- und Fotonummer

SOTER			UTM		DTM				GIS				Fieldtest			Analysis			
Unit-ID	Author	Year	Longitude	Latitude	Elevation	Aspect	Curvature	Slope	Geol Value	Rainfall	Ldcov_1	Ldcov_2	Sand	Silt	Clay	Sand	Silt	Clay	Particle Size class
1001	Mbuvii/Kir	1994	301380	9981600	3070	343	0.000	58	Igneous_rocks_i	> 1101	Td	Forest				35	38	27	loam/clay loam
1002	Mbuvii/Kir	1994	300120	9981400	2864	343	0.670	44	Igneous_rocks_i	> 1101	Td	Forest							
1003	Mbuvii/Kir	1994	298300	10042100	1960	270	0.000	40	Igneous_rocks_s	501 - 600	TG	Shrubland				55	10	35	sandy clay/sandy clay loam
1004	Mbuvii/Kir	1994	311500	10032700	1950	61	0.080	13	Basement	501 - 600	Td	Forest				57	13	30	sandy clay loam
1005	Mbuvii/Kir	1994	312700	10020700	2122	349	0.160	0	Igneous_rocks_s	701 - 800	TG	Forest				60	8	32	sandy clay loam
1006	Mbuvii/Kir	1994	310400	10036500	1908	308	-0.220	26	Igneous_rocks_b	501 - 600	Td	Forest				40	19	41	clay
1007	Mbuvii/Kir	1994	305236	10019704	2120	236	0.010	3	Basement	601 - 700	TGs	Shrub grassld				35	25	40	clay/clay loam
1008	Mbuvii/Kir	1994	312800	10015300	2284	57	0.000	2	Igneous_rocks_i	601 - 700	tC	Bushland				29	30	41	clay
1009	Mbuvii/Kir	1994	282200	10048200	1825	344	0.060	8	Basement	< 500	tGb	Shrubland				45	8	38	sandy clay/clay loam
1010	Mbuvii/Kir	1994	280500	10057800	1829	240	0.030	8	Basement	< 500	tGs	Shrub grassld				75	7	18	sandy loam
1011	Mbuvii/Kir	1994	236800	10090200	1925	269	0.000	2	Igneous_rocks_i			no data				46	10	44	sandy clay
1012	Mbuvii/Kir	1994	249300	9994800	2027	65	0.010	1	Igneous_rocks_b	801 - 900	TG	Shrub grassld				38	15	46	clay
1013	Mbuvii/Kir	1994	276100	10024600	1725	52	0.000	2	Igneous_rocks_s	601 - 700	TGs	Shrub grassld				41	15	44	clay
1014	Mbuvii/Kir	1994	271941	10028138	1730	91	0.030	5	Basement	601 - 700	tGs	Shrub grassld				83	8	10	loamy sand
1015	Mbuvii/Kir	1994	260381	10049041	1671	295	0.000	1	Basement	< 500	tGs	Shrub grassld				54	8	38	sandy clay
1016	Mbuvii/Kir	1994	279700	10011600	1809	292	0.000	0	Igneous_rocks_s	601 - 700	TG	Shrub grassld				28	15	47	clay
1017	Mbuvii/Kir	1994	298700	10055400	1210	146	0.050	5	Colluvium	< 500	Td	Shrubland				75	3	22	sandy clay loam
1018	Mbuvii/Kir	1994	242500	10008300	1960	356	0.000	1	Igneous_rocks_b	601 - 700	TG	Shrub grassld				48	10	42	sandy clay
1019	Mbuvii	1989	271920	9999239	1799	330	0.000	0	Igneous_rocks_b	701 - 800	Cveg	Shrub grassld				39	21	40	clay loam/clay
1020	Mbuvii	1989	272307	9999233	1801	316	-0.010	2	Igneous_rocks_b	701 - 800	G	Shrub grassld				31	17	52	clay
1021	Mbuvii	1989														39	19	42	clay
1022	Mbuvii	1989														37	19	44	clay
1023	Mbuvii	1989	268884	10000387	1780	128	0.000	0	Igneous_rocks_b	701 - 800	tC	Shrub grassld				35	13	52	clay
1501	Bin/Led	2002	266285	10010319	1740	298	0.020	0	Igneous_rocks_s	601 - 700	TGs	Shrub grassld	20	60	20	37	32	31	clay loam
1502	Bin/Led	2002	266129	10024852	1721	12	0.000	0	Basement	601 - 700	tGb	Bushland	40	40	20	59	18	23	sandy clay loam
1503	Bin/Led	2002	266131	10025617	1688	166	-0.560	6	Basement	601 - 700	Td	Shrub grassld	50	35	15	45	20	35	sandy clay loam/sandy clay/clay loam
1504	Bin/Led	2002	269560	10027099					Basement				50	25	25	66	4	30	sandy clay loam
1505	Bin/Led	2002	278131	10020696	1774	88	0.000	4	Basement	601 - 700	TGs	Shrub grassld	55	20	25	59	10	31	sandy clay loam
1506	Bin/Led	2002	280608	10016789	1759	232	-0.020	2	Igneous_rocks_s	601 - 700	TG	s. scale cropland	40	50	10	67	4	29	sandy clay loam
1507	Bin/Led	2002	280020	10016953	1782	82	0.000	0	Igneous_rocks_s	601 - 700	G	s. scale cropland	20	70	10	55	14	31	sandy clay loam
1508	Bin/Led	2002	282501	10049195	1835	281	0.000	3	Basement	< 500	tGs	Shrubland	50	25	25	69	10	21	sandy clay loam
1509	Bin/Led	2002	280597	10058425	1839	62	0.020	3	Basement	< 500	TGs	Shrub grassld	30	50	20	58	8	34	sandy clay loam
1510	Bin/Led	2002	278835	10060993	1825	348	0.250	4	Basement	< 500	TGs	Shrub grassld	30	40	30	63	11	26	sandy clay loam
1511	Bin/Led	2002	276573	10066918	1648	311	0.060	7	Basement	< 500	tGs	Shrubland	35	45	20	71	8	21	sandy clay loam
1512	Bin/Led	2002	278781	10071772	1386	131	0.020	1	Colluvium	< 500	TGs	Shrubland	90	5	5	92	0	8	sand
1513	Bin/Led	2002	283549	10074834	1271	103	0.000	1	Colluvium	< 500	tGb	Shrubland	40	30	30	67	14	19	sandy loam

SOTER		UTM		DTM				GIS				Fieldtest			Analysis				
Unit-ID	Author	Year	Longitude	Latitude	asl	Aspect	Curvature	Slope	Geol Value	Rainfall	Ldcov_1	Ldcov_2	Sand	Silt	Clay	Sand	Silt	Clay	Particle Size class
1514	Bin/Led	2002	291011	10078192	1162	359	0.000	0	Basement	< 500	tGb	Shrubland	45	45	10	80	6	14	sandy loam
1515	Bin/Led	2002	290561	10080179	1140	152	-0.010	1	Basement	< 500	tGb	Shrubland	50	40	10	76	9	15	sandy loam
1516	Bin/Led	2002	288686	10084390	1133	139	0.000	3	Basement	< 500	tGb	Shrubland	60	30	10	88	0	12	loamy sand
1517	Bin/Led	2002	288715	10087179	1083	187	0.020	6	Basement	< 500	tG	Shrubland	50	40	10	74	10	16	sandy loam
1518	Bin/Led	2002	288705	10087239	1086	194	0.020	7	Basement	< 500	TGs	Shrubland	60	30	10	86	8	6	loamy sand
1519	Bin/Led	2002	288676	10087320	1088	227	0.020	7	Basement	< 500	TGs	Shrubland	40	50	10	76	14	10	sandy loam
1520	Bin/Led	2002	288445	10091164	1181	169	0.000	0	Basement	< 500	tGb	Shrubland	20	50	30	58	12	30	sandy clay loam
1521	Bin/Led	2002	288371	10091151	1182	135	0.000	1	Basement	< 500	tGb	Shrubland	30	45	25	76	6	18	sandy loam
1522	Bin/Led	2002	288290	10091170	1182	133	0.000	1	Basement	< 500	tGb	Shrubland	60	20	20	72	9	19	sandy loam
1523	Bin/Led	2002	283632	10098197	1251	14	-0.030	0	Basement	< 500	tGb	Shrubland	50	40	10	84	4	12	loamy sand
1524	Bin/Led	2002	288893	10099967	1183	106	0.000	2	Calcrete	< 500	tGb	Shrubland	10	60	30	50	10	40	sandy clay
1525	Bin/Led	2002	289089	10100034	1181	142	-0.060	1	Calcrete	< 500	TGs	Shrubland	10	50	40	48	10	42	sandy clay
1526	Bin/Led	2002	289343	10100095	1188	193	0.000	1	Basement	< 500	tGb	Shrubland	50	30	20	72	2	26	sandy clay loam
1527	Bin/Led	2002	293823	10102097	1280	191	-0.390	7	Basement	< 500	TG	Shrubland	40	50	10	76	11	13	sandy loam
1528	Bin/Led	2002	293871	10102119	1284	252	-0.380	20	Basement	< 500	TG	Shrubland	50	40	10	83	6	11	loamy sand
1529	Bin/Led	2002	293934	10102133	1300	288	0.260	24	Basement	< 500	TG	Shrubland	60	30	10	85	9	6	loamy sand
1530	Bin/Led	2002	300859	10103639	1153	222	-0.030	2	Basement	< 500	TGs	Shrubland	30	60	10	77	10	13	sandy loam
1531	Bin/Led	2002	303977	10104490	1222	316	0.000	1	Colluvium	< 500	tGb	Shrubland	40	50	10	73	8	19	sandy loam
1532	Bin/Led	2002	309694	10105875	1315	13	0.010	3	Igneous_rocks_b	501 - 600	tGb	Shrubland	60	25	15	77	4	19	sandy loam
1533	Bin/Led	2002	311132	10101248	1241	206	0.020	1	Colluvium	501 - 600	tGb	Shrubland	35	30	35	44	16	40	clay loam/clay
1534	Bin/Led	2002	310597	10103549	1281	152	0.030	0	Igneous_rocks_b	501 - 600	tGb	Shrubland	55	25	20	78	7	15	sandy loam
1535	Bin/Led	2002	285884	10096258	1244	236	0.000	1	Basement	< 500	tGb	Shrubland	40	50	10	70	8	22	sandy clay loam
1536	Bin/Led	2002	289214	10087295	1091	155	0.030	7	Basement	< 500	TGs	Shrubland	10	40	50	27	12	61	clay
1537	Bin/Led	2002	294374	10078039	1128	111	0.000	1	Basement	< 500	tGb	Shrubland	30	45	25	93	1	6	sand
1538	Bin/Led	2002	296779	10075224	1131	71	0.020	1	Basement	< 500	tGb	Shrubland	35	45	20	83	2	14	sandy loam
1539	Bin/Led	2002	305689	10067180	1010	38	-0.050	3	Colluvium	< 500	tGb	Shrubland	65	35	10	86	6	8	loamy sand
1540	Bin/Led	2002	305987	10067217	1018	347	0.050	5	Colluvium	< 500	tGb	Shrubland	55	35	10	86	4	10	loamy sand
1541	Bin/Led	2002	310660	10065042	1048	25	0.010	2	Colluvium	< 500	tGb	Shrubland	45	40	15	81	6	13	sandy loam
1542	Bin/Led	2002	316505	10061837	1002	275	-0.060	5	Calcrete	< 500	TGs	Shrub grassld	65	25	10	83	7	10	loamy sand
1543	Bin/Led	2002	317673	10058537	968	77	0.000	3	Calcrete	< 500	tGb	Shrubland	30	60	10	74	18	8	sandy loam
1544	Bin/Led	2002	321837	10052889	1061	91	0.000	0	Calcrete	< 500	TGs	Shrub grassld	30	50	20	57	29	14	sandy loam
1545	Bin/Led	2002	326372	10048604	1119	261	0.000	0	Calcrete	< 500	TGs	Shrub grassld	30	50	20	70	8	22	sandy clay loam
1546	Bin/Led	2002	328411	10040868	1220	261	0.100	5	Igneous_rocks_b	< 500	TGs	Shrub grassld	10	65	25	45	26	29	clay loam/sandy clay loam
1547	Bin/Led	2002	333439	10038469	1220	209	-0.010	1	Igneous_rocks_b	501 - 600	TGs	Shrub grassld	10	60	30	38	24	38	clay loam
1548	Bin/Led	2002	335127	10037784	1181	89	-0.010	3	Igneous_rocks_b	501 - 600	TG	Shrub grassld	10	60	30	33	14	53	clay
1549	Bin/Led	2002	337171	10036810	1175	340	0.010	2	Igneous_rocks_b	501 - 600	TG	Shrub grassld	10	55	35	39	13	49	clay

SOTER			UTM		DTM				GIS				Fieldtest			Analysis				
Unit-ID	Author	Year	Longitude	Latitude	asl	Aspect	Curvature	Slope	Geol	Value	Rainfall	Ldcov_1	Ldcov_2	Sand	Silt	Clay	Sand	Silt	Clay	Particle Size class
1550	Bin/Led	2002	329464	10015375	2060	7	-0.120	8	Igneous_rocks_b	801 - 900	tCG	Bushland	15	55	30	33	26	41	clay	
1551	Bin/Led	2002	328609	10013507	2265	32	0.000	8	Igneous_rocks_i	801 - 900	tC	L. scale cropld	15	50	35	35	26	39	clay loam	
1552	Bin/Led	2002	266228	10033317	1665	128	0.000	4	Basement	501 - 600	tGs	Scarpine shrubs	45	40	15	77	8	15	sandy loam	
1553	Bin/Led	2002	263908	10035822	1801	48	-0.030	5	Igneous_rocks_i	501 - 600	TG	Shrub grassld	10	60	30					
1554	Bin/Led	2002	262698	10035007	1808	78	0.000	1	Igneous_rocks_i	501 - 600	TG	Shrub grassld	5	60	35	33	20	47	clay	
1555	Bin/Led	2002	260776	10037082	1804	42	0.000	1	Igneous_rocks_i	501 - 600	TG	Shrub grassld	5	50	45	30	8	62	clay	
1556	Bin/Led	2002	259550	10038152	1795	58	-0.050	1	Igneous_rocks_i	501 - 600	tG	Shrub grassld	10	55	35	44	14	42	clay	
1557	Bin/Led	2002	260383	10040563	1794	51	0.000	3	Igneous_rocks_i	< 500	tG	Shrub grassld	10	55	35	30	14	56	clay	
1558	Bin/Led	2002	260110	10042332	1770	302	0.020	13	Igneous_rocks_i	< 500	TG	Shrub grassld	15	60	25	58	12	30	sandy clay loam	
1559	Bin/Led	2002	260299	10042787	1711	23	0.000	2	Basement	< 500	TGs	Shrub grassld	20	50	30	55	11	34	sandy clay loam	
1560	Bin/Led	2002	262275	10042802	1681	69	0.010	1	Colluvium	< 500	tGb	Shrub grassld	30	60	10	75	11	14	sandy loam	
1561	Bin/Led	2002	262986	10040880	1716	45	-0.270	5	Basement	< 500	TG	Scarpine shrubs	25	45	30	57	7	36	sandy clay	
1562	Bin/Led	2002	262930	10039497	1766	18	0.000	3	Igneous_rocks_i	< 500	tG	Shrub grassld	5	55	40	43	10	47	clay	
1563	Bin/Led	2002	263179	10036895	1790	351	0.000	3	Igneous_rocks_i	501 - 600	TG	Shrub grassld	10	60	30	53	13	34	sandy clay loam	
1564	Bin/Led	2002	268953	9985092	1827	259	-0.320	5	Igneous_rocks_s	701 - 800	Td	Bushland	20	60	20	53	24	23	sandy clay loam	
1565	Bin/Led	2002	265258	9984863	1893	131	0.040	2	Igneous_rocks_s	701 - 800	G	Bushland	20	65	15	63	24	13	sandy loam	
1566	Bin/Led	2002	256552	9992335	1917	353	-0.020	3	Igneous_rocks_b	801 - 900	tCG	Bushland	15	60	25	31	22	47	clay	
1567	Bin/Led	2002	255458	9992754	1899	48	0.060	2	Igneous_rocks_b	801 - 900	tCG	Bushland	15	67	18	29	32	39	clay loam	
1568	Bin/Led	2002	251712	9994979	2001	5	0.000	1	Igneous_rocks_b	801 - 900	G	Bushland	15	60	25	25	14	61	clay	
1569	Bin/Led	2002	250284	9995544	2017	134	-0.020	2	Igneous_rocks_b	801 - 900	G	Shrub grassld	15	67	18	43	8	49	clay	
1570	Bin/Led	2002	244377	9992393	2087	46	-0.050	1	Igneous_rocks_b	801 - 900	G	Shrub grassld	10	65	25	33	22	45	clay	
1571	Bin/Led	2002	239199	9991460	2177	57	0.020	3	Igneous_rocks_b	801 - 900	G	Shrub grassld	15	60	25	31	24	45	clay	
1572	Bin/Led	2002	232911	9992111	2159	93	0.000	1	Igneous_rocks_b	801 - 900	G	Shrub grassld	10	65	25	41	18	41	clay	
1573	Bin/Led	2002	222366	9996483	2287	85	0.000	6		801 - 900	tC	Forest	30	45	25	47	18	35	sandy clay/sandy clay loam	
1574	Bin/Led	2002	224751	10004031	2141	68	0.000	1	Igneous_rocks_i	801 - 900	tCG	Grassland	10	80	10	34	34	32	clay loam	
1575	Bin/Led	2002	222798	10003815	2179	46	0.090	2	Igneous_rocks_i	801 - 900	tC	s. scale cropland	15	70	15	35	26	39	clay loam	
1576	Bin/Led	2002	214634	10002934	2321	8	0.020	1	Colluvium	901 - 1000	Cveg	Forest	15	55	30	25	26	49	clay	
1577	Bin/Led	2002	209981	10003661	2360	208	0.550	23	Calcrete	901 - 1000	Cveg	s. scale cropland	10	60	30	32	38	30	clay loam	
1578	Bin/Led	2002	209913	10003584	2340	223	-0.380	18	Calcrete	901 - 1000	tCG	s. scale cropland	10	70	20	44	27	29	clay loam	
1579	Bin/Led	2002	208037	9987509	2369	72	0.000	2		901 - 1000	G	s. scale cropland	10	55	35	52	25	23	sandy clay loam	
1580	Bin/Led	2002	206403	9993685	2371	78	0.020	6		801 - 900	TG	s. scale cropland	15	60	25	44	28	28	clay loam	
1581	Bin/Led	2002	206448	9999126	2375	26	0.000	1		801 - 900	TG	s. scale cropland	10	50	40	35	22	43	clay	
1582	Bin/Led	2002	206067	10008758	2375	118	-0.340	7	Igneous_rocks_i	901 - 1000	TG	Forest	15	70	15	37	24	39	clay loam	
1583	Bin/Led	2002	208276	10011975	2316	48	0.040	7	Igneous_rocks_i	901 - 1000	tC	s. scale cropland	15	75	10	69	8	23	sandy clay loam	
1584	Bin/Led	2002	209047	10013168	2219	60	0.000	2	Igneous_rocks_i	901 - 1000	tCG	s. scale cropland	20	55	25	46	25	29	sandy clay loam	
1585	Bin/Led	2002	208779	10018302	2111	339	0.020	8	Igneous_rocks_i	801 - 900	tC	s. scale cropland	15	70	15	34	15	51	clay	

SOTER			UTM		DTM				GIS				Fieldtest			Analysis				
Unit-ID	Author	Year	Longitude	Latitude	asl	Aspect	Curvature	Slope	Geol	Value	Rainfall	Ldcov_1	Ldcov_2	Sand	Silt	Clay	Sand	Silt	Clay	Particle Size class
1586	Bin/Led	2002	208800	10022607	2145	339	0.010	2	Igneous_rocks_i	801 - 900	tC	s. scale cropland	10	65	25					
1587	Bin/Led	2002	212013	10026563	2024	336	0.000	2	Igneous_rocks_i	701 - 800	tC	s. scale cropland	15	70	15	36	16	48	clay	
1588	Bin/Led	2002	221065	10027025	1926	131	0.000	2	Igneous_rocks_i	701 - 800	TG	Bush grassland	15	60	25	42	15	43	clay	
1589	Bin/Led	2002	223644	10027867	1867	98	0.000	2	Igneous_rocks_i	701 - 800	TG	Shrub grassld	15	60	25	32	42	26	loam	
1590	Bin/Led	2002	226870	10031136	1832	146	0.000	2	Igneous_rocks_i	601 - 700	tCG	Shrub grassld	20	65	15	54	20	26	sandy clay loam	
1591	Bin/Led	2002	231972	10036529	1805	185	0.020	6	Igneous_rocks_i	601 - 700	tC	Swamp	15	60	25	28	29	43	clay	
1592	Bin/Led	2002	236285	10040148	1800	94	-0.210	12	Igneous_rocks_i	501 - 600	tCG	Shrub grassld	15	60	25	48	17	35	sandy clay/sandy clay loam	
1593	Bin/Led	2002	241843	10048454	1766	359	0.000	0	Igneous_rocks_i	501 - 600	tG	Scarpine shrubs	15	60	25	43	18	39	clay loam	
1594	Bin/Led	2002	236562	10055426	1900	134	0.000	1	Igneous_rocks_i	601 - 700	G	Shrub grassld	25	45	30	52	9	39	sandy clay	
1595	Bin/Led	2002	240749	10056785	1883	181	0.000	0	Igneous_rocks_i	601 - 700	tG	Shrub grassld	15	60	25	53	16	31	sandy clay loam	
1596	Bin/Led	2002	239632	10060072	1886	89	0.000	0	Igneous_rocks_i	601 - 700	G	Shrub grassld	10	60	30	52	21	27	sandy clay loam	
1597	Bin/Led	2002	244304	10056983	1866	162	0.000	1	Igneous_rocks_i	501 - 600	tG	Shrub grassld	15	55	30	55	16	29	sandy clay loam	
1598	Bin/Led	2002	250715	10062891	1844	119	0.000	1	Igneous_rocks_i	501 - 600	G	Grassland	25	50	25	51	16	33	sandy clay loam	
1599	Bin/Led	2002	256154	10071771	1756	227	0.000	1	Igneous_rocks_i	< 500	G	Shrub grassld	10	65	25	45	24	31	sandy clay loam/clay loam	
1600	Bin/Led	2002	255348	10069732	1721	180	-0.040	2	Igneous_rocks_i	< 500	TG	Shrub grassld	5	65	30	48	18	34	sandy clay loam	
1601	Bin/Led	2002	254278	10067537	1754	353	-0.010	2	Igneous_rocks_i	< 500	tG	Shrub grassld	5	60	35	39	14	47	clay	
1602	Bin/Led	2002	247139	10055352	1842	136	0.000	0	Igneous_rocks_i	501 - 600	tG	Grassland	5	70	25	44	15	41	clay	
1603	Bin/Led	2002	248193	10050047	1712	112	0.040	9	Basement	501 - 600	TG	Shrub grassld	60	35	5	79	10	11	sandy loam	
1604	Bin/Led	2002	244119	10049536	1734	84	0.000	1	Igneous_rocks_i	501 - 600	Td	Shrub grassld	5	65	30	64	9	27	sandy clay loam	
1605	Bin/Led	2002	227724	10026851	1842	136	0.000	2	Igneous_rocks_i	601 - 700	TG	Bush grassland	10	65	25	39	26	35	clay loam	
1606	Bin/Led	2002	228215	10026746	1825	106	0.000	4	Calcrete	601 - 700	tC	Bush grassland	5	77	18	49	20	31	sandy clay loam	
1607	Bin/Led	2002	232860	10022377	1857	198	0.000	1	Igneous_rocks_i	601 - 700	TG	Shrub grassld	5	55	40	27	24	49	clay	
1608	Bin/Led	2002	236515	10015505	1900	262	0.000	0	Igneous_rocks_b	601 - 700	TG	Shrub grassld	5	70	25	31	20	49	clay	
1609	Bin/Led	2002	241082	10007525	1916	335	-0.010	6	Igneous_rocks_i	601 - 700	TG	Shrub grassld	10	65	25	24	23	53	clay	
1610	Bin/Led	2002	245907	10009204	1902	160	0.000	2	Igneous_rocks_b	601 - 700	tG	Shrub grassld	5	70	25	34	24	42	clay	
1611	Bin/Led	2002	255128	10011393	1844	132	0.000	0	Igneous_rocks_s	601 - 700	G	Grassland	2	75	23	38	25	37	clay loam	
1612	Bin/Led	2002	289638	9980521	2198	180	-0.010	3	Igneous_rocks_i	801 - 900	Tpd	Forest	10	65	25	35	32	33	clay loam	
1613	Bin/Led	2002	291946	9982070	2295	232	-0.370	5	Igneous_rocks_i	1001 - 1100	Td	Forest	5	70	25	43	22	35	clay loam	
1614	Bin/Led	2002	295631	9981016	2513	322	0.610	31	Igneous_rocks_i	> 1101	Td	Forest	5	85	10	35	40	25	loam	
1615	Bin/Led	2002	297260	9980544	2610	346	0.630	28	Igneous_rocks_i	> 1101	Td	Forest	5	85	10	39	44	17	loam	
1616	Bin/Led	2002	299491	9980864	2829	193	0.090	16	Igneous_rocks_i	> 1101	Td	Forest	15	75	10	43	24	33	clay loam	
1617	Bin/Led	2002	301084	9981500	3031	319	0.130	27	Igneous_rocks_i	> 1101	G	Forest	10	70	20	45	26	29	sandy clay loam/clay loam	
1618	Bin/Led	2002	299668	9980923									10	80	10	50	21	29	sandy clay loam	
1619	Bin/Led	2002	302760	9981344	3319	253	0.390	42	Igneous_rocks_i	> 1101	G	Forest	5	75	20	57	20	23	sandy clay loam	
1620	Bin/Led	2002	299656	9980900	2840	223	-0.760	11	Igneous_rocks_i	> 1101	Td	Forest	5	70	25	45	28	27	clay loam/sandy clay loam/loam	
1621	Bin/Led	2002	295087	9981116	2439	342	-0.120	19	Igneous_rocks_i	> 1101	Td	Forest	15	70	15	47	28	25	loam/sandy clay loam	

SOTER		UTM		DTM				GIS				Fieldtest			Analysis				
Unit-ID	Author	Year	Longitude	Latitude	asl	Aspect	Curvature	Slope	Geol Value	Rainfall	Ldcov_1	Ldcov_2	Sand	Silt	Clay	Sand	Silt	Clay	Particle Size class
1622	Bin/Led	2002	295063	9981142	2431	254	-0.690	8	Igneous_rocks_i	> 1101	Td	Forest	5	75	20	41	32	27	loam/clay loam
1623	Bin/Led	2002	290551	9980921	2251	255	0.000	5	Igneous_rocks_i	901 - 1000	G	Forest	5	65	30	31	36	33	clay loam
1624	Bin/Led	2002	309290	9994870	3360	0	-0.570	11	Igneous_rocks_b	701 - 800	tG	Moorland	20	65	15	61	24	15	sandy loam
1625	Bin/Led	2002	309085	9995492	3296	302	0.070	9	Igneous_rocks_b	701 - 800	tG	Moorland	5	80	15	43	36	21	loam
1626	Bin/Led	2002	309237	9996253	3246	13	-0.010	10	Igneous_rocks_b	701 - 800	tG	Moorland	5	90	5	55	28	17	sandy loam
1627	Bin/Led	2002	309180	9996875	3199	54	1.450	43	Igneous_rocks_b	701 - 800	tG	Moorland	5	90	5	50	43	7	loam/sandy loam
1628	Bin/Led	2002	308770	9997427	3149	21	0.360	27	Igneous_rocks_b	701 - 800	Td	Forest	5	92	3	47	40	13	loam
1629	Bin/Led	2002	308559	9997743	3090	28	0.460	29	Igneous_rocks_b	701 - 800	Go	Forest	10	80	10	41	42	17	loam
1630	Bin/Led	2002	307955	9997916	3009	321	0.200	12	Igneous_rocks_i	701 - 800	G	Forest	20	70	10	47	40	13	loam
1631	Bin/Led	2002	307672	9998279	2920	285	-0.650	23	Igneous_rocks_i	701 - 800	Td	Forest	20	70	10	50	29	21	sandy clay loam
1632	Bin/Led	2002	307423	9998680	2872	18	0.000	9	Igneous_rocks_i	801 - 900	Td	Forest	10	80	10	57	29	15	sandy loam
1633	Bin/Led	2002	307066	9999129	2870	353	0.220	19	Igneous_rocks_i	801 - 900	Td	Forest	20	70	10	41	26	33	clay loam
1634	Bin/Led	2002	306535	9999429	2815	334	0.190	8	Igneous_rocks_i	801 - 900	Td	Forest	15	70	15	57	24	19	sandy loam
1635	Bin/Led	2002	305844	9999992	2690	0	0.000	60	Igneous_rocks_b	801 - 900	Td	Forest	15	70	15	51	20	29	sandy clay loam
1636	Bin/Led	2002	305335	10000279					Igneous_rocks_i				5	80	15	39	38	23	loam
1637	Bin/Led	2002	305339	10000323	2624	46	0.250	32	Igneous_rocks_i	801 - 900	G	Forest	10	65	25	31	18	51	clay
1638	Bin/Led	2002	304981	10000641	2647	40	0.660	14	Igneous_rocks_i	701 - 800	G	Forest	5	70	25	35	18	47	clay
1639	Bin/Led	2002	304770	10001431	2604	337	0.080	10	Igneous_rocks_i	701 - 800	G	Forest	3	72	25	41	30	29	clay loam
1640	Bin/Led	2002	304694	10002153	2500	17	-0.330	35	Igneous_rocks_i	701 - 800	G	Forest	3	67	30	35	26	39	clay loam
1641	Bin/Led	2002	304104	10002680	2460	350	0.350	16	Igneous_rocks_i	701 - 800	Td	Forest	10	65	25	35	20	45	clay
1642	Bin/Led	2002	303331	10003178	2383	270	0.000	3	Igneous_rocks_i	701 - 800	G	Forest	10	65	25	37	18	45	clay
1643	Bin/Led	2002	303031	10004453	2320	15	-0.410	14	Igneous_rocks_i	701 - 800	tC	Forest	10	60	30	27	28	45	clay
1644	Bin/Led	2002	302160	10004882	2294	15	0.010	8	Igneous_rocks_i	701 - 800	TG	Bushland	10	75	10	28	26	46	clay
1645	Bin/Led	2002	301237	10005224	2256	272	-0.040	7	Igneous_rocks_i	701 - 800	G	Bushland	15	70	15	29	20	51	clay
1646	Bin/Led	2002	300665	10005443	2222	241	-0.040	4	Igneous_rocks_i	701 - 800	TG	Bushland	10	65	25	29	26	45	clay
1647	Bin/Led	2002	314826	10009838	2538	6	0.060	4	Igneous_rocks_i	701 - 800	tC	L. scale cropld	5	80	15	29	38	33	clay loam
1648	Bin/Led	2002	319860	10011538	2534	60	0.000	4	Igneous_rocks_i	701 - 800	tC	L. scale cropld	10	65	25	29	28	43	clay
1649	Bin/Led	2002	333044	10019788	1797	273	0.020	5	Igneous_rocks_b	701 - 800	TG	s. scale cropland	10	55	35	21	12	67	clay
1650	Bin/Led	2002	335996	10024627	1600	358	0.050	2	Igneous_rocks_b	601 - 700	TG	s. scale cropland	10	60	30	43	18	39	clay loam
1651	Bin/Led	2002	337757	10029539	1380	16	0.150	6	Igneous_rocks_b	601 - 700	tCG	Shrub grassld	25	65	10	27	36	37	clay loam
1652	Bin/Led	2002	340613	10035133	1194	29	0.000	2	Igneous_rocks_b	601 - 700	TGs	Shrub grassld	15	70	15	37	36	27	loam/clay loam
1653	Bin/Led	2002	344700	10036781	1137	55	0.000	1	Igneous_rocks_b	601 - 700	TGs	Shrub grassld	15	80	5	21	26	53	clay
1654	Bin/Led	2002	349065	10034946	1150	328	0.000	1	Igneous_rocks_b	601 - 700	TG	Shrub grassld	25	70	5	31	18	51	clay
1655	Bin/Led	2002	352976	10032459	1174	18	0.000	3	Igneous_rocks_b	701 - 800	TG	Shrub grassld	25	70	5	32	27	41	clay
1656	Bin/Led	2002	357230	10029930	1280	244	0.250	12	Igneous_rocks_b	701 - 800	TG	Shrub grassld	25	60	15	55	22	23	sandy clay loam
1657	Bin/Led	2002	360889	10026839	1309	227	0.000	2	Igneous_rocks_b	801 - 900	tC	Shrub grassld	30	65	5	25	13	62	clay

SOTER			UTM		DTM				GIS				Fieldtest			Analysis			
Unit-ID	Author	Year	Longitude	Latitude	asl	Aspect	Curvature	Slope	Geol Value	Rainfall	Ldcov_1	Ldcov_2	Sand	Silt	Clay	Sand	Silt	Clay	Particle Size class
1658	Bin/Led	2002	364895	10023298	1459	17	0.000	2	Igneous_rocks_b	1001 - 1100	tCG	s. scale cropland	30	65	5	25	36	39	clay loam
1659	Bin/Led	2002	362930	10021480	1398	355	0.010	1	Igneous_rocks_b	> 1101	tC	s. scale cropland	30	65	5	28	35	37	clay loam
1660	Bin/Led	2002	359198	10017252	1371	288	0.000	2	Igneous_rocks_b	> 1101	tC	s. scale cropland	15	75	10	31	30	39	clay loam
1661	Bin/Led	2002	356904	10017900	1373	335	0.010	4	Calcrete	1001 - 1100	TG	s. scale cropland	30	55	15	44	19	37	clay loam
1662	Bin/Led	2002	353976	10018494	1406	78	0.010	2	Igneous_rocks_b	1001 - 1100	tC	s. scale cropland	15	75	10	31	19	50	clay
1663	Bin/Led	2002	351670	10017695	1455	107	0.000	1	Igneous_rocks_b	1001 - 1100	tC	s. scale cropland	15	80	5	25	32	43	clay
1664	Bin/Led	2002	349161	10021230	1438	2	-0.020	2	Igneous_rocks_b	801 - 900	tCG	s. scale cropland	18	77	5	32	41	27	loam/clay loam
1665	Bin/Led	2002	346871	10024272	1396	28	0.000	1	Igneous_rocks_b	701 - 800	TG	s. scale cropland	25	70	5	31	41	28	clay loam
1666	Bin/Led	2002	345050	10028005	1338	47	0.010	3	Igneous_rocks_b	601 - 700	tC	Shrub grassld	18	77	5	26	28	46	clay
1667	Bin/Led	2002	342799	10031214	1280	53	0.060	1	Igneous_rocks_b	601 - 700	tCG	s. scale cropland	15	80	5	28	18	54	clay
1668	Bin/Led	2002	309861	10021287	2145	341	0.060	1	Igneous_rocks_b	601 - 700	tG	Bush grassland	?	?	5	34	13	53	clay
1669	Bin/Led	2002	310270	10024720	1990	71	-0.010	9	Igneous_rocks_b	601 - 700	TG	Bush grassland	25	65	10	29	13	58	clay
1670	Bin/Led	2002	310367	10027871	1951	288	-0.010	1	Igneous_rocks_b	601 - 700	TG	Shrub grassld	30	60	10	35	12	53	clay
1671	Bin/Led	2002	311388	10031641	1933	180	0.000	5	Igneous_rocks_b	501 - 600	TG	Shrub grassld	30	65	5	45	16	39	clay loam/sandy clay
1672	Bin/Led	2002	310237	10034486	1909	250	0.000	4	Igneous_rocks_b	501 - 600	G	Forest	25	70	5	43	14	43	clay
1673	Bin/Led	2002	308142	10034115	1807	265	0.070	14	Igneous_rocks_b	501 - 600	tRG	Shrubland	10	80	10	40	21	39	clay loam
1674	Bin/Led	2002	308165	10033623	1755	44	-0.180	10	Basement	501 - 600	Td	Forest	7	8	85	73	10	17	sandy loam
1675	Bin/Led	2002	307862	10032274	1897	83	-0.010	4	Igneous_rocks_b	601 - 700	TGs	Shrubland	35	60	5	59	3	38	sandy clay
1676	Bin/Led	2002	305592	10032765	1931	37	0.210	25	Basement	601 - 700	TG	Shrubland	10	40	50	22	62	16	silt loam
1677	Bin/Led	2002	303332	10035054	1966	17	-0.040	11	Basement	601 - 700	TGs	Shrubland	25	35	40	69	6	25	sandy clay loam
1678	Bin/Led	2002	301031	10037791	1876	136	-0.190	4	Igneous_rocks_s	501 - 600	Td	Shrubland	30	60	10	69	8	23	sandy clay loam
1679	Bin/Led	2002	298980	10040322	1909	94	0.010	19	Basement	501 - 600	TGs	Shrubland	30	40	30	64	5	31	sandy clay loam
1680	Bin/Led	2002	298521	10043783	1931	320	0.090	13	Basement	501 - 600	TG	Bushland	15	45	40	66	10	24	sandy clay loam
1681	Bin/Led	2002	294951	10043183	1820	258	-0.210	12	Basement	501 - 600	TGs	Bushland	15	45	40	64	9	27	sandy clay loam
1682	Bin/Led	2002	291227	10041787	1760	314	-0.080	7	Basement	< 500	tGb	Shrubland	25	55	20	59	10	31	sandy clay loam
1683	Bin/Led	2002	288691	10040739	1809	173	0.010	1	Basement	< 500	TGs	Shrub grassld	15	55	30	67	12	21	sandy clay loam
1684	Bin/Led	2002	286584	10040099	1743	99	-0.050	7	Basement	< 500	TGs	Shrubland	15	50	35	67	12	21	sandy clay loam
2001	Ahn/Geiger	1987	310805	10038699	1847	6	-0.060	14	Igneous_rocks_b	501 - 600	Td	Forest				44	24	32	clay loam
2002	Ahn/Geiger	1987	308910	10016585	2267	302	0.200	19	Igneous_rocks_b	601 - 700	tC	L. scale cropld				28	26	46	clay
2003	Ahn/Geiger	1987														20	16	64	clay
2004	Ahn/Geiger	1987	260698	9987060	1918	22	0.000	2	Igneous_rocks_b	701 - 800	TG	Grassland				34	24	42	clay
2005	Ahn/Geiger	1987	240327	10049775	1789	122	0.000	1	Igneous_rocks_i	601 - 700	TG	Scarpine shrubs				36	20	44	clay
2006	Ahn/Geiger	1987	240326	10047895	1781	100	0.000	1	Igneous_rocks_i	501 - 600	TG	Shrub grassld				46	22	32	sandy clay loam
2007	Ahn/Geiger	1987	227288	10003319	2060	133	-0.070	4	Igneous_rocks_i	701 - 800	TG	Bush grassland				38	20	42	clay
2008	Ahn/Geiger	1987	277401	9983412	1941	277	-0.080	2	Igneous_rocks_s	601 - 700	G	Grassland				32	34	34	clay loam
2009	Ahn/Geiger	1987	210594	10062730	1923	345	0.220	24	Igneous_rocks_i		no data					52	12	36	sandy clay

SOTER		UTM		DTM				GIS				Fieldtest			Analysis				
Unit-ID	Author	Year	Longitude	Latitude	asl	Aspect	Curvature	Slope	Geol Value	Rainfall	Ldcov_1	Ldcov_2	Sand	Silt	Clay	Sand	Silt	Clay	Particle Size class
2010	Ahn/Geiger	1987	281075	10007409	1845	305	-0.010	1	Igneous_rocks_s	601 - 700	G	Shrub grassld				34	24	42	clay
2011	Ahn/Geiger	1987	323826	10007408	2806	302	0.000	18	Igneous_rocks_i	901 - 1000	Cgrain	Forest				28	26	46	clay
2012	Ahn/Geiger	1987	277401	10005529	1830	240	-0.130	5	Igneous_rocks_s	601 - 700	TG	Shrub grassld				32	32	36	clay loam
2013	Ahn/Geiger	1987	294102	10009178	1949	333	-0.120	0	Igneous_rocks_i	701 - 800	Td	s. scale cropland				28	26	46	clay
2014	Ahn/Geiger	1987	282973	10044234	1781	334	0.030	6	Basement	< 500	tG	Shrubland				64	16	20	sandy loam/sandy clay loam
2015	Ahn/Geiger	1987	286646	10040584	1739	80	0.000	2	Basement	< 500	tG	Shrubland				68	12	20	sandy loam/sandy clay loam
2016	Ahn/Geiger	1987	294103	10018467	1985	253	0.000	3	Colluvium	601 - 700	tG	Bush grassland				64	20	16	sandy loam
2017	Ahn/Geiger	1987	284865	10038704	1800	87	-0.020	5	Basement	< 500	TGs	Shrubland				66	18	16	sandy loam
3001	Desaules	1986	278700	9997400	1862	252	-0.010	2	Igneous_rocks_s	701 - 800	G	Bush grassland				18	14	68	clay
3002	Desaules	1986	278600	9996700	1864	221	0.010	2	Igneous_rocks_s	701 - 800	G	Bush grassland				26	20	54	clay
3003	Desaules	1986	282300	9995700	1916	256	0.000	1	Igneous_rocks_s	701 - 800	TG	Bush grassland				20	30	50	clay
3004	Desaules	1986	280700	9990200	1901	211	-0.030	3		701 - 800	TG	s. scale cropland				32	28	40	clay loam/clay
3005	Desaules	1986	280800	9990300	1906	238	0.000	3	Igneous_rocks_i	701 - 800	TG	s. scale cropland				32	32	36	clay loam
3006	Desaules	1986	280700	9990300	1904	214	0.000	3		701 - 800	TG	s. scale cropland				34	30	36	clay loam
3007	Desaules	1986	288500	10001000	1976	50	0.020	5	Igneous_rocks_s	801 - 900	tC	Bushland							
3008	Desaules	1986	272400	9993400	1841	195	0.000	0	Igneous_rocks_s	701 - 800	G	s. scale cropland				38	32	30	clay loam
3009	Desaules	1986	301200	10008200	2185	229	0.030	1	Igneous_rocks_i	601 - 700	tC	s. scale cropland				37	25	48	clay
3010	Desaules	1986	285400	9982300	2100	295	0.180	5	Igneous_rocks_i	701 - 800	tC	s. scale cropland				36	28	36	clay loam
3011	Desaules	1986	286600	10002700	1933	343	0.000	2	Igneous_rocks_i	801 - 900	tC	s. scale cropland				38	24	52	clay
3012	Desaules	1986	299200	10008900	2099	182	0.130	5	Igneous_rocks_i	601 - 700	tCG	s. scale cropland							
3013	Desaules	1986																	
3014	Desaules	1980	282300	9999400	1914	328	0.000	2	Igneous_rocks_s	701 - 800	G	Shrub grassld				32	28	40	clay loam/clay
3015	Desaules	1980	284400	10000600	1936	264	0.000	2	Igneous_rocks_s	701 - 800	TG	Urban settlement				32	26	42	clay
3016	Desaules	1980	284400	9998400	1944	250	-0.020	2	Igneous_rocks_s	701 - 800	TG	L. scale cropld				30	18	52	clay
3017	Desaules	1980	283300	9995500	1934	254	0.000	2	Igneous_rocks_i	701 - 800	G	s. scale cropland				26	32	42	clay
3018	Desaules	1980	283400	9995300	1934	220	0.000	2	Igneous_rocks_i	701 - 800	G	s. scale cropland				12	38	50	clay
3019	Desaules	1980	281700	9997900	1904	309	0.000	3	Igneous_rocks_s	701 - 800	G	Bush grassland				40	20	40	clay loam/clay
3020	Desaules	1980	282300	9993800	1916	286	0.000	1	Igneous_rocks_i	701 - 800	TG	s. scale cropland				24	28	48	clay
3021	Desaules	1980	280500	9990400	1902	249	0.000	2		701 - 800	TG	s. scale cropland				28	22	58	clay
3022	Desaules	1980	280200	9990700	1892	283	-0.010	5		701 - 800	TG	s. scale cropland				32	24	44	clay
3023	Desaules	1980	281300	9997500	1906	319	0.000	1	Igneous_rocks_s	701 - 800	tCG	Bush grassland				30	28	42	clay
3024	Desaules	1981	288800	9983500	2217	356	0.000	4	Igneous_rocks_i	801 - 900	tCG	s. scale cropland							
3025	Desaules	1981	286800	9995500	2018	223	0.000	3	Igneous_rocks_i	801 - 900	TG	s. scale cropland				36	28	36	clay loam
3026	Desaules	1981	272600	9985200	1887	253	0.000	0	Igneous_rocks_s	701 - 800	G	Bushland							
3027	Desaules	1982	271700	9989500	1846	52	-0.010	1	Igneous_rocks_s	701 - 800	G	Grassland				30	30	40	clay loam/clay
3028	Desaules	1982	268700	9988800	1819	273	0.000	0	Igneous_rocks_s	701 - 800	tCG	Bushland				36	16	48	clay

SOTER			UTM		DTM				GIS				Fieldtest			Analysis			
Unit-ID	Author	Year	Longitude	Latitude	asl	Aspect	Curvature	Slope	Geol Value	Rainfall	Ldcov_1	Ldcov_2	Sand	Silt	Clay	Sand	Silt	Clay	Particle Size class
3029	Desaules	1982	273500	9993300	1831	1	0.000	2	Igneous_rocks_s	701 - 800	G	s. scale cropland				20	22	58	clay
3030	Desaules	1982	283700	9980000	2068	1	0.010	2	Igneous_rocks_i		Cveg					33	30	36	clay loam
3031	Desaules	1982	262700	9985600	1857	128	0.010	0	Igneous_rocks_s	701 - 800	TG	Bushland				20	26	54	clay
4001	Wanjogu		283434	10041780	1881	27	1.290	16	Basement	< 500	TGs	Shrubland				76	12	12	sandy loam
4002	Wanjogu		283233	10042181	1800	16	0.100	5	Basement	< 500	TGs	Shrubland				62	8	30	sandy clay loam
4003	Wanjogu		283632	10041592	1849	77	0.050	18	Basement	< 500	tGs	Shrubland				62	12	26	sandy clay loam
4004	Wanjogu		284128	10041400	1830	16	0.030	8	Basement	< 500	tGb	Shrubland				66	10	24	sandy clay loam
4005	Wanjogu		284056	10041779	1813	285	0.780	23	Basement	< 500	tRG	Shrubland				54	12	34	sandy clay loam
4006	Wanjogu		284008	10041443	1828	10	0.000	9	Basement	< 500	tG	Shrubland				64	6	30	sandy clay loam
4007	Wanjogu		283444	10042239	1791	21	0.000	11	Basement	< 500	TGs	Shrubland				50	14	36	sandy clay
4008	Wanjogu		283588	10043323	1820	156	0.250	5	Basement	< 500	tGb	Shrubland				62	18	20	sandy loam/sandy clay loam
4009	Wanjogu		283577	10042987	1800	153	0.250	7	Basement	< 500	tGb	Shrubland				62	10	28	sandy clay loam
4010	Wanjogu		284203	10043048	1762	125	0.040	7	Basement	< 500	TGs	Shrubland				72	10	18	sandy loam
4011	Wanjogu		284106	10042257	1776	341	0.070	6	Basement	< 500	tGb	Shrubland				74	14	12	sandy loam
4012	Wanjogu		284721	10043046	1745	172	0.000	5	Basement	< 500	tGb	Shrubland				76	10	14	sandy loam
4013	Wanjogu		283618	10042589	1763	114	-0.140	8	Basement	< 500	TGs	Shrubland				82	4	14	loamy sand
4014	Wanjogu		284438	10043283	1757	193	-0.020	2	Basement	< 500	TGs	Shrubland				72	8	20	sandy loam/sandy clay loam
4015	Wanjogu		254464	9990622	2104	128	-0.020	3	Igneous_rocks_b	801 - 900	G	Bushland				18	23	59	clay
4016	Wanjogu		254671	9990588	2080	87	-0.010	22	Igneous_rocks_b	801 - 900	G					14	12	74	clay
4017	Wanjogu		254845	9990572								Bushland				23	27	50	clay
4018	Wanjogu		255060	9990519	2030	102	0.020	9	Igneous_rocks_b	801 - 900	TG	Bushland				24	11	65	clay
4019	Wanjogu		255353	9990559	2010	124	0.020	6	Igneous_rocks_b	801 - 900	tCG	Bushland				14	21	65	clay
4020	Wanjogu		254454	9989874	2062	184	0.040	4	Igneous_rocks_b	801 - 900	tC	s. scale cropland				6	16	78	clay
4021	Wanjogu		254674	9989837	2056	102	0.080	7	Igneous_rocks_b	801 - 900	G	s. scale cropland				15	21	64	clay
4022	Wanjogu		254359	9990047	2073	182	0.000	5	Igneous_rocks_b	801 - 900	tCG	s. scale cropland				6	25	69	clay
4023	Wanjogu		254203	9989555	2065	155	0.020	1	Igneous_rocks_b	801 - 900	G	s. scale cropland				11	27	62	clay
4024	Wanjogu		254599	9989524	2052	54	0.020	10	Igneous_rocks_b	801 - 900	G	Bushland				11	22	67	clay
4025	Wanjogu		254962	9989477	2040	64	0.260	9	Igneous_rocks_b	801 - 900	tCG	Bushland				19	8	73	clay
4026	Wanjogu		255201	9989602	2013	10	0.090	7	Igneous_rocks_b	801 - 900	tCG	Bushland				11	21	68	clay
4027	Wanjogu		256489	9990470	1961	80	0.000	2	Igneous_rocks_b	801 - 900	TG	Bushland				20	13	67	clay
4028	Wanjogu		256357	9989686	1960	26	0.110	6	Igneous_rocks_b	801 - 900	TG	s. scale cropland				26	38	36	clay loam
4029	Wanjogu		255901	9989515	1992	19	0.020	8	Igneous_rocks_b	801 - 900	tCG	s. scale cropland				12	19	69	clay
4030	Wanjogu		256742	9990422	1935	116	0.010	5	Igneous_rocks_b	801 - 900	Td	Bushland				19	35	46	clay
4031	Wanjogu		256919	9989620	1941	86	-0.030	4	Igneous_rocks_b	801 - 900	TG	s. scale cropland				13	20	67	clay
4032	Wanjogu		256937	9989840	1940	29	-0.080	3	Igneous_rocks_b	801 - 900	TG	Bushland				19	29	52	clay
4033	Wanjogu		256537	9989696	1953	29	-0.010	4	Igneous_rocks_b	801 - 900	TG	s. scale cropland				10	21	69	clay

SOTER		UTM		DTM				GIS				Fieldtest			Analysis				
Unit-ID	Author	Year	Longitude	Latitude	asl	Aspect	Curvature	Slope	Geol Value	Rainfall	Ldcov_1	Ldcov_2	Sand	Silt	Clay	Sand	Silt	Clay	Particle Size class
4034	Wanjogu		256314	9990032	1939	105	-0.060	0	Igneous_rocks_b	801 - 900	Td	s. scale cropland				20	34	46	clay
4035	Wanjogu		255220	9989434	2017	72	-0.040	3	Igneous_rocks_b	801 - 900	tCG	Bushland				7	19	74	clay
4036	Wanjogu		254588	9989627	2047	72	-0.280	6	Igneous_rocks_b	801 - 900	tCG	s. scale cropland				41	23	36	clay loam
5031	Speck		288800	10003600	1982	302	0.010	0	Igneous_rocks_i	801 - 900	G	s. scale cropland				48	10	42	sandy clay
5034	Speck															34	30	36	clay loam
5035	Speck		306200	10000200	2598	214	-1.500	20	Igneous_rocks_b	801 - 900	Td	Forest				44	16	40	clay loam/clay
5041	Speck		309300	9994500	3403	322	0.040	10	Igneous_rocks_b	701 - 800	tG	Moorland				40	37	23	loam
5043	Speck		307600	9981600	3999	217	-1.750	27	Igneous_rocks_i	1001 - 1100	G	Moorland				74	22	4	sandy loam/loamy sand
5044	Speck		309400	9981900	4250	172	-0.390	57	Igneous_rocks_i	1001 - 1100	tRG	Moorland				47	42	11	loam
5045	Speck		306600	9981700	3920	11	0.190	16	Igneous_rocks_i	1001 - 1100	G	Moorland				46	32	12	loam
5052	Speck		331900	9978800	2435	39	0.000	13	Igneous_rocks_i		Td					38	40	22	loam
5053	Speck		336300	9975200					Igneous_rocks_i		Td					32	34	34	clay loam
5057	Speck		309900	9972600	3523	94	0.130	4	Igneous_rocks_i		G								
5058	Speck		309800	9969900					Igneous_rocks_i		Td					74	16	10	sandy loam
5061	Speck		316200	10006700	2703	314	0.000	9	Igneous_rocks_i	701 - 800	Cveg	L. scale cropld				24	54	22	silt loam
5062	Speck		309500	10010300	2360	358	-0.030	7	Igneous_rocks_i	601 - 700	G	s. scale cropland				18	36	48	clay
5063	Speck		304700	9982200	3630	223	-1.190	7	Igneous_rocks_i	1001 - 1100	G	Moorland							
5065	Speck		312100	9957100					Igneous_rocks_b		Td					52	30	18	loam/sandy loam
5066	Speck		289900	9994900	2132	290	0.000	3	Igneous_rocks_i	801 - 900	Tpd	Forest				40	26	34	clay loam
5069	Speck		284100	9996500	1954	294	0.000	1	Igneous_rocks_i	701 - 800	G	s. scale cropland				24	40	36	clay loam
5071	Speck		278700	9998200	1859	258	0.000	1	Igneous_rocks_s	601 - 700	G	Bush grassland				28	24	48	clay
5072	Speck		279700	9998400	1882	268	0.000	1	Igneous_rocks_s	601 - 700	G	Bush grassland				32	18	40	clay loam/clay
5073	Speck		292500	9991700	2275	335	0.030	9	Igneous_rocks_i	801 - 900	Tpd	s. scale cropland				48	22	30	sandy clay loam
5075	Speck		319600	9999800	3334	100	-0.010	13	Igneous_rocks_i	901 - 1000	G	Moorland				22	68	10	silt loam
5076	Speck		351500	9990500							tCG					16	16	68	clay
5077	Speck		342300	9971000					Igneous_rocks_i		Td					20	14	66	clay
5078	Speck		278500	9997300	1859	252	0.000	0	Igneous_rocks_s	701 - 800	G	Bush grassland				18	28	54	clay
5079	Speck		299500	9980900	2840	196	0.370	17	Igneous_rocks_i	> 1101	Go	Forest				32	28	40	clay loam/clay
5080	Speck		286700	9979700	2128	258	0.000	2	Igneous_rocks_i		TG					38	22	40	clay loam/clay
5082	Speck		289400	10004200	1982	23	0.010	0	Igneous_rocks_i	801 - 900	tC	s. scale cropland				40	28	32	clay loam
5083	Speck		279800	9991300	1884	213	0.000	1		701 - 800	TG	s. scale cropland				54	2	44	sandy clay
5086	Speck		279400	9998700	1880	270	0.010	1	Igneous_rocks_s	601 - 700	G	Grassland				28	30	42	clay
6314	Collier	1963	269200	9997000	1803	12	0.010	0	Igneous_rocks_s	701 - 800	TG	Shrub grassld				34	26	40	clay loam/clay
6336	Collier	1963	276600	9987300	1898	227	0.000	1	Igneous_rocks_s	701 - 800	TG	Bushland				46	24	30	sandy clay loam
6337	Collier	1963	274400	9989700	1857	210	0.000	0	Igneous_rocks_s	701 - 800	Td	Bushland				38	36	26	loam
6352	Collier	1963	289600	10000400	2007	255	0.000	3	Igneous_rocks_i	801 - 900	tCG	Bushland				40	22	38	clay loam

SOTER		UTM		DTM				GIS				Fieldtest			Analysis					
Unit-ID	Author	Year	Longitude	Latitude	asl	Aspect	Curvature	Slope	Geol	Value	Rainfall	Ldcov_1	Ldcov_2	Sand	Silt	Clay	Sand	Silt	Clay	Particle Size class
6365	Collier	1963	272100	10000600	1804	21	-0.010	1	Igneous_rocks_s	601 - 700	TG	Shrub grassld				50	22	28	sandy clay loam	
6371	Collier	1963	269500	10006500	1779	253	0.010	0	Igneous_rocks_s	601 - 700	tG	Shrub grassld				36	22	42	clay	
6443	Collier	1963	279300	10012800	1801	4	0.000	0	Igneous_rocks_s	601 - 700	TG	Shrub grassld				38	28	34	clay loam	
6451	Collier	1963	270300	9999700	1792	15	-0.010	2	Igneous_rocks_b	701 - 800	tCG	Shrub grassld							loam	
6454	Collier	1963	275300	9992300	1837	282	-0.030	1	Igneous_rocks_s	701 - 800	TG	s. scale cropland				32	28	40	clay loam/clay	
6463	Collier	1963	268500	10000300	1779	325	0.000	1	Igneous_rocks_b	701 - 800	Cveg	Shrub grassld				36	20	44	clay	
6466	Collier	1963	303900	10008300	2241	297	0.000	2	Igneous_rocks_b	601 - 700	G	s. scale cropland				36	24	40	clay loam/clay	
7001	Mainga et al	1994	301894	10008431	2200	276	0.040	4	Igneous_rocks_i	601 - 700	tC	s. scale cropland				34	20	46	clay	
7002	Mainga et al	1994	299881	10009460	2120	133	0.020	4	Igneous_rocks_i	601 - 700	TG	s. scale cropland				32	12	56	clay	
7003	Mainga et al	1994	301821	10008425	2192	284	-0.020	7	Igneous_rocks_i	601 - 700	TG	s. scale cropland				42	28	30	clay loam	
7004	Mainga et al	1994	300749	10009223	2155	337	-0.090	4	Igneous_rocks_i	601 - 700	tC	s. scale cropland				34	16	50	clay	
7005	Mainga et al	1994														44	16	40	clay loam/clay	
7006	Mainga et al	1994														34	16	50	clay	
7007	Mainga et al	1994														24	34	42	clay	
7008	Mainga et al	1994														54	8	38	sandy clay	
7009	Mainga et al	1994														44	24	32	clay loam	
7010	Mainga et al	1994	283570	10043337	1820	89	0.000	1	Basement	< 500	tGb	Shrubland				64	10	26	sandy clay loam	
7011	Mainga et al	1994	284501	10042733	1740	28	-0.160	3	Basement	< 500	tGb	Shrubland				76	2	22	sandy clay loam	
7012	Mainga et al	1994	284028	10042543	1756	52	-0.250	3	Basement	< 500	TGs	Shrubland				84	6	10	loamy sand	
7013	Mainga et al	1994	254848	9990558	2047	87	-0.030	9	Igneous_rocks_b	801 - 900	tCG	Bushland				30	2	68	clay	
7014	Mainga et al	1994	254203	9989585	2066	98	0.030	1	Igneous_rocks_b	801 - 900	G	s. scale cropland				32	22	46	clay	
7015	Mainga et al	1994	256640	9989715	1951	36	0.030	3	Igneous_rocks_b	801 - 900	tC	s. scale cropland				26	12	62	clay	
7016	Mainga et al	1994	256873	9989741	1944	71	0.030	3	Igneous_rocks_b	801 - 900	G	s. scale cropland				28	14	58	clay	
7017	Mainga et al	1994	314582	10002151	2968	22	0.140	7	Igneous_rocks_i	701 - 800	tC	Forest				53	42	2	sandy loam	
7018	Mainga et al	1994	314160	10003090	2880	313	-0.040	11	Igneous_rocks_b	701 - 800	tC	s. scale cropland				36	48	16	loam	
7019	Mainga et al	1994	312005	10005125	2651	304	0.000	11	Igneous_rocks_b	601 - 700	Cgrain	L. scale cropld				45	40	15	loam	
7020	Mainga et al	1994	312723	10004232	2729	341	-0.300	4	Igneous_rocks_i	601 - 700	Td	L. scale cropld				40	36	24	loam	
7021	Mainga et al	1994	309633	10003214	2672	326	0.020	8	Igneous_rocks_b	601 - 700	G	Forest				53	46	1	sandy loam	
7022	Mainga et al	1994	310121	10005161	2567	230	0.180	18	Igneous_rocks_i	601 - 700	tC	s. scale cropland				53	30	17	sandy loam	
7023	Mainga et al	1994	310915	10003179	2710	309	-0.010	7	Igneous_rocks_b	601 - 700	Td	Forest								
7024	Mainga et al	1994	294813	10008540	2008	10	-0.030	3	Igneous_rocks_i	701 - 800	tCG	s. scale cropland				31	22	47	clay	
7025	Mainga et al	1994	294715	10008330	2016	351	0.000	3	Igneous_rocks_i	701 - 800	tCG	Shrub grassld				26	28	46	clay	
7026	Mainga et al	1994	295718	10009464	2010	46	0.000	10	Igneous_rocks_s	701 - 800	tC	s. scale cropland				46	38	16	loam	
7027	Mainga et al	1994	284962	10039579	1796	120	0.070	7	Basement	< 500	TG	Shrubland				85	12	3	loamy sand	
7028	Mainga et al	1994	285260	10040487	1800	96	-0.010	13	Basement	< 500	tGb	Shrubland								
7029	Mainga et al	1994	291699	10036715	1800	84	-0.050	6	Basement	501 - 600	TGs	Shrubland				67	22	11	sandy loam	

SOTER			UTM		DTM				GIS				Fieldtest			Analysis			
Unit-ID	Author	Year	Longitude	Latitude	asl	Aspect	Curvature	Slope	Geol Value	Rainfall	Ldcov_1	Ldcov_2	Sand	Silt	Clay	Sand	Silt	Clay	Particle Size class
7030	Mainga et al	1994	291820	10037222	1796	116	0.010	6	Basement	501 - 600	tGb	Shrubland				62	16	22	sandy clay loam
7501	Mati		313029	10021229	2075	101	0.120	17	Igneous_rocks_s	701 - 800	Td	Forest				53	27	20	sandy loam/sandy clay loam
7502	Mati		328169	10020896	1720	0	-0.060	5	Igneous_rocks_b	601 - 700	tCG	Shrub grassld				47	35	18	loam
7503	Mati		299780	10008625	2128	290	0.020	5	Igneous_rocks_i	601 - 700	tC	s. scale cropland				52	30	18	loam/sandy loam
7504	Mati		311692	10004533	2684	358	0.000	4	Igneous_rocks_i	601 - 700	tC	L. scale cropld				49	33	18	loam
7505	Mati		311803	10004533	2685	6	0.090	6	Igneous_rocks_i	601 - 700	Cgrain	L. scale cropld				53	46	1	sandy loam
7506	Mati		361005	10018793	1402	12	-0.010	1	Igneous_rocks_b	> 1101	tCG	s. scale cropland				51	32	17	loam
7507	Mati		367349	10026088	1670	225	-0.010	22	Igneous_rocks_i	901 - 1000	tCG	Bushland				52	28	20	loam/sandy loam/sandy clay loam
7508	Mati		379370	10025203					Igneous_rocks_b							70	20	10	sandy loam
7509	Mati		379370	10025203	1811	144	-0.010	6	Igneous_rocks_b							63	28	9	sandy loam
7510	Mati		343531	10029960	1292	3	0.010	4	Igneous_rocks_b	601 - 700	TGs	Shrub grassld				45	39	16	loam
7511	Mati		331953	10014373	2054	5	-0.120	4	Igneous_rocks_i	801 - 900	Td	s. scale cropland				46	39	15	loam
7512	Mati		257137	9971686	2300	333	-0.190	11		801 - 900	Td	s. scale cropland				45	26	29	clay loam/sandy clay loam
7513	Mati		242994	9970688	2980	346	0.430	24		1001 - 1100	Go	Forest				56	31	13	sandy loam
7514	Mati		215593	9992588	2510	73	0.040	3		801 - 900	Cgrain	s. scale cropland				46	41	13	loam
7515	Mati		225062	9976990	2820	228	-0.540	31		901 - 1000	Td	Forest				68	25	7	sandy loam
7516	Mati		200443	9997123	2475	12	0.000	6		1001 - 1100	tC	s. scale cropland				52	29	19	loam/sandy loam
7517	Mati		230518	10011504	1918	93	0.000	0	Igneous_rocks_i	701 - 800	G	Bush grassland				47	35	18	loam
7518	Mati		232190	10021902	1858	101	0.000	0	Igneous_rocks_i	601 - 700	tG	Shrub grassld				50	35	15	loam
7519	Mati		312493	10097079	1165	152	0.000	4	Igneous_rocks_s	< 500	tGb	Shrubland				82	8	10	loamy sand
7520	Mati		309159	10107916	1307	76	0.030	2	Colluvium	501 - 600	tGb	Shrubland				88	5	7	loamy sand
7521	Mati		302930	10115660	1294	113	0.000	3		501 - 600	TGs	Shrubland				87	6	7	loamy sand
7522	Mati		306040	10104269	1239	113	0.000	1	Colluvium	501 - 600	tGb	Shrubland				84	8	8	loamy sand
7523	Mati		293905	10101732					Basement							70	15	15	sandy loam
7524	Mati		293905	10101732	1260	267	-0.320	7	Basement	< 500	TG	Shrubland				85	11	4	loamy sand
7525	Mati		277872	10096322	1301	180	0.010	3	Basement		TGs					84	10	6	loamy sand
7526	Mati		315281	10107581	1348	309	0.020	9	Colluvium	601 - 700	Td	Bushland				77	13	10	sandy loam
7527	Mati		290676	10100075	1181	182	0.000	2	Calcrete	< 500	tGb	Shrubland				76	10	14	sandy loam
7528	Mati		252680	9994470	1900	182	-0.020	16	Igneous_rocks_b	801 - 900	tC	s. scale cropland				44	28	28	clay loam
7529	Mati		245887	10000995	1982	319	0.000	1	Igneous_rocks_b	701 - 800	G	Shrub grassld				44	24	32	clay loam
7530	Mati		218604	10035069	1904	123	0.000	1	Igneous_rocks_i	701 - 800	TG	Bush grassland				44	19	37	clay loam
7531	Mati		210141	10043922	2009	138	0.000	3	Igneous_rocks_i	801 - 900	TG	s. scale cropland				47	26	27	sandy clay loam
7532	Mati		244335	10049111	1731	70	-0.010	3	Igneous_rocks_i	501 - 600	TG	Shrub grassld				46	23	31	sandy clay loam
7533	Mati		228963	10036283	1815	148	0.000	0	Calcrete	601 - 700	TG	Shrub grassld				49	26	25	sandy clay loam
7534	Mati		204679	10026000	2282	67	-0.030	9	Igneous_rocks_i	801 - 900	tCG	s. scale cropland				45	16	39	clay loam/sandy clay
7535	Mati		207795	10009293	2320	315	-0.410	20	Igneous_rocks_i	901 - 1000	Tpd	s. scale cropland				66	25	9	sandy loam

SOTER		UTM		DTM				GIS				Fieldtest			Analysis				
Unit-ID	Author	Year	Longitude	Latitude	asl	Aspect	Curvature	Slope	Geol Value	Rainfall	Ldcov_1	Ldcov_2	Sand	Silt	Clay	Sand	Silt	Clay	Particle Size class
7536	Mati		227622	9992035	2269	293	-0.080	8	Igneous_rocks_b	801 - 900	Td	Forest				48	27	25	sandy clay loam
7537	Mati		270945	10028201	1721	289	0.030	1	Basement	601 - 700	tGs	Shrub grassld				75	15	10	sandy loam
7538	Mati		258250	10026323	1787	13	0.000	1	Igneous_rocks_i	601 - 700	tG	Shrub grassld				51	31	18	loam
7539	Mati		265155	10031520	1722	7	-0.030	5	Basement	501 - 600	TG	Shrubland				70	13	17	sandy loam
7540	Mati		260482	10048553	1673	244	0.000	3	Basement	< 500	tGs	Shrub grassld				70	16	14	sandy loam
7541	Mati		249572	10057626	1836	121	0.000	1	Igneous_rocks_i	501 - 600	tG	Shrub grassld				56	26	18	sandy loam
7542	Mati		260158	10074101	1740	82	0.000	2	Igneous_rocks_i	< 500	TG	Bushland				54	28	18	sandy loam
7543	Mati		264170	10082505	1723	153	0.000	1	Igneous_rocks_i	< 500	G	Shrub grassld				57	24	19	sandy loam
7544	Mati		291657	10041246	1780	262	0.000	6	Basement	< 500	tGb	Shrubland				70	13	17	sandy loam
7545	Mati		274737	10056511	1740	295	-0.250	8	Basement	< 500	TG	Shrubland				80	11	9	loamy sand
7546	Mati		257246	10004977	1860	302	-0.040	1	Igneous_rocks_b	701 - 800	TG	Shrub grassld				45	20	35	clay loam/sandy clay loam/sandy clay
7547	Mati		243104	10012831	1904	74	0.010	2	Igneous_rocks_i	601 - 700	TG	Shrub grassld				44	24	32	clay loam
7548	Mati		238426	9995244	2142	230	-0.040	10	Igneous_rocks_b	701 - 800	G	Grassland				44	18	38	clay loam
7549	Mati		256801	9989272	1954	72	0.030	3	Igneous_rocks_b	801 - 900	tC	s. scale cropland				44	18	38	clay loam
7550	Mati		272613	9992812	1841	250	0.010	0	Igneous_rocks_s	701 - 800	G	s. scale cropland				47	28	25	loam/sandy clay loam
7551	Mati		263482	10003650	1808	165	0.000	3	Igneous_rocks_s	701 - 800	TG	Grassland				46	27	27	sandy clay loam
7552	Mati		275744	10070334	1523	35	-0.060	9	Basement	< 500	TGs	Shrubland				73	14	13	sandy loam
7553	Mati		281529	10056398	1843	286	0.000	1	Basement	< 500	TGs	Shrub grassld				65	16	19	sandy loam
7554	Mati		284643	10042353	1747	34	-0.130	4	Basement	< 500	TG	Shrubland				83	8	9	loamy sand
7555	Mati		308132	10033061	1828	21	0.130	9	Igneous_rocks_b	501 - 600	Td	Shrub grassld				47	25	28	sandy clay loam
7556	Mati		301787	10036379	1915	242	0.100	6	Igneous_rocks_s	501 - 600	TGs	Shrubland				65	17	18	sandy loam
7557	Mati		298783	10043346	2023	122	0.120	1	Igneous_rocks_s	501 - 600	tG	Shrubland				73	14	13	sandy loam
7558	Mati		303343	9981534	3533	238	0.170	15	Igneous_rocks_i	> 1101	G	Moorland				49	31	20	loam
7559	Mati		311915	9981756	4600	239	-0.790	58	Igneous_rocks_i	1001 - 1100	G	Moorland				80	12	8	loamy sand
7560	Mati		307462	9981092	4120	344	0.880	27	Igneous_rocks_i	1001 - 1100	tG	Moorland				52	38	10	loam/sandy loam
7561	Mati		301339	9981202	3057	311	0.280	12	Igneous_rocks_i	> 1101	Td	Forest				47	30	23	loam
7562	Mati		293323	9980759	2349	206	-1.260	12	Igneous_rocks_i	1001 - 1100	Td	Forest				46	31	23	loam
7563	Mati		350325	10057818	930	327	0.000	0	Colluvium	< 500	TGs	Shrubland				49	23	28	sandy clay loam
7564	Mati		353333	10070420	839	304	0.000	2	Igneous_rocks_b	< 500	TG	Shrub grassld				46	32	22	loam
7565	Mati		347211	10068542	869	145	0.000	4	Basement	< 500	TG	Shrubland				90	3	7	sand
7566	Mati		338973	10064233	876	236	0.000	6	Basement	< 500	TG	Shrub grassld				89	4	7	sand
7567	Mati		347543	10061467	894	17	0.000	1	Colluvium	< 500	TGs	Shrubland				58	21	21	sandy clay loam
7568	Mati		279851	10014487	1787	44	0.000	0	Igneous_rocks_s	601 - 700	TG	Shrub grassld				44	17	39	clay loam
7569	Mati		283638	10027978	1802	300	-0.040	2	Basement	501 - 600	TG	Bush grassland				46	27	27	sandy clay loam
7570	Mati		292099	10021895	2060	96	-0.090	10	Basement	601 - 700	G	Bush grassland				60	20	20	sandy loam/sandy clay loam
7571	Mati		295772	10009067	2030	304	0.020	4	Igneous_rocks_i	701 - 800	tCG	s. scale cropland				44	17	39	clay loam

SOTER		UTM		DTM				GIS				Fieldtest			Analysis				
Unit-ID	Author	Year	Longitude	Latitude	asl	Aspect	Curvature	Slope	Geol Value	Rainfall	Ldcov_1	Ldcov_2	Sand	Silt	Clay	Sand	Silt	Clay	Particle Size class
7572	Mati		324939	10013046	2411	356	0.050	8	Igneous_rocks_i	701 - 800	Cveg	L. scale cropld				44	19	37	clay loam
7573	Mati		313918	10002985	2888	343	0.030	9	Igneous_rocks_i	701 - 800	tC	s. scale cropland				44	29	27	loam/clay loam
7574	Mati		298778	10004755	2187	310	0.020	2	Igneous_rocks_i	701 - 800	TG	L. scale cropld				44	20	36	clay loam
7575	Mati		286865	9996572	2017	271	0.010	2	Igneous_rocks_i	801 - 900	tCG	s. scale cropland				44	27	29	clay loam
7576	Mati		337186	10032614	1266	23	0.010	6	Igneous_rocks_b	501 - 600	TG	Shrub grassld				44	31	25	loam
7577	Mati		341307	10043558	1050	70	0.000	2	Calcrete	501 - 600	TGs	Shrub grassld				47	45	9	loam
7578	Mati		336962	10020011	1783	74	0.040	4	Igneous_rocks_b	701 - 800	tCG	s. scale cropland				44	38	18	loam
7579	Mati		272057	9977882	1941	16	0.000	0		601 - 700	G	Grassland				44	38	18	loam
7580	Mati		236533	9982744	2400	93	0.000	37		901 - 1000	Td	Forest				44	39	17	loam
7581	Mati		249006	9980091	2276	74	0.070	8		801 - 900	Td	Forest				47	40	13	loam
7582	Mati		212808	9987056	2327	11	0.000	1		801 - 900	tCG	Grassland				44	39	17	loam
7583	Mati		232414	9973341	3300	264	-0.020	20		1001 - 1100	tG	Moorland				45	28	27	loam/clay loam/sandy clay loam
8194	Kisinyo	1994														32	41	27	loam/clay loam
8195	Kisinyo	1994														38	48	14	loam
8196	Kisinyo	1994														38	48	14	loam
8201	Kisinyo	1994	314499	10001847	2988	325	-0.080	11	Igneous_rocks_b	701 - 800	Cgrain	Forest				44	40	16	loam
8202	Kisinyo	1994														40	46	14	loam
8203	Kisinyo	1994	310809	10003187	2708	340	0.120	6	Igneous_rocks_b	601 - 700	Td	Forest				24	46	30	clay loam
8209	Kisinyo	1994	304519	10009948	2197	337	-0.050	1	Igneous_rocks_b	601 - 700	Td	Forest				34	40	26	loam
8213	Kisinyo	1994														28	54	18	silt loam
8216	Kisinyo	1994														20	34	46	clay
8221	Kisinyo	1994														34	30	36	clay loam
8224	Kisinyo	1994														16	46	38	silty clay loam
8228	Kisinyo	1994														20	24	56	clay
8230	Kisinyo	1994														26	44	30	clay loam
9001	others		295584	10009361	2021	64	0.000	2	Igneous_rocks_i	701 - 800	G	s. scale cropland				22	21	57	clay
9002	others		272356	9993033	1840	250	0.020	0	Igneous_rocks_s	701 - 800	G	s. scale cropland				36	23	41	clay
9003	others																		
9004	others		300617	10008436	2165	232	-0.020	5	Igneous_rocks_i	601 - 700	G	s. scale cropland				22	18	60	clay
9005	others															30	26	44	clay
9006	others															28	20	52	clay
9007	others															16	30	54	clay
9008	others		311735	10004749	2667	37	0.150	18	Igneous_rocks_i	601 - 700	tC	L. scale cropld				30	36	34	clay loam
9009	others		313821	10003256	2865	331	0.190	12	Igneous_rocks_i	701 - 800	tC	s. scale cropland							
9010	others																		
10001	Okoth	1991	225219	10118588							no data					22	24	54	clay

SOTER			UTM		DTM				GIS				Fieldtest			Analysis			
Unit-ID	Author	Year	Longitude	Latitude	asl	Aspect	Curvature	Slope	Geol Value	Rainfall	Ldcov_1	Ldcov_2	Sand	Silt	Clay	Sand	Silt	Clay	Particle Size class
10002	Okoth	1991	225108	10119141							no data					20	26	54	clay
10003	Okoth	1991	225997	10116375							no data					24	38	38	clay loam
10004	Okoth	1991	225885	10116043							no data					20	18	62	clay
10005	Okoth	1991	226443	10117039							no data					24	40	36	clay loam
11001	Eki./Kin.	1984	230852	9995354	2166	334	-0.010	7	Igneous_rocks_b	801 - 900	TG	Shrub grassld				30	26	44	clay
11002	Eki./Kin.	1984	229850	9994137	2214	335	0.030	4	Igneous_rocks_b	801 - 900	TG	Shrub grassld				24	22	54	clay
11003	Eki./Kin.	1984	232300	9994912	2145	117	0.000	2	Igneous_rocks_b	801 - 900	G	Grassland				32	26	42	clay
11004	Eki./Kin.	1984	232189	9994027	2155	29	0.000	1	Igneous_rocks_b	801 - 900	TG	Grassland				22	32	46	clay
11005	Eki./Kin.	1984	233859	9993916	2145	7	0.000	4	Igneous_rocks_b	801 - 900	TG	Grassland				16	16	18	silt loam
11006	Eki./Kin.	1984	235196	9993363	2185	17	0.030	1	Igneous_rocks_b	801 - 900	TG	Shrub grassld				40	32	28	clay loam
11007	Eki./Kin.	1984	236421	9996792	2105	144	0.030	3	Igneous_rocks_b	701 - 800	G	Grassland				28	28	44	clay
11008	Eki./Kin.	1984	235195	9996571	2131	56	0.000	1	Igneous_rocks_b	701 - 800	G	Shrub grassld				24	28	48	clay
11009	Eki./Kin.	1984	235195	9995133	2161	337	0.010	1	Igneous_rocks_b	801 - 900	G	Bushland				22	12	66	clay
12001	van Engelen	1983	236542	10055307	1899	88	0.000	1	Igneous_rocks_i	601 - 700	G	Shrub grassld							
12002	van Engelen	1983	258814	9944700	2170	341	-0.960	67											
12003	van Engelen	1983	195765	10014716	1782	313	0.000	3	Calcrete		TG								
13001	Ekirapa	1983	264391	10079297	1716	329	0.010	1	Igneous_rocks_i	< 500	TGs	Scarpine shrubs				20	28	52	clay
13002	Ekirapa	1983	255158	10095892	1744	261	0.000	1	Igneous_rocks_i		TGs					44	20	36	clay loam
13003	Ekirapa	1983	242125	10088489	1792	270	0.000	2	Basement		no data					38	22	40	clay loam/clay
13004	Ekirapa	1983	258827	10084830	1783	104	0.010	2	Igneous_rocks_i		TGs					28	8	54	clay
13005	Ekirapa	1983	242121	10079308	1815	224	0.000	0	Igneous_rocks_i		no data					24	16	60	clay
13006	Ekirapa	1983	255150	10081071	1800	134	0.000	0	Igneous_rocks_i	< 500	G	Grassland				40	32	28	clay loam
13007	Ekirapa	1983	245910	10084837	1813	170	0.000	0	Colluvium		TGs					20	12	68	clay
1504B	Bin/Led	2002	269551	10027094	1741	16	0.000	0	Basement	601 - 700	TG	Shrub grassld	50	25	25	66	4	30	sandy clay loam
1513B	Bin/Led	2002	283639	10074975	1271	114	0.000	0	Colluvium	< 500	TGs	Shrubland	40	30	30	67	14	19	sandy loam
1514B	Bin/Led	2002	291191	10078307	1161	24	0.000	0	Basement	< 500	tGb	Shrubland	45	45	10	80	6	14	sandy loam
1515B	Bin/Led	2002	290541	10080369	1143	140	0.000	2	Basement	< 500	tGb	Shrubland	50	40	10	76	9	15	sandy loam
1523B	Bin/Led	2002	283508	10098009	1251	262	0.000	1	Basement	< 500	TGs	Shrubland	50	40	10	84	4	12	loamy sand
1532B	Bin/Led	2002	309742	10106047	1311	80	-0.010	1	Colluvium	501 - 600	tGb	Shrubland	60	25	15	77	4	19	sandy loam
1533B	Bin/Led	2002	311307	10100954	1235	172	0.000	3	Colluvium	501 - 600	tGb	Shrubland	35	30	35	44	16	40	clay loam/clay
1534B	Bin/Led	2002	310754	10103196	1271	137	-0.010	2	Igneous_rocks_b	501 - 600	TGs	Shrubland	55	25	20	78	7	15	sandy loam
1538B	Bin/Led	2002	296785	10075386	1129	69	0.000	2	Basement	< 500	tGb	Shrubland	35	45	20	83	2	14	sandy loam
1543B	Bin/Led	2002	317494	10058488	973	64	0.000	2	Calcrete	< 500	tGb	Shrubland	30	60	10	74	18	8	sandy loam
1544B	Bin/Led	2002	322071	10052863	1058	53	-0.020	1	Igneous_rocks_b	< 500	TGs	Shrub grassld	30	50	20	57	29	14	sandy loam
1545B	Bin/Led	2002	236351	10048188	1881	107	0.000	1	Igneous_rocks_i	601 - 700	tG	Shrub grassld	30	50	20	70	8	22	sandy clay loam
1553B	Bin/Led	2002	263884	10035873	1802	42	-0.010	6	Igneous_rocks_i	501 - 600	TG	Shrub grassld	10	60	30				

SOTER		UTM		DTM				GIS				Fieldtest			Analysis				
Unit-ID	Author	Year	Longitude	Latitude	asl	Aspect	Curvature	Slope	Geol Value	Rainfall	Ldcov_1	Ldcov_2	Sand	Silt	Clay	Sand	Silt	Clay	Particle Size class
1554B	Bin/Led	2002	262473	10034909	1810	158	0.000	0	Igneous_rocks_i	501 - 600	TG	Shrub grassld	5	60	35	33	20	47	clay
1555B	Bin/Led	2002	260721	10037261	1803	46	0.000	1	Igneous_rocks_i	501 - 600	TG	Shrub grassld	5	50	45	30	8	62	clay
1557B	Bin/Led	2002	260283	10040645	1794	39	0.010	4	Igneous_rocks_i	< 500	tG	Shrub grassld	10	55	35	30	14	56	clay
1560B	Bin/Led	2002	262309	10042617	1682	66	0.000	2	Colluvium	< 500	TG	Shrub grassld	30	60	10	75	11	14	sandy loam
1562B	Bin/Led	2002	263073	10039378	1769	4	0.010	4	Igneous_rocks_i	< 500	G	Shrub grassld	5	55	40	43	10	47	clay
1563B	Bin/Led	2002	263327	10036774	1795	2	0.000	3	Igneous_rocks_i	501 - 600	TG	Shrub grassld	10	60	30	53	13	34	sandy clay loam
1568B	Bin/Led	2002	251542	9995049	2002	77	0.000	1	Igneous_rocks_b	801 - 900	G	Bushland	15	60	25	25	14	61	clay
1569B	Bin/Led	2002	250074	9995453	2018	127	0.000	1	Igneous_rocks_b	801 - 900	G	Shrub grassld	15	67	18	43	8	49	clay
1570B	Bin/Led	2002	244099	9992268	2094	51	0.000	1	Igneous_rocks_b	801 - 900	G	Grassland	10	65	25	33	22	45	clay
1574B	Bin/Led	2002	224815	10004035	2140	61	0.000	1	Igneous_rocks_i	801 - 900	Cveg	Grassland	10	80	10	34	34	32	clay loam
1579B	Bin/Led	2002	207988	9987961	2370	77	0.000	1		801 - 900	tCG	s. scale cropland	10	55	35	52	25	23	sandy clay loam
1587B	Bin/Led	2002	212306	10026559	2028	315	0.000	2	Igneous_rocks_i	701 - 800	TG	s. scale cropland	15	70	15	36	16	48	clay
1588B	Bin/Led	2002	221214	10027026	1924	127	0.000	1	Igneous_rocks_i	701 - 800	TG	Bush grassland	15	60	25	42	15	43	clay
1590B	Bin/Led	2002	226878	10031372	1836	153	0.000	2	Igneous_rocks_i	601 - 700	G	Shrub grassld	20	65	15	54	20	26	sandy clay loam
1591B	Bin/Led	2002	232154	10036572	1800	136	-0.080	8	Igneous_rocks_i	601 - 700	G	Swamp	15	60	25	28	29	43	clay
1592B	Bin/Led	2002	236408	10040349	1798	119	-0.100	2	Igneous_rocks_i	501 - 600	tCG	Shrub grassld	15	60	25	48	17	35	sandy clay loam/sandy clay
1593B	Bin/Led	2002	241467	10048467	1767	33	0.000	1	Igneous_rocks_i	501 - 600	tG	Scarpine shrubs	15	60	25	43	18	39	clay loam
1594B	Bin/Led	2002	236837	10055499	1899	176	0.000	2	Igneous_rocks_i	601 - 700	G	Shrub grassld	25	45	30	52	9	39	sandy clay
1595B	Bin/Led	2002	240681	10056994	1884	166	0.000	0	Igneous_rocks_i	601 - 700	tG	Shrub grassld	15	60	25	53	16	31	sandy clay loam
1597B	Bin/Led	2002	244502	10056893	1864	171	0.000	1	Igneous_rocks_i	501 - 600	G	Shrub grassld	15	55	30	55	16	29	sandy clay loam
1598B	Bin/Led	2002	250831	10062995	1844	112	0.000	1	Igneous_rocks_i	501 - 600	G	Grassland	25	50	25	51	16	33	sandy clay loam
1599B	Bin/Led	2002	256110	10071596	1754	214	0.000	0	Igneous_rocks_i	< 500	G	Shrub grassld	10	65	25	45	24	31	sandy clay loam/clay loam
1601B	Bin/Led	2002	254288	10067610	1753	354	-0.010	2	Igneous_rocks_i	< 500	TG	Shrub grassld	5	60	35	39	14	47	clay
1602B	Bin/Led	2002	246962	10055219	1841	203	0.000	0	Igneous_rocks_i	501 - 600	G	Grassland	5	70	25	44	15	41	clay
1608B	Bin/Led	2002	236560	10015353	1900	263	-0.010	0	Igneous_rocks_b	601 - 700	TG	Shrub grassld	5	70	25	31	20	49	clay
1610B	Bin/Led	2002	246143	10009256	1901	151	0.000	1	Igneous_rocks_b	601 - 700	TG	Shrub grassld	5	70	25	34	24	42	clay
1611B	Bin/Led	2002	255376	10011456	1844	183	0.000	0	Igneous_rocks_s	601 - 700	tG	Grassland	2	75	23	38	25	37	clay loam
1623B	Bin/Led	2002	290597	9980926	2254	265	0.000	5	Igneous_rocks_i	901 - 1000	G	Forest	5	65	30	31	36	33	clay loam
1647B	Bin/Led	2002	315369	10009952	2533	338	0.010	6	Igneous_rocks_i	701 - 800	Cgrain	L. scale cropld	5	80	15	29	38	33	clay loam
1650B	Bin/Led	2002	336105	10024868	1592	24	0.030	5	Igneous_rocks_b	601 - 700	TG	s. scale cropland	10	60	30	43	18	39	clay loam
1653B	Bin/Led	2002	344819	10036700	1136	52	0.000	1	Igneous_rocks_b	601 - 700	TGs	Shrub grassld	15	80	5	21	26	53	clay
1654B	Bin/Led	2002	349189	10034887	1151	347	0.010	1	Igneous_rocks_b	601 - 700	TGs	Shrub grassld	25	70	5	31	18	51	clay
1655B	Bin/Led	2002	352989	10032522	1172	26	-0.010	2	Igneous_rocks_b	701 - 800	TGs	Shrub grassld	25	70	5	32	27	41	clay
1662B	Bin/Led	2002	354046	10018502	1403	61	0.010	3	Igneous_rocks_b	1001 - 1100	tCG	s. scale cropland	15	75	10	31	19	50	clay
1668B	Bin/Led	2002	309814	10021413	2143	8	0.030	2	Igneous_rocks_b	601 - 700	tG	Bush grassland	?	?	5	34	13	53	clay
1670B	Bin/Led	2002	310440	10028019	1952	281	0.000	1	Igneous_rocks_b	601 - 700	TG	Shrub grassld	30	60	10	43	14	43	clay

SOTER			UTM		DTM				GIS				Fieldtest			Analysis			
Unit-ID	Author	Year	Longitude	Latitude	asl	Aspect	Curvature	Slope	Geol Value	Rainfall	Ldcov_1	Ldcov_2	Sand	Silt	Clay	Sand	Silt	Clay	Particle Size class
1674B	Bin/Led	2002	308310	10033507	1760	278	-0.230	9	Basement	501 - 600	Td	Forest	7	8	85	73	10	17	sandy loam
1674C	Bin/Led	2002	308385	10033363	1763	268	-1.300	5	Basement	501 - 600	tRG	Forest	7	8	85	73	10	17	sandy loam
1677B	Bin/Led	2002	303229	10035038	1971	63	-0.050	8	Basement	601 - 700	TGs	Shrubland	25	35	40	69	6	25	sandy clay loam

SOTER Unit-ID	Munsell Color Chart		Vegetation					pH- Value			Nutrient Exch.				Fieldtest			Analysis		Film	Foto
	moist	dry	Trees	Shrubs	Grasses	Forbs	Code	H2O	KCl	Hellige	Ca	Mg	Na	K	CEC	Tot C	Tot N	O.M.	O.M.	No.	No.
1001	5YR3/1							5.3			3.40	0.68	0.33	0.52	38.80	6.87	0.71		11.82		
1002	10YR2/2																		0.00		
1003	7.5YR3/2	10YR4/3						6.8			5.80	1.90	0.20	0.20	11.00	0.87	0.09		1.50		
1004	10R3/3	2.5YR3/4						6.6			10.80	8.20	0.13	0.90	32.00	2.63	0.25		4.52		
1005	10YR2/2	10YR3/3						6.9			9.90	3.90	0.01	1.20	23.00	1.70	0.15		2.92		
1006	2.5YR2,5/2	5YR3/3						7.3			28.70	3.90	0.40	1.50	29.00	3.80	0.38		6.54		
1007	7.5YR3/2	7.5YR3/2						6.4			23.70	8.93	0.33	0.64	29.60	1.86	0.13		3.20		
1008	7.5YR3/2	7.5YR5/4						6.8			11.90	4.58	0.21	2.33	18.70	2.97	0.21		5.11		
1009	5YR3/3	7.5YR4/6						6.8			4.90	1.90	0.03	1.40	8.00	0.80	0.09		1.38		
1010	5YR3/4	5YR4/4																			
1011	7.5YR2/2	10YR5/4						6.6			8.90	3.33	0.33	2.13	24.00	1.57	0.29		2.70		
1012	10YR2/2	10YR4/3						6.7			15.70	5.40	0.26	3.00	25.90	2.43	0.21		4.18		
1013	7.5YR3/2	7.5YR3/4						6.7			10.10	3.50	0.30	3.90	20.00	1.10	0.12		1.89		
1014	7.5YR3/2	7.5YR4/6						7.0			4.10	1.70	0.15	1.30	8.00	0.86	0.08		1.48		
1015	7.5YR3/2	10YR3/6						6.6			6.40	2.60	0.13	1.50	13.00	0.68	0.08		1.17		
1016	10YR2/2	10YR3/2						6.9			22.00	5.50	0.35	4.50	32.00	1.85	0.22		3.18		
1017	2.5YR2,5/4	5YR4/6																			
1018	10YR2/2	10YR3/2						7.0			22.00	9.20	4.70	4.10	34.00	1.87	0.19		3.22		
1019	10YR2/1							5.6	4.5		15.30	7.00	0.82	1.55	42.50	6.43	0.67		11.06		
1020	10YR2/2							5.6	4.9		16.30	7.40	0.86	4.30	45.00	3.29	0.43		5.66		
1021	10YR2/2							5.9	5.0		14.50	5.40	0.65	2.33	29.00	2.16	0.26		3.72		
1022	10YR3/3							5.3	4.4		7.50	3.80	0.62	2.35	31.00	2.03	0.20		3.49		
1023	10YR3/1							5.6	4.5		13.10	5.40	0.52	3.23	38.50	2.38			4.09		
1501	5YR4/2	5YR3/2	5	40	30		10 tG				16.85	4.37	0.60	4.50	24.00	3.75	0.43 h3		6.45	52.00	87.00
1502	10YR3/2	10YR4/3	0	5	60		5 G				11.85	4.79	Trace	6.50	10.60	2.30	0.27 h2		3.96	52.00	88.00
1503	2.5YR2,5/1	2.5YR3/2	10	30	70		10 tG				14.35	3.96	0.40	3.75	21.00	4.13	0.41 h3-h4		7.10	43.00	51.00
1504	10YR3/1	10YR3/2	0	50	50		10 TGs				13.10	4.37	0.40	5.00	23.20	1.40	0.29 h3		2.41	43.00	52.00
1505	7.5YR3/3	7.5YR4/4	0	60	15		10 TGs				10.10	3.54	0.40	3.75	19.40	2.11	0.28 h2		3.63	43.00	53.00
1506	10YR3/2	10YR4/3	50	30	25		40 TGs				8.35	3.54	0.05	3.75	18.40	3.57	0.38		6.14	43.00	54.00
1507	7.5YR3/2	7.5YR4/4	0	30	50		15 TG				15.85	3.54	0.05	5.00	26.80	5.44	0.57 h2		9.36	43.00	55.00
1508	7.5YR3/3	7.5YR4/4	0	30	40		20 TGs				7.10	2.71	0.05	4.50	20.60	1.21	0.21 h1		2.08	43.00	56.00
1509	7.5YR3/1	7.5YR4/4	0	50	25		10 TGs				6.60	2.29	Trace	3.00	18.80	1.29	0.25 h1		2.22	43.00	57.00
1510	5YR3/3	5YR3/4	0	45	30		25 TGs			5.0	6.60	3.54	0.05	2.00	19.40	1.36	0.20 h1		2.34	43.00	58.00
1511	7.5YR4/3	7.5YR4/4	0	40	10		20 TGs			4.5	6.10	3.12	0.40	1.00	15.20	1.06	0.11 h1		1.82	43.00	59.00
1512	7.5YR3/4	7.5YR4/6	5	60	15		5 Td			6.0	4.10	1.46	Trace	1.00	9.00	0.16	0.15 h0		0.28	43.00	60.00
1513	7.5YR3/3	7.5YR4/6	0	70	10		20 Td			5.5	7.10	3.96	0.05	1.00	17.80	0.19	0.15		0.33	43.00	61.00

SOTER Unit-ID	Munsell Color Chart		Vegetation					pH- Value			Nutrient Exch.				Fieldtest			Analysis	Film	Foto	
	moist	dry	Trees	Shrubs	Grasses	Forbs	Code	H2O	KCl	Hellige	Ca	Mg	Na	K	CEC	Tot C	Tot N	O.M.	O.M.	No.	No.
1514	5YR3/4	5YR4/6	0	35	20	40	TGs			5.5	6.35	2.71	Trace	2.50	18.60	0.54	0.14		0.93	43.00	62.00
1515	5YR3/4	5YR4/6	0	40	30	30	TGs			4.0	3.10	1.46	Trace	4.50	12.40	0.80	0.14	h1	1.38	43.00	63.00
1516	5YR3/4	5YR4/6	0	30	40	40	TGs			4.5	3.10	3.54	Trace	2.00	15.20	0.50	0.14	h1	0.86	43.00	64.00
1517	10YR3/3	10YR4/4	30	60	20	10	Td			6.0	7.10	1.87	0.40	1.00	15.00	0.72	0.14	h1	1.24	43.00	65.00
1518	10YR3/3	10YR4/6	0	80	10	30	Td			5.5	3.85	1.87	Trace	1.00	9.00	0.54	0.13	h1	0.93	-	-
1519	7.5YR3/4	7.5YR4/6	0	60	10	30	Td			5.5	3.85	3.12	0.05	2.50	13.80	0.87	0.15	h1	1.50	43.00	66.00
1520	5YR3/4	5YR4/6	0	30	10	50	TGs			4.0	7.60	2.71	0.40	2.50	19.00	0.69	0.15	h1	1.19	43.00	67.00
1521	5YR3/3	5YR4/6	0	30	10	50	TGs			4.0	6.35	1.87	0.45	1.75	13.80	0.57	0.15	h1	0.98	43.00	67.00
1522	5YR3/4	5YR4/6	0	30	10	50	TGs			4.0	3.35	1.87	Trace	2.50	10.00	0.84	0.08	h1	1.44	43.00	67.00
1523	5YR3/4	5YR4/6	0	40	30	40	TGs			4.5	4.10	1.87	0.05	2.00	7.50	0.80	0.25		1.38	43.00	68.00
1524	10YR4/3	10YR5/3	5	35	30	30	TGs			8.0	43.10	11.05	0.50	5.00	13.90	1.14	0.24	h3	1.96	43.00	69.00
1525	10YR3/2	10YR4/2	20	50	25	30	TG			8.0	29.10	7.71	0.50	4.75	18.20	1.14	0.15	h3	1.96	43.00	70.00
1526	5YR3/4	5YR4/6	0	50	10	10	TGs			4.5	5.85	2.29	0.05	4.75	14.00	0.69	0.11	h1	1.19	43.00	71.00
1527	7.5YR3/3	7.5YR4/4	0	80	30	40	Td			5.5	5.10	1.46	Trace	2.50	14.80	0.61	0.15	h1	1.05		
1528	2.5Y3/2	2.5Y5/4	0	80	30	40	Td			5.5	4.60	1.46	Trace	1.00	26.80	0.95	0.13	h2	1.63		
1529	10YR4/3	10YR5/4	0	60	20	30	Td			5.5	3.10	3.12	Trace	0.60	16.80	0.57	0.13	h1	0.98		
1530	7.5YR3/3	7.5YR4/4	20	50	45	40	Td			6.5	9.85	1.87	0.05	3.75	21.60	1.73	0.21	h3	2.98	43.00	72.00
1531	5YR3/4	5YR4/6	0	30	25	30	TGs			5.0	3.10	1.87	Trace	2.00	13.80	0.46	0.14	h1	0.79	43.00	73.00
1532	5YR4/4	5YR4/6	0	50	15	15	TGs			5.6	2.85	1.87	Trace	2.50	19.00	0.61	0.20	h1	1.05	43.00	74.00
1533	5YR3/4	5YR4/6	0	40	20	45	TGs			5.0	4.35	3.54	Trace	3.75	25.40	1.17	0.20	h1	2.01	43.00	75.00
1534	2.5YR2.5/4	2.5YR4/8	0	40	20	35	TGs			5.0	1.60	1.46	Trace	2.50	15.00	0.69	0.13	h1	1.19		
1535	7.5YR2.5/3	7.5YR4/6	0	35	30	10	TG(s)			5.5	5.35	3.54	Trace	4.00	20.40	1.36	0.21	h1	2.34	43.00	76.00
1536	7.5YR3/4	7.5YR4/6	0	50	15	20	TGs			5.0	3.35	2.29	0.05	4.50	23.80	1.40	0.18	h1	2.41	43.00	77.00
1537	2.5YR2.5/4	2.5YR3/6	0	30	5	40	TGs			5.0	2.60	2.71	Trace	1.75	18.80	0.50	0.08	h1	0.86	43.00	79.00
1538	5YR3/4	5YR4/6	0	50	15	10	TGs			5.0	3.35	2.29	Trace	4.75	20.40	0.31	0.17	h1	0.53	43.00	80.00
1539	2.5Y4/2	2.5Y4/2	20	20	10	20	tGs			8.0	20.60	2.29	Trace	1.00	12.60	0.80	0.15	h1	1.38	43.00	81.00
1540	5YR3/4	5YR4/6	0	55	5	5	Td			5.5	3.10	2.29	Trace	2.50	15.20	0.50	0.10	h1	0.86		
1541	5YR3/4	5YR4/6	0	60	20	15	Td			5.5	2.85	2.71	Trace	2.50	13.20	0.39	0.18	h1	0.67	43.00	82.00
1542	2.5Y4/2	2.5Y5/4	0	50	30	50	Td			7.0	13.35	1.87	Trace	1.75	14.80	0.72	0.15	h1	1.24	43.00	83.00
1543	10YR5/4	10YR7/3	0	30	40	5	TG(s)			8.0	48.85	8.13	1.00	1.75	32.40	0.87	0.24	h0	1.50	43.00	84.00
1544	2.5Y3/2	2.5Y5/3	0	30	35	15	TG(s)			8.0	28.35	2.29	0.05	3.50	14.80	0.84	0.17	h2	1.44	43.00	85.00
1545	7.5YR2.5/3	7.5YR4/6	0	40	35	20	TG(s)			5.0	3.85	1.87	0.60	1.75	16.40	0.76	0.18	h2	1.31	43.00	86.00
1546	7.5YR3/2	7.5YR4/2	0	50	10	5	Td			8.0	43.35	3.54	0.40	5.00	21.20	3.31	0.34	h2	5.69	43.00	87.00
1547	5YR2.5/2	5YR4/2	5	30	45	5	TGs			7.5	47.35	5.21	0.50	5.50	37.80	1.02	0.22	h2	1.75	43.00	88.00
1548	7.5YR3/3	7.5YR3/3	0	40	25	35	TGs			5.5	21.35	6.88	0.05	2.00	40.80	1.40	0.13	h3	2.41	48.00	51.00
1549	2.5Y2.5/1	2.5YR3/1	0	20	35	5	tCG			7.0	35.85	11.88	5.00	3.50	63.20	1.21	0.17	h3	2.08	48.00	52.00

SOTER Unit-ID	Munsell Color Chart		Vegetation					pH- Value			Nutrient Exch.				Fieldtest			Analysis	Film	Foto		
	moist	dry	Trees	Shrubs	Grasses	Forbs	Code	H2O	KCl	Hellige	Ca	Mg	Na	K	CEC	Tot C	Tot N	O.M.	O.M.	No.	No.	
1550	7.5YR3/2	7.5YR3/3	10	50	40		Td			5.0	7.85	5.21	Trace	3.75	21.40	2.63	0.21	h2		4.52	48.00	53/54
1551	7.5YR2.5/2	7.5YR3/3	0	0	70		G/ Cveg			4.5	5.60	3.12	0.05	5.50	22.60	2.90	0.27	h3		4.99	48.00	55.00
1552	5YR3/3	5YR4/6	0	40	40		TG			5.0	2.60	2.29	Trace	2.50	10.20	1.02	0.18	h1		1.75	48.00	56.00
1553	7.5YR3/4	7.5YR4/6	0	35	15		TGs			4.0								h1				
1554	2.5Y2.5/1	2.5Y4/2	0	40	70		TG			5.5	12.10	5.63	0.05	6.50	35.80	2.60	0.27	h3		4.47	48.00	57.00
1555	2.5Y3/1	2.5Y4/1	0	45	70		TG			6.0	29.35	5.63	2.35	3.75	47.60	1.21	0.14	h3		2.08	48.00	58.00
1556	10YR3/2	10YR4/3	0	35	25		5 TGs			5.5	9.10	5.63	1.00	3.50	49.80	1.58	0.27	h2		2.72	48.00	59.00
1557	10YR3/2	10YR4/2	0	45	20		5 TGs			5.5	23.60	5.21	2.50	2.50	42.80	1.21	0.18	h3		2.08	48.00	60.00
1558	10YR3/3	10YR4/4	0	50	30		Td			4.5	6.85	3.96	0.05	2.50	20.00	1.73	0.15	h2		2.98	48.00	61.00
1559	7.5YR3/4	7.5YR4/6	0	45	10		5 TGs			5.0	7.85	3.54	Trace	2.00	18.00	0.61	0.27	h1		1.05	48.00	62.00
1560	10YR2/2	10YR5/4	0	40	25		10 TGs			5.0	7.35	2.71	0.05	2.50		0.76	0.17	h1		1.31	48.00	63.00
1561	7.5YR3/3	7.5YR4/4	0	30	25		15 tGb			5.0	5.60	3.12	Trace	3.50	20.00	0.95	0.15	h2		1.63	48.00	64.00
1562	7.5YR3/3	7.5YR4/4	0	25	35		10 tGb			4.5	0.35	1.04	Trace	1.00	31.20	1.21	0.17	h2		2.08	48.00	65.00
1563	10YR3/2	10YR4/4	0	40	15		10 TGs			4.5	8.35	3.54	Trace	3.75	32.80	1.51	0.15	h2		2.60	48.00	66.00
1564	10YR4/3	10YR5/4	40	20	80		30 TG			5.0	9.10	1.46	Trace	2.50	32.60	1.44	0.13	h2		2.48	48.00	67.00
1565	10YR3/3	10YR5/4	5	20	80		10 tG			6.0	23.10	3.54	0.05	5.50	29.20	0.95	0.10	h3		1.63	48.00	68.00
1566	10YR3/1	10YR4/1	0	50	40		20 TG			5.0	24.35	5.21	0.50	6.00	27.20	2.67	0.34	h3		4.59	48.00	69.00
1567	10YR3/1	10YR4/2	40	30	40		40 Td			6.5	26.85	6.04	0.40	3.50	47.00	1.17	0.18	h3		2.01	48.00	70.00
1568	2.5Y2.5/1	2.5Y2.5/1	5	30	50		10 tG			5.0	21.60	6.88	1.00	4.00	46.40	2.11	0.53	h3		3.63	48.00	71.00
1569	2.5Y3/1	2.5Y5/2	5	20	40		10 tG			5.0	12.85	4.79	0.40	2.00	35.60	3.49	0.35	h3		6.00	48.00	72.00
1570	10YR3/1	10YR5/2	0	10	60		10 tG			5.0	11.10	3.54	0.05	3.50	25.00	2.18	0.27	h2		3.75	48.00	73.00
1571	10YR3/1	10YR4/1	5	5	70		5 G			5.0	14.60	3.96	0.50	3.50	33.00	3.16	0.27	h3		5.44	48.00	74.00
1572	10YR3/2	10YR4/3	20	20	60		40 tG			5.0	20.10	4.37	0.40	6.00	18.00	2.78	0.34	h3		4.78	48.00	75.00
1573	10YR3/3	10YR3/4	15	40	100		10 tG			5.0	8.10	4.79	0.05	5.00	20.00	2.33	0.29	h3		4.01	48.00	76.00
1574	10YR3/1	10YR5/2	0	5	70		5 (t)G			4.5	10.35	3.12	0.05	4.75	9.20	3.83	0.35	h2		6.59	48.00	77.00
1575	7.5YR3/1	7.5YR4/3	10	30	60		15 TG			4.0	14.10	2.71	0.05	3.50	7.40	3.31	0.29	h3		5.69		
1576	5YR3/4	5YR4/6	35	20	35		15 Td			5.0	9.35	3.96	0.05	4.75	9.00	1.85	0.22	h1		3.18	48.00	78.00
1577	5YR2.5/2	5YR3/3	0	0	70		35 G			5.0	26.60	3.96	0.05	3.75	28.80	2.67	0.42	h2		4.59	48.00	79.00
1578	2.5Y3/1	2.5Y3/1	0	0	70		15 G			5.5	9.60	2.71	0.60	2.00	20.60	2.75	0.31	h2		4.73	48.00	79.00
1579	10YR3/2	10YR5/3	30	10	70		5 TG			4.0	6.85	2.29	Trace	2.50	7.40	3.08	0.38	h3		5.30	48.00	80.00
1580	10YR3/3	10YR5/4	35	50	70		15 TG			5.0	9.10	2.71	Trace	3.75	21.40	2.56	0.31	h2		4.40	48.00	81.00
1581	7.5YR3/4	7.5YR4/6	50	30	30		10 TGs			4.0	3.60	2.29	0.50	2.00	22.00	2.33	0.18	h1		4.01		
1582	7.5YR2.5/3	7.5YR3/3	30	15	90		40 TG			4.5	8.35	1.87	0.50	2.50	28.60	1.66	0.50	h3		2.86	48.00	82.00
1583	7.5YR2.5/3	7.5YR4/4	30	40	50		30 TG			4.0	3.85	1.87	0.50	2.00	19.80	2.22	0.41	h2		3.82	48.00	83.00
1584	7.5YR2.5/2	7.5YR3/4	30	40	80		30 TG			5.0	5.85	0.20	0.25	3.25	26.40	3.16	0.31	h2		5.44		
1585	5YR3/3	5YR3/4	40	50	80		40 tCG			5.0	4.60	2.71	0.25	3.25	30.40	1.66	0.25	h2		2.86	48.00	84.00

SOTER Unit-ID	Munsell Color Chart		Vegetation					pH- Value			Nutrient Exch.				Fieldtest			Analysis	Film	Foto	
	moist	dry	Trees	Shrubs	Grasses	Forbs	Code	H2O	KCl	Hellige	Ca	Mg	Na	K	CEC	Tot C	Tot N	O.M.	O.M.	No.	No.
1586	2.5YR2.5/3	2.5YR4/6	20	30	50	30	TG			5.5	0.10	1.04	0.25	3.25	8.20		h1				
1587	7.5YR3/3	7.5YR4/6	30	60	20	40	TGs			6.0	8.35	3.54	0.25	3.00	21.80	1.62	0.24	h2	2.79		
1588	5YR3/2	5YR4/4	0	60	80	30	tCG			4.5	5.10	3.54	0.25	3.00	25.60	1.47	0.25	h2	2.53		
1589	7.5YR3/4	7.5YR4/4	0	60	30	50	TGs			5.0	5.85	3.54	0.25	3.00	17.20	1.88	0.29	h1	3.23		
1590	7.5YR2.5/3	7.5YR4/4	5	20	50	20	tG			5.5	11.10	3.54	0.50	4.50	25.20	1.25	0.20	h2	2.15	50.00	51.00
1591	10YR3/3	10YR4/4	5	70	40	0	Td			5.0	7.35	3.54	0.25	3.25	43.20	1.55	0.15	h2	2.67	50.00	52.00
1592	10YR3/3	10YR5/4	5	30	30	20	tGs			5.0	5.35	2.71	0.25	2.50	16.80	1.96	0.21	h2	3.37	50.00	53.00
1593	7.5YR3/3	7.5YR4/4	5	15	50	20	tG			5.0	10.85	3.96	0.50	3.50	27.00	1.36	0.18	h2	2.34	50.00	54.00
1594	10YR3/2	10YR5/4	0	15	60	15	tG			5.0	11.35	4.37	0.50	4.00	27.60	1.73	0.24	h3	2.98	50.00	55.00
1595	10YR3/2	10YR5/4	0	15	60	0	tG			5.0	12.10	5.21	0.50	3.50	22.20	2.41	0.27	h3	4.15	50.00	56.00
1596	10YR3/2	10YR5/4	0	10	50	0	tG			5.0	8.10	3.96	0.50	3.50	24.40	1.29	0.21	h2	2.22	50.00	57.00
1597	10YR3/2	10YR4/4	0	40	30	20	tGs			5.0	9.10	3.12	0.25	2.50	27.40	2.07	0.21	h1	3.56	50.00	58.00
1598	10YR3/2	10YR3/6	0	0	90	10	tG			5.0	10.10	3.54	0.25	3.25	25.40	2.00	0.18	h2	3.44	50.00	59.00
1599	5YR3/3	5YR4/4	0	20	60	5	tG			5.0	11.10	5.11	0.25	5.50	28.80	1.92	0.25	h3	3.30	50.00	60.00
1600	10YR3/3	10YR4/3	0	60	30	20	Td			6.0	18.10	5.21	0.25	6.00	38.80	1.10	0.24	h2	1.89		
1601	10YR3/3	10YR4/4	0	30	10	10	tGs			5.0	9.10	4.79	0.25	5.50	22.20	1.02	0.17	h1	1.75	50.00	61.00
1602	10YR3/3	10YR4/4	0	20	80	5	tG			5.0	12.35	5.21	0.25	3.50	29.80	2.15	0.21	h3	3.70	50.00	62.00
1603	10YR3/4	10YR4/4	5	70	15	10	Td			5.0	3.10	2.29	Trace	1.50	12.20	0.65	0.11	h1	1.12	50.00	63.00
1604	10YR3/3	10YR4/4	10	25	80	10	TG			5.0	8.10	3.12	0.25	3.00	20.40	1.21	0.13		2.08	50.00	64.00
1605	10YR3/3	10YR5/4	0	40	10	15	tGs			5.0	7.88	4.37	0.25	3.00	13.60	1.36	0.13	h1	2.34	50.00	65.00
1606	10YR3/3	10YR5/4	0	70	15	30	Td			4.5	6.10	3.54	0.25	3.25	21.40	1.25	0.17	h2	2.15		
1607	10YR2/2	10YR4/3	30	40	90	40	TG			6.0	22.60	4.79	1.00	3.50	31.40	2.07	0.27	h3	3.56	50.00	66.00
1608	10YR2/2	10YR3/2	0	40	40	10	TG			5.0	18.10	6.46	1.00	4.00	38.80	2.03	0.27	h3	3.49	50.00	67.00
1609	10YR2/2	10YR3/2	10	50	25	40	Tg			5.0	18.60	8.96	3.00	2.00	40.40	1.44	0.31	h2	2.48	50.00	68.00
1610	10YR3/1	10YR3/2	5	15	70	10	tG			6.0	16.10	5.21	0.25	6.00	35.20	2.67	0.63		4.59	50.00	69.00
1611	10YR3/1	10YR4/1	0	5	50	15	G			5.5	12.60	4.37	0.25	4.50	22.60	1.88	0.32	h2	3.23	50.00	70.00
1612	10YR3/3	10YR5/4	70	40	60	30	Td			5.0	5.60	1.87	0.25	1.50	28.80	3.92	0.39	h3	6.74	50.00	73.00
1613	7.5YR3/4	7.5YR4/4	80	70	40	50	Td			4.5	3.85	1.87	0.25	3.00	21.20	3.68	0.39	h3	6.33	50.00	74.00
1614	7.5YR2.5/3	7.5YR4/4	80	15	15	15	Td			3.5	Trace	0.62	Trace	1.50	33.20	5.44	0.67	h3	9.36	50.00	75.00
1615	10YR2/2	10YR3/3	95	5	10	10	Go			3.5	1.85	1.04	Trace	1.50	28.80	6.60	0.69	h4	11.35		
1616	10YR4/4	10YR3/4	80	10	10	10	Td			5.0	0.60	0.62	Trace	0.50	18.40	3.31	0.34	h2	5.69	50.00	76.00
1617	10YR3/3	10YR5/4	85	10	10	5	Go			3.5	1.60	1.04	Trace	1.50	34.80	5.18	0.57	h3	8.91	50.00	77.00
1618	10YR3/3	-	95	5	5	5	Go			5.0	2.10	1.46	0.25	1.50	50.00	24.20	1.62	h5	41.62	50.00	79.00
1619	10YR3/4	-	80	7	7	7	Go			3.5	Trace	0.20	Trace	0.50	28.20	6.49	0.53	h3	11.16	50.00	80.00
1620	7.5YR3/4	-	80	7	7	7	Go			3.5	3.10	1.46	Trace	0.85	28.80	6.00	0.25	h3	10.32	50.00	81.00
1621	7.5YR3/3	-	50	5	80	5	Td			5.0	8.10	1.46	Trace	1.50	27.20	6.23	0.17	h3	10.72	50.00	82.00

SOTER Unit-ID	Munsell Color Chart		Vegetation					pH- Value			Nutrient Exch.				Fieldtest			Analysis	Film	Foto	
	moist	dry	Trees	Shrubs	Grasses	Forbs	Code	H2O	KCl	Hellige	Ca	Mg	Na	K	CEC	Tot C	Tot N	O.M.	O.M.	No.	No.
1622	7.5YR3/2	-	80	5	5	5	Go			3.5	6.85	1.46	Trace	1.50	22.20	3.49	0.50		6.00		
1623	10YR3/2	10YR5/3	5	5	85	5	Cveg			5.0	2.10	1.46	1.00	2.00	18.60	3.83	0.41	h3	6.59	50.00	83.00
1624	10YR2/1	10YR3/2	0	70	30	20	Td			5.0	2.10	Trace	0.25	1.50	35.00	12.80	0.95	h4	22.02	50.00	84.00
1625	7.5YR2.5/1	7.5YR3/2	0	80	60	20	Td			5.0	1.60	0.62	Trace	1.50	29.40	7.80	0.87	h4	13.42	49.00	51.00
1626	5YR2.5/1	-	0	50	50	20	TG			3.5	2.60	0.62	Trace	0.85	40.40	13.70	1.29	h4	23.56	49.00	52.00
1627	10YR2/1	10YR3/3	0	70	40	50	Td			4.5	1.85	0.62	Trace	0.50	45.00	15.00	1.34	h3	25.80	49.00	53.00
1628	10YR2/2	10YR3/3	10	80	10	60	Td			4.0	12.60	3.54	0.10	2.50	48.20	10.70	1.09	h3	18.40	49.00	54.00
1629	10YR2/2	10YR3/4	10	40	30	60	TG			5.0	13.35	2.29	0.10	1.50	38.60	9.20	1.13	h3	15.82	49.00	55.00
1630	10YR2/2	10YR3/3	15	40	10	70	Td			5.0	10.60	2.71	0.10	4.00	38.60	8.80	1.02	h3	15.14	49.00	56.00
1631	10YR2/1	10YR3/2	60	5	40	30	Td			5.0	13.85	3.12	0.25	1.50	40.40	9.00	1.11	h4	15.48	49.00	57.00
1632	7.5YR2.5/2	7.5YR3/2	25	80	70	30	Td			5.0	18.10	4.37	0.50	1.50	34.40	8.20	1.09	h3	14.10	49.00	58.00
1633	7.5YR2.5/3	7.5YR4/6	90	10	30	60	Td			3.5	1.35	1.04	0.25	0.85	19.60	7.50	0.53	h2	12.90	49.00	59.00
1634	7.5YR3/2	7.5YR3/3	70	5	30	40	Td			3.5	7.60	1.04	0.25	0.50	34.20	10.30	0.84	h4	17.72	49.00	60.00
1635	7.5YR3/2	7.5YR3/3	60	70	90	30	Td			4.0	27.10	6.64	0.50	3.50	36.20	9.40	0.87	h3	16.17	49.00	61.00
1636	7.5YR2.5/1	7.5YR2.5/2	90	30	30	50	Td			5.0	21.35	6.64	0.50	4.00	38.40	12.80	1.04	h4	22.02	49.00	62.00
1637	5YR4/4	5YR4/6	5	15	40	30	tG			5.0	0.85	1.04	0.25	0.50	13.60	1.81	0.29	h1	3.11	49.00	63.00
1638	7.5YR2.5/2	7.5YR3/3	5	70	50	30	Td			5.0	8.60	3.96	0.25	3.00	29.20	6.98	0.62	h4	12.01	49.00	64.00
1639	7.5YR3/3	7.5YR3/4	15	60	80	50	Td			4.5	8.35	3.12	0.25	3.00	25.00	6.08	0.62	h3	10.46	49.00	65.00
1640	7.5YR3/3	7.5YR3/4	60	70	15	20	Td			4.0	6.35	3.12	0.25	2.00	28.80	6.04	0.52	h3	10.39	49.00	66.00
1641	7.5YR3/3	7.5YR3/4	20	70	50	30	Td			4.5	5.10	2.71	0.25	2.50	20.20	4.54	0.38	h3	7.81	49.00	67.00
1642	7.5YR3/2	7.5YR4/3	30	60	80	30	Td			5.0	6.60	3.12	0.50	3.00	21.80	4.28	0.43	h3	7.36	49.00	68.00
1643	5YR2.5/2	5YR3/3	15	25	50	20	Tg			5.0	9.85	3.54	0.50	3.50	24.00	4.58	0.38	h3	7.88	49.00	69.00
1644	5YR2.5/2	5YR3/3	0	0	20	40	Gb			5.5	9.60	3.12	0.50	3.25	31.00	4.28	0.55	h3	7.36	49.00	70.00
1645	7.5YR3/3	7.5YR4/6	15	20	50	30	TG			4.0	5.35	3.12	0.50	5.50	24.80	3.27	0.39	h2	5.62	49.00	71.00
1646	5YR3/3	3YR4/3	20	40	50	15	TG			4.5	6.85	2.71	0.50	3.00	19.20	3.23	0.55	h2	5.56	49.00	72.00
1647	7.5YR3/2	7.5YR4/4	0	15	50	10	Cfallow			5.0	9.60	2.71	0.50	3.00	21.00	3.68	0.38	h3	6.33	49.00	73.00
1648	7.5YR3/2	7.5YR4/4	10	5	60	15	Cgrain			5.0	7.60	3.12	0.50	3.25	21.20	2.33	0.29	h3	4.01	49.00	74.00
1649	7.5YR2.5/1	7.5YR3/1	0	5	40	10	Cfallow			5.5	28.85	13.97	1.50	3.00	38.80	1.29	0.27	h3	2.22	49.00	75.00
1650	10YR2/3	10YR3/2	0	25	30	20	Cfallow			5.5	15.60	9.38	Trace	4.00	30.40	2.30	0.08	h3	3.96	49.00	76.00
1651	10YR3/2	10YR4/3	0	30	15	30	tGs			5.0	13.85	6.88	Trace	4.00	20.60	1.70	0.36	h2	2.92	49.00	77.00
1652	7.5YR2.5/2	7.5YR4/4	0	20	15	25	tGs			7.0	18.10	5.63	Trace	7.50	22.00	2.11	0.31	h4	3.63	49.00	78.00
1653	10YR3/1	10YR3/2	0	15	15	10	tGs			7.5	53.10	17.72	1.00	4.00	18.80	2.30	0.24	h4	3.96	49.00	79.00
1654	2.5Y2.5/1	2.5Y3/1	0	20	15	10	tGs			7.0	34.85	24.39	4.50	3.00	44.60	2.18	0.50	h4	3.75	49.00	80.00
1655	10YR3/2	10YR3/3	0	40	20	15	TGs			6.0	32.60	9.38	0.25	3.50	37.00	2.78	0.21	h3	4.78	49.00	81.00
1656	10YR2/2	10YR3/2	0	40	60	15	TG			7.0	59.10	6.46	0.25	3.00	32.60	1.85	0.39	h3	3.18	49.00	82.00
1657	7.5YR3/1	7.5YR3/2	5	10	15	30	Cfallow			5.0	15.60	8.96	0.25	3.50	32.20	1.85	0.22	h3	3.18	49.00	83.00

SOTER Unit-ID	Munsell Color Chart		Vegetation					pH- Value			Nutrient Exch.				Fieldtest			Analysis	Film	Foto	
	moist	dry	Trees	Shrubs	Grasses	Forbs	Code	H2O	KCl	Hellige	Ca	Mg	Na	K	CEC	Tot C	Tot N	O.M.	O.M.	No.	No.
1658	10YR2/2	10YR3/3	20	10	20	30	tC			5.0	14.10	5.21	Trace	3.25	31.00	2.52	0.27	h3	4.33	49.00	84.00
1659	7.5YR2.5/3	7.5YR3/3	15	30	25	40	tC			5.0	0.10	1.04	Trace	4.50	18.00	1.62	0.32	h2	2.79	49.00	85.00
1660	7.5YR3/2	7.5YR3/4	40	10	10	30	TC			5.0	11.85	6.46	Trace	2.00	26.00	1.96	0.25	h2	3.37	49.00	86.00
1661	5YR3/2	5YR3/3	15	10	10	30	tC			5.5	20.53	13.55	0.50	3.50	25.20	1.96	0.31	h3	3.37	49.00	87.00
1662	5YR3/3	5YR4/4	20	5	70	30	tG			5.0	9.10	5.63	Trace	5.50	18.60	2.03	0.27	h2	3.49	49.00	88.00
1663	7.5YR2.5/3	7.5YR3/4	30	30	45	45	TC			5.0	9.60	4.97	Trace	7.50	19.60	1.81	0.21	h3	3.11	47.00	51.00
1664	5YR3/3	5YR4/4	10	25	25	5	tCG			6.5	16.85	4.97	Trace	10.50	17.20	2.15	0.24	h3	3.70	47.00	52.00
1665	7.5YR3/1	7.5YR3/2	30	20	25	40	TCG			7.0	41.60	5.54	0.25	7.00	41.20	3.87	0.30	h3	6.66	47.00	53.00
1666	7.5YR3/1	7.5YR3/2	10	30	30	40	tCG			5.5	33.10	8.96	Trace	12.00	45.80	2.95	0.30	h3	5.07	47.00	54.00
1667	7.5YR3/1	7.5YR3/2	5	30	40	20	tC, G			7.0	46.60	8.96	0.25	8.50	48.00	2.45	0.24	h4	4.21	47.00	55.00
1668	10YR3/2	10YR4/2	0	10	5	20	Cfallow			5.0	21.35	9.80	0.75	5.50	39.40	1.17	0.25	h3	2.01	47.00	56.00
1669	10YR3/3	10YR3/2	0	20	50	10	tG			5.0	19.60	10.21	0.25	6.50	25.20	1.40	0.57	-	2.41	47.00	57.00
1670	10YR3/1	10YR3/1	0	25	60	5	TG			6.0	32.10	11.05	1.00	7.50	45.20	1.62	0.24	h3	2.79	47.00	58.00
1671	10YR3/1	10YR4/2	5	50	70	10	TG			5.0	16.60	5.63	Trace	10.00	24.40	3.31	0.28	h3	5.69	47.00	59.00
1672	7.5YR2.5/2	7.5YR3/2	5	20	80	30	TG			5.0	19.10	5.54	Trace	5.50	35.40	2.37	0.25	h3	4.08	47.00	60.00
1673	2.5YR2.5/2	2.5YR2.5/2	80	40	10	60	Td			6.0	37.85	9.38	Trace	11.00	60.20	0.31	0.60	h4	0.53	47.00	61.00
1674	10YR4/3	10YR4/2	30	60	70	40	Td r. f.			6.0	12.85	4.79	Trace	5.00	25.60	1.55	0.38	h1	2.67	47.00	62.00
1675	10YR3/2	10YR4/3	15	5	40	20	tG			5.0	15.35	7.29	Trace	9.50	32.00	2.11	0.13	h3	3.63	47.00	63.00
1676	7.5YR3/4	7.5YR4/6	10	40	20	15	Td			5.0	5.60	3.12	Trace	3.50	11.60	1.02	0.22	h2	1.75	47.00	64.00
1677	7.5YR3/2	7.5YR4/4	0	40	10	20	tGs			5.0	5.85	3.12	Trace	4.50	14.20	1.45	0.24	h1	2.49	47.00	65.00
1678	7.5YR3/2	7.5YR4/4	10	40	20	30	TG			6.0	11.85	4.79	Trace	7.50	18.80	1.45	0.34	h2	2.49	47.00	66.00
1679	7.5YR3/3	7.5YR4/4	10	30	10	15	Tgs			5.0	7.60	3.96	Trace	4.00	22.00	1.15	0.18	h2	1.98	47.00	67.00
1680	7.5YR3/3	7.5YR4/4	5	30	20	30	Tgs			5.0	8.60	2.71	Trace	4.00	20.80	1.58	0.21	h2	2.72	47.00	68.00
1681	5YR3/3	5YR4/6	0	40	10	30	TGb			5.5	10.35	3.54	Trace	10.50	19.80	1.28	0.25	h1	2.20	47.00	69.00
1682	7.5YR3/3	7.5YR4/6	0	30	5	20	TGb			5.0	10.85	3.54	Trace	6.50	20.00	1.54	0.17	h1	2.65	47.00	70.00
1683	7.5YR3/4	7.5YR4/6	0	30	10	20	TGb			4.5	5.85	3.12	Trace	6.00	10.30	0.94	0.17	h1	1.62	47.00	71.00
1684	7.5YR3/2	7.5YR4/4	0	40	5	10	TGb			5.0	7.10	3.12	Trace	7.25	18.00	1.02	0.38	h1	1.75		
2001	2.5YR3/2							6.4	5.3		9.20	5.05	0.19	1.75	20.00	2.19			3.77		
2002	5YR2.5/2							6.3	5.2		8.70	6.20	0.30	0.68	34.20	2.40	28.00		4.13		
2003	10YR3/2							6.5	5.2		6.40	3.50	0.52	2.56	30.80	0.56	0.08		0.96		
2004	10YR2/2							7.1	6.1		9.90	6.30	0.55	7.80	26.60	1.96	0.25		3.37		
2005	10YR2/2							6.1	5.0		16.70	7.70	0.85	1.16	35.80	1.55	0.25		2.67		
2006	7.5YR3/2							7.0	6.2		5.70	3.20	0.35	5.29	25.00	2.37	0.25		4.08		
2007	10YR3/3							6.8	5.8		5.80	2.50	0.30	3.26	22.50	1.47	0.18		2.53		
2008	7.5YR3/2							6.9	6.1		5.50	2.50	0.20	5.75	17.80	2.20	0.28		3.78		
2009	2.5YR3/2							6.8	4.8		13.70	9.00	1.75	0.88	31.40	0.29	0.09		0.50		

SOTER Unit-ID	Munsell Color Chart		Vegetation					pH- Value			Nutrient Exch.				Fieldtest			Analysis		Film	Foto
	moist	dry	Trees	Shrubs	Grasses	Forbs	Code	H2O	KCl	Hellige	Ca	Mg	Na	K	CEC	Tot C	Tot N	O.M.	O.M.	No.	No.
2010	10YR2/1							7.3	5.2		11.10	5.80	2.57	2.96	28.20	2.63	0.26		4.52		
2011	10YR3/2	10YR4/2						6.2	5.0		7.40	3.00	0.56	5.95	36.20	1.35	0.19		2.32		
2012	10YR3/2	10YR5/2						7.9	6.3		13.80	7.20	0.24	1.62	32.00	2.00	0.27		3.44		
2013	7.5YR3/2							6.1	4.5		8.40	3.70	0.72	1.56	28.50	1.57			2.70		
2014	5YR3/3							6.5	5.5		4.60	2.29	0.25	0.76	12.90	0.87			1.50		
2015	5YR3/3							6.1	5.1		6.20	1.65	0.30	0.64	12.10	1.08			1.86		
2016	5YR3/4							6.6	5.4		2.50	1.20	0.58	1.40	9.20	1.14	0.14		1.96		
2017	7.5YR3/2							6.7	5.8		4.60	1.50	0.18	1.36	11.20	1.05			1.81		
3001	10YR3/2	10YR4/1						5.4	4.6		15.80	5.00	1.00	1.65	35.80	2.45	0.27		4.21		
3002	10YR3/2	10YR3/3						5.7	4.8		16.20	4.75	0.75	3.09	34.40	1.37	0.19		2.36		
3003	10YR3/4	10YR3/3						5.9	4.9		11.30	5.90	0.52	1.67	28.70	1.84	0.25		3.16		
3004	5YR2/4	5YR5/3						6.0	4.9		10.10	3.30	0.18	1.77	16.80	2.17	0.22		3.73		
3005	10YR4/3	10YR5/4						6.1	4.4		8.00	2.50	0.50	1.49	19.20	1.40	0.22		2.41		
3006	7.5YR3/2	10YR5/3						6.2	4.8		5.50				15.40	1.77	0.23		3.04		
3007	7.5YR3/4	7.5YR5/4																			
3008	10YR3/2	10YR5/2						7.0	6.3		13.10	4.55	0.35	9.40	29.70	2.84			4.88		
3009	5YR2/3	7.5YR4/4						6.0	4.9		6.00	3.70	0.10	3.70	26.50	1.77	0.19		3.04		
3010	10YR6/1	10YR6/1						6.2	5.0		5.20	2.60	0.39	3.90	21.30	1.65	0.24		2.84		
3011	5YR2/4	5YR4/6						5.8	4.2		6.80	2.60	0.16	1.87	20.00	1.28			2.20		
3012	2.5YR2/2	5YR3/3																			
3013																					0.00
3014	10YR2/3	10YR4/3						5.9	5.1		8.90	2.95	0.37	1.83	20.00	2.19	0.19		3.77		
3015	10YR3/2	10YR5/3						6.1	5.0		10.60	3.35	0.65	3.10	23.40	1.31	0.13		2.25		
3016	10YR2/2	10YR2/3						6.1	5.0		16.70	5.00	0.90	1.71	35.80	1.22	0.13		2.10		
3017	10YR3/2	10YR4/3						6.7			25.80	5.35	0.47	7.65	45.50	2.13	0.35		3.66		
3018	7.5YR4/4	7.5YR5/4						4.9	3.9		5.90	4.40	0.47	1.21	20.20	1.28	0.18		2.20		
3019	10YR2/2	10YR3/1						6.6	5.4		18.00	4.50	0.75	2.45	40.80	1.45	0.15		2.49		
3020	10YR3/4	10YR5/3						6.7	5.9		15.40	4.00	0.37	3.97	28.70	0.12	0.16		0.21		
3021	7.5YR3/4	7.5YR4/6						6.0	4.8		7.00	2.60	0.25	1.90	24.00	1.70	0.23		2.92		
3022	10YR3/3	10YR5/3						5.6	4.6		7.20	2.05	0.11	0.52	31.00	1.87	0.22		3.22		
3023	10YR4/2	10YR6/3						6.4	5.9		14.70	4.40	0.17	4.18	29.20	2.24	0.23		3.85		
3024	10YR4/3							6.0								2.19	0.26		3.77		
3025	10YR4/2	10YR6/2						6.0	5.2		3.10	3.07	0.17	0.99	20.50	1.93			3.32		
3026	7.5YR3/2	10YR6/3						6.0								1.30	0.24		2.24		
3027	10YR3/2	10YR5/3						6.9	6.2		4.10	3.62	0.02	1.91	17.80	1.70			2.92		
3028	10YR2/1							6.3	5.7		18.50	16.07	1.05	1.91	53.00	5.98			10.29		

SOTER Unit-ID	Munsell Color Chart		Vegetation					pH- Value			Nutrient Exch.				Fieldtest			Analysis		Film	Foto	
	moist	dry	Trees	Shrubs	Grasses	Forbs	Code	H2O	KCl	Hellige	Ca	Mg	Na	K	CEC	Tot C	Tot N	O.M.	O.M.	No.	No.	
3029	10YR2/2	10YR4/2						6.3	5.2		9.80	5.82	0.10	1.69	32.30	1.75				3.01		
3030	7.5YR3/2	10YR5/2						6.0	5.0		10.80	4.32	0.15	3.90	22.70	0.08					0.14	
3031	10YR2/3	10YR4/2						5.2	4.6		8.10	7.40	0.21	3.90	36.50	2.14					3.68	
4001	10YR3/2	10YR4/3										1.86	1.65	9.05	8.10	0.47	0.05				0.81	
4002	10YR3/4	10YR3/3										3.84	1.75	8.65	11.20	0.70	0.11				1.20	
4003	5YR4/6	5YR4/4										1.15	0.80	8.14	8.97	0.47	0.10				0.81	
4004	2.5YR2.5/4	5YR4/6										1.45	1.05	8.14	8.19	0.46	0.07				0.79	
4005	7.5YR3/4	5YR4/6										2.95	1.05	8.34	19.89	0.59	0.11				1.01	
4006	2.5YR4/4	2.5YR2.5/4										1.45	0.95	8.14	9.00	0.78	0.06				1.34	
4007	10YR3/2	10YR3/1										5.99	2.10	9.25	17.90	0.84	0.19				1.44	
4008	7.5YR3/2	10YR4/4										5.99	1.25	9.45	23.90	1.57	0.22				2.70	
4009	7.5YR3/5	7.5YR4/6										3.68	1.10	8.65	14.00	0.45	0.08				0.77	
4010	5YR4/4	5YR4/4										1.16	0.55	8.05	6.50	0.91	0.13				1.57	
4011	7.5YR4/6	7.5YR5/6										0.55	2.35	8.34	5.60	0.31	0.06				0.53	
4012	5YR3/4	7.5YR4/6										1.23	2.10	9.05	12.50	0.32	0.07				0.55	
4013	2.5YR3/4	10YR3/4										8.09	1.35	9.25	24.40	0.65	0.10				1.12	
4014	7.5YR3/4	7.5YR4/4										5.36	1.50	8.65	14.00	0.33	0.05				0.57	
4015	5YR2.5/2											12.50	0.70	7.10	36.00	4.60	0.21				7.91	
4016	2.5YR2.5/4											9.20	1.10	2.30	35.60	1.77	0.23				3.04	
4017	2.5YR3/2											8.60	1.30	2.30	35.00	2.69	0.27				4.63	
4018	5YR3/2											5.60	1.10	2.30	27.90	2.67	0.30				4.59	
4019	5YR3/1											8.20	1.60	3.20	33.70	2.51	0.22				4.32	
4020	10YR3/2											7.10	1.60	8.00	55.60	1.20	0.28				2.06	
4021	10YR2/2											9.80	1.70	3.50	36.50	2.47	0.30				4.25	
4022	10YR2/2											7.70	1.00	7.80	44.70	2.73	0.32				4.70	
4023	10YR2/1											4.70	6.10	2.60	42.60	3.57	0.42				6.14	
4024	10YR2/1											6.80	1.60	2.90	28.40	2.99	0.33				5.14	
4025	10YR2/2											9.50	1.00	7.60	43.40	2.90	0.25				4.99	
4026	10YR2/2											11.30	1.20	7.60	57.00	2.65	0.22				4.56	
4027	10YR3/1											6.20	0.80	2.10	26.00	4.12	0.39				7.09	
4028	10YR3/2											4.80	0.50	1.20	18.00	1.53	0.15				2.63	
4029	10YR2/1											5.00	2.00	2.60	39.20	19.10	0.19				32.85	
4030	5YR3/1											8.60	1.20	3.80	28.40	1.76	0.39				3.03	
4031	10YR3/2											11.90	2.30	7.20	50.70	3.14	0.17				5.40	
4032	10YR2/1											8.90	0.30	8.00	45.20	3.10	0.39				5.33	
4033	10YR3/2											11.90	1.00	7.30	17.90	3.29	0.24				5.66	

SOTER Unit-ID	Munsell Color Chart		Vegetation					pH- Value			Nutrient Exch.				Fieldtest			Analysis		Film	Foto	
	moist	dry	Trees	Shrubs	Grasses	Forbs	Code	H2O	KCl	Hellige	Ca	Mg	Na	K	CEC	Tot C	Tot N	O.M.	O.M.	No.	No.	
4034	10YR4/1												2.20	0.50	1.40	26.18	1.50	0.18		2.58		
4035	10YR3/1												9.20	1.70	2.60	27.30	1.76	0.17		3.03		
4036	10YR3/1												7.40	1.30	2.30	32.00	3.03	0.36		5.21		
5031	10YR3/2	10YR3/3						5.9	4.4			8.30	2.80	0.70	0.70	22.40	1.95	0.19		3.35		
5034								6.2	5.4			11.40	6.50	0.10	4.30	28.00	4.28	0.37		7.36		
5035	5YR2/2							5.2	4.0			4.60	2.10	0.20	1.40	22.40	2.42	0.25		4.16		
5041	7,5YD2/1								4.4			1.40	0.70	0.10	0.60	36.00	6.80	0.83		11.70		
5043	10YR2/2							5.4				5.00	2.50	0.90	1.40	33.00	6.12	0.72		10.53		
5044	10YR2/2							5.1	4.4								6.00	0.50		10.32		
5045	7,5YR2/1							5.4	4.8			1.30	0.70	0.10	0.10	22.00	3.80	0.52		6.54		
5052	7,5YR2/2							4.6	4.2			1.70	0.80	0.70	0.50	33.00	6.12	0.82		10.53		
5053	5YR2/2							4.0	3.6			2.00	0.80	0.50	0.80	38.60	6.09	0.93		10.47		
5057	7,5YR2/2							4.6	3.5			2.00	0.40	0.30	0.60	64.00	36.60	1.60		62.95		
5058	5YR2/3							5.4	4.7			2.30	0.50	0.20	1.40	68.00	5.83	0.90		10.03		
5061	5YR2/4							6.0	5.8			13.60	5.50	0.20	2.00	38.00	5.37	0.46		9.24		
5062		5YR4/6						6.1	4.6			8.00	3.60	0.30	1.90	16.00	1.54	0.14		2.65		
5063	7,5YR2/2							4.6	3.5								48.40	1.82		83.25		
5065	5YR2/4							3.9	3.4			0.60	0.70	0.01	0.60	30.20	9.87	1.09		16.98		
5066		5YR3/3						7.2	6.5			39.40	7.20	0.50	1.80	48.50	5.00	0.47		8.60		
5069	7,5YR2/1							6.2	4.5			14.20	5.00	0.90	1.70	30.00	3.03	0.27		5.21		
5071	10YR2/2	7,5YR2/2						6.9	5.8			28.30	0.20	0.30	0.90	36.40	0.79	0.23		1.36		
5072	10YR2/2	10YR3/2						6.8	5.3			7.00	1.90	0.01	1.50	14.80	1.84			3.16		
5073	2,5YR2/2							6.1	5.3			24.40	5.50	0.30	4.30	70.40	11.30	0.98		19.44		
5075	7,5YR2/2	7,5YR2/3						5.7	5.0			1.90	1.80	0.01	0.40	31.20	4.90	0.65		8.43		
5076	5YR2/4							4.9	3.8			2.40		0.30	1.80	22.30	1.53	0.20		2.63		
5077	2,5YR2/3							5.5	4.6			0.40	0.40	0.20	0.10	6.00	2.10	0.25		3.61		
5078	10YR2/3							5.8	4.9			13.90	3.60	0.60	0.70	29.80	2.02	0.18		3.47		
5079	7,5YR2/2							5.6	5.0			10.20	4.30	0.60	5.20	43.30	5.11	0.31		8.79		
5080	7,5YR3/2							6.9	6.0			22.70	2.70	0.30	1.80	31.00	1.65	0.35		2.84		
5082	10YR4/2	10YR5/2						5.6	4.0			3.70	1.00	0.30	0.80	9.80	1.02			1.75		
5083	7,5YR2/2							6.2	4.8			10.20	2.30	0.20	2.40	18.80	2.73	0.68		4.70		
5086	7,5YR3/2							6.5	5.2			8.40	2.50	0.20	0.90	22.00	1.77	0.18		3.04		
6314	10YR2/2	10YR6/1						6.6						0.30		24.50	1.46	0.16		2.51		
6336	10YR3/3	10YR5/3						5.7						0.04		18.80	1.73	0.21		2.98		
6337	10YR3/4	10YR6/3						5.9						0.02		18.20	1.75	0.21		3.01		
6352	7,5YR3/2							5.9						0.02		22.80	1.93	0.17		3.32		

SOTER Unit-ID	Munsell Color Chart		Vegetation					pH- Value			Nutrient Exch.				Fieldtest			Analysis		Film	Foto
	moist	dry	Trees	Shrubs	Grasses	Forbs	Code	H2O	KCl	Hellige	Ca	Mg	Na	K	CEC	Tot C	Tot N	O.M.	O.M.	No.	No.
6365	10YR4/2	10YR6/2						5.9					0.90	20.40	0.84	0.04			1.44		
6371	10YR3/2							7.0					0.07	32.60	1.74	0.18			2.99		
6443	10YR3/2	10YR5/2						6.0						22.80	1.90	0.18			3.27		
6451	10YR2/2	10YR3/1						4.1				0.50		44.80	4.00	0.40			6.88		
6454	10YR2/2	10YR4/2						5.0						31.20	1.90	0.19			3.27		
6463	10YR2/2	10YR3/2						5.5				0.03		40.80	5.25	0.51			9.03		
6466	2,5YR3/2	2,5YR3/4						6.0						19.80	1.21	0.19			2.08		
7001	5YR3/2	5YR4/4						6.6	4.9		2.90	2.70	0.71	1.28	20.10	1.64	0.15			2.82	
7002	5YR2.5/2	5YR3/3						6.6	5.6		4.70	2.40	1.50	3.18	34.90	3.00	0.36			5.16	
7003	7.5YR3/2	10YR4/6						6.0	4.6		1.80	1.20	0.64	1.48	20.40	1.79	0.30			3.08	
7004	7.5YR4/4	7.5YR5/6						6.9	5.4		2.30	1.30	0.87	1.74	20.30	0.84	0.11			1.44	
7005	7.5YR 3/2							7.0	5.6		6.90	1.40	1.43	1.85	17.50	1.20	0.17			2.06	
7006	5YR3/2							6.4	5.3		3.40	2.40	0.64	1.74	27.70	1.55	0.18			2.67	
7007	7.5YR3/2							7.2	5.3		4.10	2.10	0.55	1.62	23.10	1.25	0.19			2.15	
7008	5YR4/6							7.4	5.6		5.50	2.20	0.44	1.64	20.60	0.84	0.13			1.44	
7009	7.5YR3/4							6.7	5.4		2.10	1.70	0.42	0.98	21.40	1.67	0.13			2.87	
7010	2,5YR3/4	7.5YR4/6						7.1	5.9		5.40	2.30	0.44	1.74	13.60	0.73	0.09			1.26	
7011	5YR3/4	5YR4/6						7.5	5.7		2.60	1.50	0.34	0.46	8.80	0.16	0.04			0.28	
7012	7.5YR3/4	10YR4/4						7.6	6.2		2.70	0.80	0.24	0.42	4.80	0.23	0.06			0.40	
7013	5YR2.5/2	5YR3/2						6.6	5.5		15.40	6.00	0.47	2.36	35.90	2.58	0.28			4.44	
7014	10YR3/1	10YR4/1						6.6	5.5		15.90	4.70	0.82	3.17	32.00	3.23	0.34			5.56	
7015	10YR3/1	10YR3/1						7.3	5.9		12.50	6.00	2.20	2.23	35.00	1.95	0.27			3.35	
7016	10YR3/1	10YR3/1						6.7	5.5		16.00	7.10	0.95	3.95	42.50	2.53	0.25			4.35	
7017	10YR2/2	10YR3/4						5.4	4.8		8.50	3.50	0.80	1.30	32.30	10.42	1.31			17.92	
7018	10YR2/1	10YR3/4						5.8	5.1		5.80	4.00	0.30	3.20	18.60	10.02	1.40			17.23	
7019	5YR2/2	7.5YR3/4						6.3	5.6		9.80	7.20	0.70	3.90	24.40	5.90	0.55			10.15	
7020	10YR3/3	10YR4/4						5.3	5.0		9.30	5.30	0.50	4.00	30.20	4.90	0.42			8.43	
7021	10YR3/2	10YR3/3						5.8	4.6		8.60	6.50	0.03	1.10	31.50	6.30	0.55			10.84	
7022	5YR3/3	5YR3/4						6.5	5.5		10.00	5.20	0.20	3.00	27.00	7.86	1.39			13.52	
7023	10YR2/2	10YR3/3																			
7024	5YR3/3	5YR4/4						6.6	6.0		5.00	1.30	0.60	0.50	22.20	3.24	0.34			5.57	
7025	10YR2/2	10YR4/3						6.3	5.2		16.00	7.40	0.10	2.30	39.20	3.52	0.35			6.05	
7026	5YR2.5/2	7.5YR3/2						7.8	7.3		13.00	6.60	0.20	3.60	26.70	11.58	1.20			19.92	
7027	5YR4/4	7.5YR6/6						7.3	6.5		1.80	0.80	1.50	1.50	5.60	3.00	0.69			5.16	
7028	5YR3/3	5YR4/4																			
7029	10YR3/3	10YR5/3						7.0	5.9		14.00	3.00	0.20	2.50	21.40	4.10	0.69			7.05	

SOTER Unit-ID	Munsell Color Chart		Vegetation					pH- Value			Nutrient Exch.				Fieldtest			Analysis	Film	Foto	
	moist	dry	Trees	Shrubs	Grasses	Forbs	Code	H2O	KCl	Hellige	Ca	Mg	Na	K	CEC	Tot C	Tot N	O.M.	O.M.	No.	No.
7030	5YR4/4	7.7YR5/6						6.6	5.7		13.00	4.00	0.20	0.50	20.40	2.48	0.25		4.27		
7501																			4.65		
7502																			2.41		
7503																			5.05		
7504																			3.56		
7505																			6.30		
7506																			3.46		
7507																			1.71		
7508																			10.95		
7509																			4.69		
7510																			2.95		
7511																			4.11		
7512																			2.60		
7513																			10.71		
7514																			5.83		
7515																			11.39		
7516																			4.48		
7517																			4.25		
7518																			3.16		
7519																			0.46		
7520																			0.88		
7521																			0.39		
7522																			0.84		
7523																			0.54		
7524																			1.77		
7525																			2.00		
7526																			2.47		
7527																			0.93		
7528																			4.01		
7529																			5.16		
7530																			2.43		
7531																			1.75		
7532																			1.35		
7533																			2.38		
7534																			3.53		
7535																			11.57		

SOTER Unit-ID	Munsell Color Chart		Vegetation					pH- Value			Nutrient Exch.				Fieldtest			Analysis		Film	Foto
	moist	dry	Trees	Shrubs	Grasses	Forbs	Code	H2O	KCl	Hellige	Ca	Mg	Na	K	CEC	Tot C	Tot N	O.M.	O.M.	No.	No.
7536																			5.68		
7537																			1.06		
7538																			2.71		
7539																			1.27		
7540																			3.48		
7541																			2.17		
7542																			1.60		
7543																			0.84		
7544																			0.90		
7545																			0.88		
7546																			3.76		
7547																			4.17		
7548																			2.43		
7549																			2.19		
7550																			3.37		
7551																			3.00		
7552																			0.81		
7553																			1.38		
7554																			0.73		
7555																			5.30		
7556																			2.08		
7557																			1.43		
7558																			12.95		
7559																			0.21		
7560																			13.12		
7561																			8.28		
7562																			4.43		
7563																			1.69		
7564																			1.70		
7565																			1.42		
7566																			0.72		
7567																			2.96		
7568																			3.03		
7569																			2.88		
7570																			2.82		
7571																			3.01		

SOTER Unit-ID	Munsell Color Chart		Vegetation					pH- Value			Nutrient Exch.				Fieldtest			Analysis		Film	Foto		
	moist	dry	Trees	Shrubs	Grasses	Forbs	Code	H2O	KCl	Hellige	Ca	Mg	Na	K	CEC	Tot C	Tot N	O.M.	O.M.	No.	No.		
7572																					4.20		
7573																						4.49	
7574																						2.85	
7575																						2.66	
7576																						1.95	
7577																						1.94	
7578																						2.48	
7579																						3.77	
7580																						4.30	
7581																						4.13	
7582																						3.97	
7583																						8.93	
8194	10YR2/2							5.7			5.00	2.60	0.50	2.00	17.50	9.50					16.34		
8195	7.5YR2/3							5.7			5.20	2.20	0.60	1.80	15.50	8.20					14.10		
8196	10YR2/2							6.1			4.40	2.20	0.80	1.90	14.50	5.70					9.80		
8201	10YR2/2							6.4			8.60	4.10	0.90	3.00	12.50	9.10					15.65		
8202	10YR2/2							6.1			8.20	2.40	0.80	1.60	18.50	6.10					10.49		
8203	10YR2/2							6.0			7.60	2.60	0.50	2.10	21.50	4.60					7.91		
8209	7.5YR3/3							6.7			8.80	5.50	0.90	2.10	19.00	6.00					10.32		
8213	7.5YR3/3							6.0			4.20	2.60	0.50	1.30	15.50	12.50					21.50		
8216	7.5YR4/4							6.2			7.40	3.80	0.70	1.70	24.00	1.60					2.75		
8221	10YR2/3							6.0			5.40	2.00	0.60	1.40	18.00	5.40					9.29		
8224	7.5YR3/3	7.5YR4/2						5.8			5.20	3.30	0.60	2.00	20.50	2.80					4.82		
8228	10YR3/3							6.0			9.40	4.60	0.80	3.20	23.50	2.60					4.47		
8230	7.5YR2/3							5.7			4.80	2.90	0.90	1.90	19.50	5.60					9.63		
9001	5YR3/4	2.5YR4/4						6.4	5.3		6.40	5.00	0.19	4.51	28.20	2.35	0.23				4.04		
9002	10YR2/2	10YR5/2						6.2	5.2		11.20	11.50	0.21	4.01	32.60	3.44	0.42				5.92		
9003																							
9004	7.5YR3/4							5.7	4.4		6.50	4.80	0.20	1.96	28.00	2.23	0.24				3.84		
9005	5YR4/6							6.4	4.7		7.30	5.00	0.15	2.77	24.30	1.24	0.16				2.13		
9006	7.5YR4/4							6.6	5.0		11.70	5.20	0.14	1.47	26.50	1.67	0.14				2.87		
9007	7.5YR4/2							6.1	4.8		7.10	3.58	0.10	1.57	29.90	1.98	0.16				3.41		
9008	5YR3/4							6.4	5.5		8.50	3.40	0.80	3.50	21.60	1.86	0.29				3.20		
9009								5.8			18.50	5.67	0.75	3.25	26.00	6.10	0.69				10.49		
9010								5.6			17.40	8.20	0.85	2.45	32.60	6.33	0.52				10.89		
10001	5YR3/2						TG	5.7	4.9		5.80	2.10	0.52	2.43	22.30	2.62					4.51		

SOTER Unit-ID	Munsell Color Chart		Vegetation					pH- Value			Nutrient Exch.				Fieldtest			Analysis		Film	Foto
	moist	dry	Trees	Shrubs	Grasses	Forbs	Code	H2O	KCl	Hellige	Ca	Mg	Na	K	CEC	Tot C	Tot N	O.M.	O.M.	No.	No.
10002	7.5YR3/2						TG	5.2	4.7		4.30	2.10	0.78	2.22	32.00	2.76				4.75	
10003	7.5YR3/4						TG	6.2	5.3		8.30	3.90	0.72	2.53	29.60	2.59				4.45	
10004	7.5YR3/4						TG	5.5	4.7		3.40	1.80	0.70	1.51	27.60	1.10				1.89	
10005	10YR3/2						tG	5.9	5.1		6.80	1.80	0.95	2.03	29.50	2.83				4.87	
11001	7.5YR3/2						G	6.3	5.4		17.40	6.00	0.27	2.30	21.70	2.33	0.10			4.01	
11002	10YR3/3						G	5.8	4.8		10.20	4.00	0.31	1.18	28.10	2.47	0.28			4.25	
11003	10YR4/2						G	6.6	5.6		17.00	6.50	0.35	3.70	21.00	3.20	0.39			5.50	
11004	10YR3/3						G	6.2	5.2		8.00	4.70	0.29	1.62	22.00	2.76	0.28			4.75	
11005	10YR3/1						G	6.4	5.1		17.20	7.20	1.25	0.28	25.10	1.19	0.12			2.05	
11006	10YR3/3						G	6.0	5.1		5.00	4.20	0.22	1.36	33.20	1.69	0.22			2.91	
11007	10YR3/2						G	6.3	4.7		7.80	4.60	0.19	1.16	29.60	1.83	0.02			3.15	
11008	10YR3/2						G	6.1	4.4		11.80	4.90	0.87	0.44	29.60	1.74	0.18			2.99	
11009	10YR3/2						G	8.2	6.7		16.60	7.60	0.89	0.54	26.70	1.39	0.17			2.39	
12001	10YR3/1							6.3													
12002	10YR4/3							7.5													
12003																					
13001	2.5YR3/4	2.5YR3/4					Tg	7.7	6.6		10.00	5.05	0.75	3.15	24.60	1.09	0.18			1.87	
13002	7.5YR3/2	10YR5/4					G	6.5	5.4		9.20	4.65	0.40	2.70	22.90	0.95	0.16			1.63	
13003	10YR3/3	10YR5/3					tG	6.6	5.4		10.00	4.00	0.50	2.40	24.10	1.00	0.17			1.72	
13004	10YR3/2	10YR4/3					G	6.5	5.3		12.80	7.40	0.75	1.84	34.50	1.03	0.15			1.77	
13005	10YR3/2	10YR3/1					G	8.2	7.2		67.00	5.95	1.45	2.50	61.00	1.10	0.20			1.89	
13006	10YR3/3	10YR6/4					G	6.6	5.6		7.00	2.70	0.30	1.67	14.10	0.95	0.14			1.63	
13007	2.5YR3/0	2.5YR3/0					G	7.9	6.5		51.50	7.00	1.75	2.50	65.00	0.63	0.10			1.08	
1504B	10YR3/1	10YR3/2	0	50	50		10 TGs				13.10	4.37	0.40	5.00	23.20	1.40	0.29 h3			2.41	
1513B	7.5YR3/3	7.5YR4/6	0	70	10		20 Td			5.5	7.10	3.96	0.05	1.00	17.80	0.19	0.15			0.33	
1514B	5YR3/4	5YR4/6	0	35	20		40 TGs			5.5	6.35	2.71	Trace	2.50	18.60	0.54	0.14			0.93	
1515B	5YR3/4	5YR4/6	0	40	30		30 TGs			4.0	3.10	1.46	Trace	4.50	12.40	0.80	0.14 h1			1.38	
1523B	5YR3/4	5YR4/6	0	40	30		40 TGs			4.5	4.10	1.87	0.05	2.00	7.50	0.80	0.25			1.38	
1532B	5YR4/4	5YR4/6	0	50	15		15 TGs			5.6	2.85	1.87	Trace	2.50	19.00	0.61	0.20 h1			1.05	
1533B	5YR3/4	5YR4/6	0	40	20		45 TGs			5.0	4.35	3.54	Trace	3.75	25.40	1.17	0.20 h1			2.01	
1534B	2.5YR2.5/4	2.5YR4/8	0	40	20		35 TGs			5.0	1.60	1.46	Trace	2.50	15.00	0.69	0.13 h1			1.19	
1538B	5YR3/4	5YR4/6	0	50	15		10 TGs			5.0	3.35	2.29	Trace	4.75	20.40	0.31	0.17 h1			0.53	
1543B	10YR5/4	10YR7/3	0	30	40		5 TG(s)			8.0	48.85	8.13	1.00	1.75	32.40	0.87	0.24 h0			1.50	
1544B	2.5Y3/2	2.5Y5/3	0	30	35		15 TG(s)			8.0	28.35	2.29	0.05	3.50	14.80	0.84	0.17 h2			1.44	
1545B	7.5YR2.5/3	7.5YR4/6	0	40	35		20 TG(s)			5.0	3.85	1.87	0.60	1.75	16.40	0.76	0.18 h2			1.31	
1553B	7.5YR3/4	7.5YR4/6	0	35	15		15 TGs			4.0							h1				

SOTER Unit-ID	Munsell Color Chart		Vegetation					pH- Value			Nutrient Exch.				Fieldtest			Analysis	Film	Foto		
	moist	dry	Trees	Shrubs	Grasses	Forbs	Code	H2O	KCl	Hellige	Ca	Mg	Na	K	CEC	Tot C	Tot N	O.M.	O.M.	No.	No.	
1554B	2.5Y2.5/1	2.5Y4/2	0	40	70	20	TG			5.5	12.10	5.63	0.05	6.50	35.80	2.60	0.27	h3		4.47		
1555B	2.5Y3/1	2.5Y4/1	0	45	70	10	TG			6.0	29.35	5.63	2.35	3.75	47.60	1.21	0.14	h3		2.08		
1557B	10YR3/2	10YR4/2	0	45	20	5	TGs			5.5	23.60	5.21	2.50	2.50	42.80	1.21	0.18	h3		2.08		
1560B	10YR2/2	10YR5/4	0	40	25	10	TGs			5.0	7.35	2.71	0.05	2.50		0.76	0.17	h1		1.31		
1562B	7.5YR3/3	7.5YR4/4	0	25	35	10	tGb			4.5	0.35	1.04	Trace	1.00	31.20	1.21	0.17	h2		2.08		
1563B	10YR3/2	10YR4/4	0	40	15	10	TGs			4.5	8.35	3.54	Trace	3.75	32.80	1.51	0.15	h2		2.60		
1568B	2.5Y2.5/1	2.5Y2.5/1	5	30	50	10	tG			5.0	21.60	6.88	1.00	4.00	46.40	2.11	0.53	h3		3.63		
1569B	2.5Y3/1	2.5Y5/2	5	20	40	10	tG			5.0	12.85	4.79	0.40	2.00	35.60	3.49	0.35	h3		6.00		
1570B	10YR3/1	10YR5/2	0	10	60	10	tG			5.0	11.10	3.54	0.05	3.50	25.00	2.18	0.27	h2		3.75		
1574B	10YR3/1	10YR5/2	0	5	70	5	(t)G			4.5	10.35	3.12	0.05	4.75	9.20	3.83	0.35	h2		6.59		
1579B	10YR3/2	10YR5/3	30	10	70	5	TG			4.0	6.85	2.29	Trace	2.50	7.40	3.08	0.38	h3		5.30		
1587B	7.5YR3/3	7.5YR4/6	30	60	20	40	TGs			6.0	8.35	3.54	0.25	3.00	21.80	1.62	0.24	h2		2.79		
1588B	5YR3/2	5YR4/4	0	60	80	30	tCG			4.5	5.10	3.54	0.25	3.00	25.60	1.47	0.25	h2		2.53		
1590B	7.5YR2.5/3	7.5YR4/4	5	20	50	20	tG			5.5	11.10	3.54	0.50	4.50	25.20	1.25	0.20	h2		2.15		
1591B	10YR3/3	10YR4/4	5	70	40	0	Td			5.0	7.35	3.54	0.25	3.25	43.20	1.55	0.15	h2		2.67		
1592B	10YR3/3	10YR5/4	5	30	30	20	tGs			5.0	5.35	2.71	0.25	2.50	16.80	1.96	0.21	h2		3.37		
1593B	7.5YR3/3	7.5YR4/4	5	15	50	20	tG			5.0	10.85	3.96	0.50	3.50	27.00	1.36	0.18	h2		2.34		
1594B	10YR3/2	10YR5/4	0	15	60	15	tG			5.0	11.35	4.37	0.50	4.00	27.60	1.73	0.24	h3		2.98		
1595B	10YR3/2	10YR5/4	0	15	60	0	tG			5.0	12.10	5.21	0.50	3.50	22.20	2.41	0.27	h3		4.15		
1597B	10YR3/2	10YR4/4	0	40	30	20	tGs			5.0	9.10	3.12	0.25	2.50	27.40	2.07	0.21	h1		3.56		
1598B	10YR3/2	10YR3/6	0	0	90	10	tG			5.0	10.10	3.54	0.25	3.25	25.40	2.00	0.18	h2		3.44		
1599B	5YR3/3	5YR4/4	0	20	60	5	tG			5.0	11.10	5.11	0.25	5.50	28.80	1.92	0.25	h3		3.30		
1601B	10YR3/3	10YR4/4	0	30	10	10	tGs			5.0	9.10	4.79	0.25	5.50	22.20	1.02	0.17	h1		1.75		
1602B	10YR3/3	10YR4/4	0	20	80	5	tG			5.0	12.35	5.21	0.25	3.50	29.80	2.15	0.21	h3		3.70		
1608B	10YR2/2	10YR3/2	0	40	40	10	TG			5.0	18.10	6.46	1.00	4.00	38.80	2.03	0.27	h3		3.49		
1610B	10YR3/1	10YR3/2	5	15	70	10	tG			6.0	16.10	5.21	0.25	6.00	35.20	2.67	0.63			4.59		
1611B	10YR3/1	10YR4/1	0	5	50	15	G			5.5	12.60	4.37	0.25	4.50	22.60	1.88	0.32	h2		3.23		
1623B	10YR3/2	10YR5/3	5	5	85	5	Cveg			5.0	2.10	1.46	1.00	2.00	18.60	3.83	0.41	h3		6.59		
1647B	7.5YR3/2	7.5YR4/4	0	15	50	10	Cfallow			5.0	9.60	2.71	0.50	3.00	21.00	3.68	0.38	h3		6.33		
1650B	10YR2/3	10YR3/2	0	25	30	20	Cfallow			5.5	15.60	9.38	Trace	4.00	30.40	2.30	0.08	h3		3.96		
1653B	10YR3/1	10YR3/2	0	15	15	10	tGs			7.5	53.10	17.72	1.00	4.00	18.80	2.30	0.24	h4		3.96		
1654B	2.5Y2.5/1	2.5Y3/1	0	20	15	10	tGs			7.0	34.85	24.39	4.50	3.00	44.60	2.18	0.50	h4		3.75		
1655B	10YR3/2	10YR3/3	0	40	20	15	TGs			6.0	32.60	9.38	0.25	3.50	37.00	2.78	0.21	h3		4.78		
1662B	5YR3/3	5YR4/4	20	5	70	30	tG			5.0	9.10	5.63	Trace	5.50	18.60	2.03	0.27	h2		3.49		
1668B	10YR3/2	10YR4/2	0	10	5	20	Cfallow			5.0	21.35	9.80	0.75	5.50	39.40	1.17	0.25	h3		2.01		
1670B	10YR3/1	10YR3/1	0	25	60	5	TG			6.0	32.10	11.05	1.00	7.50	45.20	2.37	0.25	h3		4.08		

SOTER Unit-ID	Munsell Color Chart		Vegetation					pH- Value			Nutrient Exch.				Fieldtest			Analysis	Film	Foto	
	moist	dry	Trees	Shrubs	Grasses	Forbs	Code	H2O	KCl	Hellige	Ca	Mg	Na	K	CEC	Tot C	Tot N	O.M.	O.M.	No.	No.
1674B	10YR4/3	10YR4/2	30	60	70	40	Td r. f.			6.0	12.85	4.79	Trace	5.00	25.60	1.55	0.38	h1	2.67		
1674C	10YR4/3	10YR4/2	30	60	70	40	Td r. f.			6.0	12.85	4.79	Trace	5.00	25.60	1.55	0.38	h1	2.67		
1677B	7.5YR3/2	7.5YR4/4	0	40	10	20	tGs			5.0	5.85	3.12	Trace	4.50	14.20	1.45	0.24	h1	2.49		