

Universität Bayreuth
Geographisches Institut
Lehrstuhl für Geomorphologie

Bachelorarbeit

**Bodeneigenschaften und Nährstoffgehalte von
Landnutzungsflächen in Ndendule,
D.R. Kongo**

eingereicht von

Rom, Jakob

Geographie B. Sc.

Matrikel-Nr. 1311756

Betreuer:

PD Dr. Klaus-Martin Moldenhauer

Bayreuth, den 18.09.2017

Den Menschen von Ndendule.

Merci mingi für die Hilfe und die Gastfreundschaft!

Inhaltsverzeichnis

Abbildungsverzeichnis	v
Tabellenverzeichnis.....	v
1 Einleitung	1
2 Abgrenzung des Untersuchungsgebietes.....	2
3 Erhebung der Daten.....	3
3.1 Auswahl der Standorte	4
3.2 Erhobene physikalische und chemisch-physikalische Bodeneigenschaften	7
3.3 Erhobene Nährstoffwerte	8
4 Auswertung der erhobenen Daten	10
4.1 Auswertung der Daten der physikalischen und chemisch-physikalischen Bodeneigenschaften	11
4.1.1 Bodenfarbe	11
4.1.2 Skelett-Anteil	14
4.1.3 Bodenart	15
4.1.4 Humus-Anteil	17
4.1.5 Bodengefüge.....	18
4.1.6 Hydromorphe Merkmale	19
4.1.7 pH-Wert.....	21
4.1.8 Lagerungsdichte und Durchwurzelung	22
4.1.9 Zwischenfazit zu den physikalischen und chemisch-physikalischen Bodeneigenschaften	23
4.2 Auswertung der Nährstoffwerte	25
4.2.1 Auswertung nach Nährelement	26
4.2.1.1 Stickstoff	26
4.2.1.2 Phosphor.....	28
4.2.1.3 Kalium.....	29

4.2.2 Auswertung nach den Profilen	30
4.2.2.1 Profile 1 bis 3	30
4.2.2.2 Profil 4.....	32
4.2.2.3 Profile 5 und 6.....	33
4.2.2.4 Profil 7.....	33
4.2.2.5 Profil 8 und 11	34
4.2.2.6 Profil 9 und 10.....	34
4.2.2.7 Profil 12.....	35
4.2.3 Zwischenfazit zu den Nährstoffwerten.....	35
4.3 Düngung und Bodenbearbeitung.....	36
5 Zusammenfassung.....	37
Literaturverzeichnis.....	38
Anhang	41
Ehrenwörtliche Erklärung	50

Abbildungsverzeichnis

Abbildung 1:	Geologische Gliederung der Demokratischen Republik Kongo	2
Abbildung 2:	Metamorphit in Ndendule	3
Abbildung 3:	Standorte der Bodenprofile	3
Abbildung 4:	Lage des Profils Nummer 7 bei Ndendule	5
Abbildung 5:	Anlage des Bodenprofils Nummer 2.....	8
Abbildung 6:	Nährelemente und Nährstoffe	9
Abbildung 7:	Ergebnisse der Bestimmung der Bodenfarbe	11
Abbildung 8:	Feinbodenartendiagramm.....	16
Abbildung 9:	Unterschiede zwischen Hügelmaterial und umgebenden Oberboden.....	17
Abbildung 10:	Profil Nummer 1 mit hydromorphen Merkmalen	20
Abbildung 11:	pH-Bereiche	21
Abbildung 12:	Ergebnisse der Ammoniumuntersuchungen.....	26
Abbildung 13:	Ergebnisse der Nitratuntersuchungen	27
Abbildung 14:	Ergebnisse der Phosphoruntersuchungen.....	28
Abbildung 15:	Ergebnisse der Kaliumuntersuchungen.....	30
Abbildung 16:	Alle ermittelten Nährstoffwerte im Überblick	31
Abbildung 17:	Phosphorgehalte in Abhängigkeit der Profiltiefe	36

Tabellenverzeichnis

Tabelle 1:	Ergebnisse der Abschätzung des Skelett-Anteils	14
Tabelle 2:	Ergebnisse der Abschätzung der Bodenart.....	15
Tabelle 3:	Ergebnisse der Abschätzung des Humus-Anteils.....	18
Tabelle 4:	Ergebnisse zur Ermittlung des Bodengefüges.....	19
Tabelle 5:	Ergebnisse der Ermittlung hydromorpher Merkmale.....	20
Tabelle 6:	Ergebnisse der pH-Wert-Messungen	21
Tabelle 7:	Ergebnisse der Messung der Lagerungsdichte	22
Tabelle 8:	Ergebnisse der Einstufung der Durchwurzelungsintensität.....	23
Tabelle 9:	Berechnung von Nmin aus den Ammonium- und Nitratwerten.....	27

1 Einleitung

Im September des Jahres 1983 lud die *Arbeitsgruppe tropische und subtropische Agrarforschung* kurz ATSAF zu einer Tagung über Fragen der Bodenkunde und Bodennutzung am tropischen und subtropischen Standort. Im dazu verfassten Tagungsbericht schreibt DE HAAS 1984 folgendes:

„Die Dimension der uns obliegenden Aufgabe wird deutlich, wenn man sich vergegenwärtigt, daß die Weltbevölkerung bis zum Jahre 2000 – den Schätzungen von FAO und Weltbank zufolge – um 2 Mrd. Menschen auf mehr als 6 Mrd. Menschen anwachsen wird. Damit werden in weniger als zwanzig Jahren soviel Menschen mehr zu ernähren sein, wie noch vor etwa 30 Jahren, nämlich 1950, die ganze Weltbevölkerung ausmachten. Diese Mehrproduktion ist nötig, um nur den derzeitigen, durchaus unbefriedigenden Zustand zu halten, ohne eine qualitative Verbesserung der Ernährungslage für die vielen Millionen Menschen, die gegenwärtig fehl- und unterernährt sind, zu erreichen“ (DE HAAS 1984: 18).

Die dringende Notwendigkeit der Forschung in den subtropischen und tropischen Regionen der Erde zur Verbesserung der Ernährungssituation ist also schon seit langem bekannt. Heute, im Jahr 2017, gibt es trotzdem noch stark unterversorgte Gegenden auf der Welt. Ein Beispiel hierfür ist der Ort Ndendule im Nordosten der Demokratischen Republik Kongo. Neben einer mehr als schlechten medizinischen Versorgung, hoher Kindersterblichkeit sowie mangelhafter Infrastruktur leidet die einheimische Bevölkerung noch heute an Unterernährung.

Diese Arbeit hat zum Ziel den Boden in Ndendule und Umgebung zu bewerten und aufgrund verschiedener Landnutzungsarten und Bearbeitungsformen Unterschiede in den Bodeneigenschaften zu erkennen. So soll anhand verschiedener Bodenprofile und -proben festgestellt werden inwiefern sich zum Beispiel Flächen mit landwirtschaftlicher Nutzung von Brachflächen voneinander unterscheiden. Neben dem Vergleich unterschiedlicher Landnutzungsarten soll auch die Wirkung verschiedener Düngungsmethoden auf die Böden von Ndendule bestimmt werden.

Da der Boden in Ndendule sowie der näheren Umgebung (Gemeinde Amadi) noch nie untersucht wurde stellt sich die Quellenlage als kritisch dar. Selbst in den Archiven vor Ort weist nichts auf frühere Bodenuntersuchungen in der Gemeinde Amadi hin. Nach einer kurzen Abgrenzung des Untersuchungsgebietes hinsichtlich Geographie, Geologie und Klimatologie folgt in dieser Arbeit der methodische Abschnitt der Erhebung der Daten mit einer genaueren Ausarbeitung zur Lage der verschiedenen Bodenprofile. Das Hauptaugenmerk der Arbeit liegt dann in der Auswertung der Daten. Hierbei wird zwischen den physikalischen bzw. chemisch-physikalischen Bodeneigenschaften und den Nährstoffwerten unterschieden. Den Abschluss bildet eine kurze Zusammenfassung.

2 Abgrenzung des Untersuchungsgebietes

Das Untersuchungsgebiet zu dieser Arbeit befindet sich im nordöstlichen Gebiet der Demokratischen Republik Kongo in der Provinz Bas-Uele. Es liegt im südlichen Ufergebiet des Flusses Uele, welcher in ostwestlicher Richtung durch die Provinz verläuft und später über den Ubangi und den Kongo in den Atlantischen Ozean entwässert. Der Fokus dieser Arbeit liegt auf der Ortschaft Ndendule (N 3°32'53'' E 26°45'25''). Dieses Dorf gehört zum Verwaltungsgebiet der Gemeinde Amadi und beheimatet in etwa 500 Einwohner. Das Herzstück des Ortes bildet das *Centre de Formation pour le Developpement Communautaire* (Ausbildungszentrum für die allgemeine Entwicklung, kurz: Centrum) in dem unter anderem an einer Agrarschule gelehrt wird.

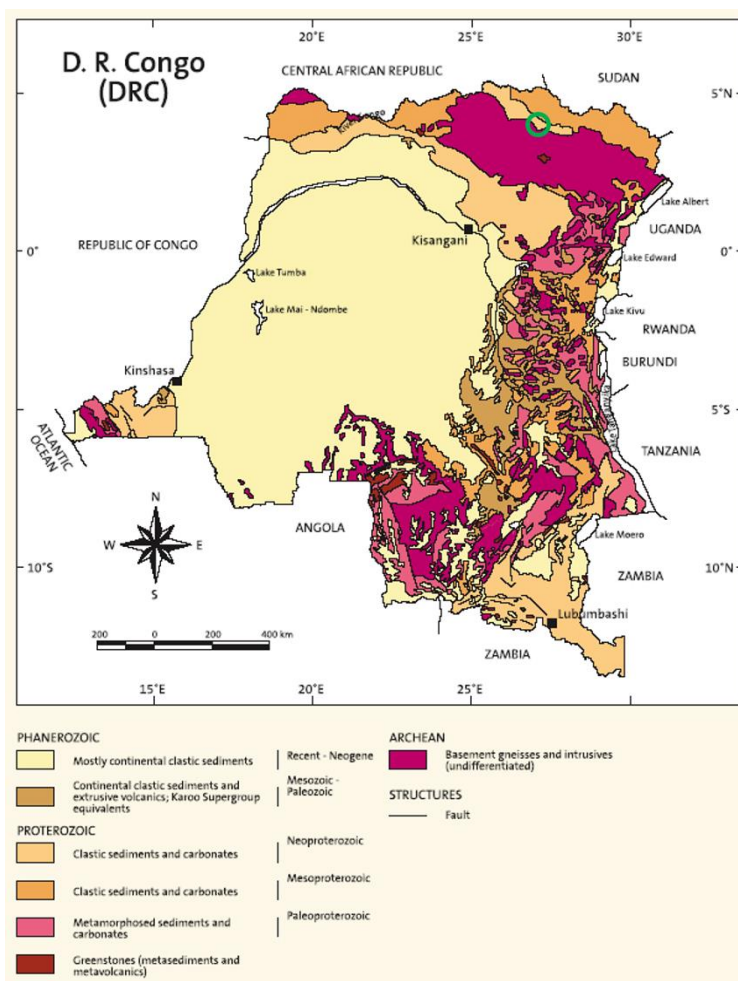


Abbildung 1: Geologische Gliederung der Demokratischen Republik Kongo. Der grüne Kreis zeigt das Untersuchungsgebiet um Ndendule (verändert nach: SCHLÜTER 2008: 77).

Die Abbildung 1 zeigt eine grobe geologische Untergliederung der Demokratischen Republik Kongo. Aus ihr geht hervor, dass im Untersuchungsgebiet klastische Sedimente des Neo- und Mesoproterozoikums, aber auch Grundgesteine aus dem Archaikum vorzufinden sind (Schlüter 2008: 77). Der in Abbildung 2 gezeigte Metamorphit wurde im Zentrum des Dorfes in einen Weg eingebaut und zeigt das an manchen Orten anstehende archaische Grundgestein. Da jedoch der durchaus große Fluss Uele in direkter Nachbarschaft (ungefähr 7 Kilometer) zum Untersuchungsgebiet liegt, ist es nahe vor allem Flussschotter als anstehendes Gestein in dieser Gegend anzunehmen.

Das Untersuchungsgebiet liegt auf den Karten von Köppen und Geiger zu den Klimaten der Erde in den Klimazonen Aw, wobei das A für tropische Klimare und w für wechselfeucht steht. Das wiederum bedeutet, dass die Durchschnittstemperatur aller Monate über 18 Grad Celsius liegt und



Abbildung 2: Metamorphit in Ndendule. (Quelle: Eigene Aufnahme 2016).

es eine Trockenzeit in den Wintermonaten gibt (Diercke Weltatlas 2010: 229). Da das Untersuchungsgebiet nur etwa 3° nördlich des Äquators liegt herrscht hier Tageszeitenklima. Für Ndendule oder Amadi selbst gibt es keine aufgezeichneten Klimadaten.

3 Erhebung der Daten

Zur Untersuchung des Bodens in Ndendule und Umgebung wurden zwischen dem 1. August und 20. August 2016 verschiedene Bodenprofile angelegt und ausgewertet. Zudem wurden Probe entnommen und dem Bayreuther Zentrum für Ökologie und Umweltforschung (BayCEER) in Bayreuth zu Laboruntersuchungen übergeben.

Insgesamt sind 12 Profile erstellt und beschrieben worden. Die Standortauswahl war dabei in den meisten Fällen abhängig von der Landnutzung. 9 der 12 Probenahmestellen befinden sich dabei direkt in Ndendule, beziehungsweise in unmittelbarer Nähe zu dem Dorf. Die Proben 4, 5 und 6

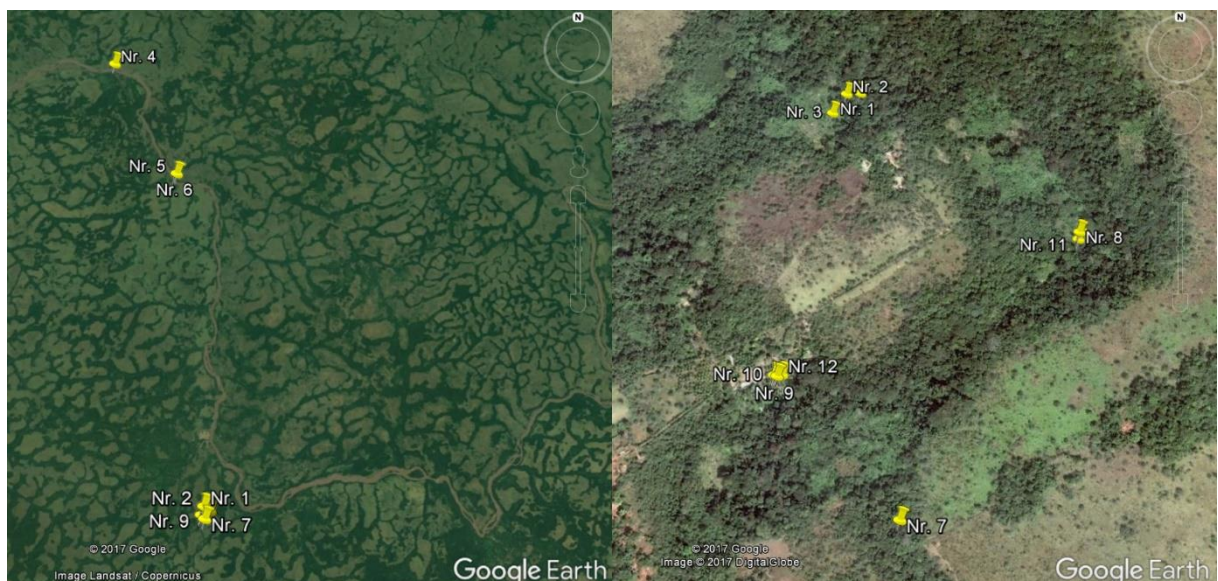


Abbildung 3: Links: Standorte der Bodenprofile in unmittelbarer Nähe zum Uele. Außer den Profilen 4, 5 und 6 befinden sich alle Probenahmestellen in direkter Nähe zur Ortschaft Ndendule. Rechts: Standorte der Bodenprofile in und um Ndendule (Quelle: Google Earth).

wurden allerdings weiter nördlich, einige Kilometer flussabwärts entnommen. Die genauen Standorte können in Abbildung 3 eingesehen werden.

Zur weiteren Auswertung und der Erhebung einiger physikalischer Bodeneigenschaften wurde an jedem Standort jeweils ein etwa 30 cm tiefes Bodenprofil angelegt. So konnten vor Ort einige Bodenmerkmale festgestellt werden: Bodenfarbe, Skelett-Anteil, Bodenart, Humus-Anteil, Bodengefüge, Hydromorphe Merkmale, pH-Wert, Lagerungsdichte und Durchwurzelbarkeit. Im Folgenden werden nun die einzelnen Standorte genauer beschrieben und die vor Ort erhobenen Daten aufgezeigt.

3.1 Auswahl der Standorte

Die Standortwahl für die einzelnen Profile hing vor Ort von mehreren Faktoren ab. Entscheidend jedoch waren in erster Linie Flächen unterschiedlicher Bodennutzung. So sollten möglichst viele, unterschiedlich genutzte Flächen beprobt werden. Des Weiteren spielte die Erreichbarkeit der Entnahmestellen eine gewisse Rolle, ebenso wurde darauf geachtet Natur- und Wirtschaftsflächen nicht zu beeinträchtigen. Im Folgenden werden die Standorte der einzelnen Profile näher beschrieben.

Die Profile Nummer 1, 2 und 3

Die ersten drei Profile befinden sich in unmittelbarer Nähe zu Ndendule (vgl. Abbildung 3). Sie liegen nur wenige Meter voneinander entfernt und werden deshalb zusammen betrachtet.

Das nördlichste dieser drei Profile ist die Nummer 1 mit den Koordinaten N 3°33'21,9'' E 26°45'34,8''. Dieser Standort wurde zur Zeit der Profilsprache nicht genutzt und befand sich nach Aussagen der lokalen Bevölkerung in einem sekundären Regenwald. Zuletzt wurde der Wald an dieser Stelle demnach 1982 abgeholzt, danach zwei Jahre lang als Ackerfeld genutzt. Seitdem liegt es nun brach, sodass sich eine Waldvegetation einstellen konnte. In naher Zukunft jedoch soll dieses Gebiet erneut gerodet und ackerbaulich genutzt werden. Aufgrund der dichten Vegetation konnte das Relief nicht sehr gut festgestellt werden, das Gelände fällt jedoch an dieser Stelle leicht nach Norden hin, in Richtung des Uele, ab.

An diese Fläche schließt sich südlich direkt ein weiteres Gebiet an, welches durch das Profil Nummer 2 (N 3°33'21,9'' E 26°45'33,4'') beprobt wurde. Dieses wurde zur Zeit der Probenahme Anfang August 2016 ackerbaulich genutzt. Zu diesem Zeitpunkt wurde dieses Areal erst vor sechs Monaten mittels Brand- und Schlagrodung von Wald befreit. Drei Monate vor der Probenahme pflanzte man hier überwiegend Trockenreis, aber auch Mais und Bohnen an. Das Feld wird nun für ca. zwei Jahre genutzt und verwildert anschließend.

Wiederum südlich dieser Ackerfläche wurde das Profil Nummer 3 mit den Koordinaten N 3°33'19,8" E 26°45'32,0" angelegt. Dieses befindet sich in einem Gebiet, das bis vor kurzem noch landwirtschaftlich genutzt wurde, dann jedoch verwildert ist und nun keine Feldfrüchte mehr angebaut werden. Der Maniok, der hier unkrautartig wächst, wird dennoch geerntet. Da die Maniok-Pflanze genügsam in Bezug auf Bodenansprüche ist und auch bei ungünstigen Standortverhältnissen wächst, wird diese häufig als letzte Frucht im tropischen Wanderfeldbau genutzt (FRANKE & FRÖHLICH 1994: 348f).

Die drei Profile 1 – 3 können also aufgrund ihrer geographischen Nähe als Ganzes betrachtet werden, wobei hier auch die Art der Landnutzung als Wanderfeldbau (*shifting cultivation*) (FRANKE 1995a: 45f), welche in dieser Region betrieben wird, ersichtlich ist. Sekundärwald (Profil 1) wird nach einigen Jahren Brachzeit gerodet und landwirtschaftlich als Acker genutzt (Profil 2). Sobald die Fläche nach wenigen Jahren nicht mehr den gewünschten Ertrag erzielt, wird diese zur Erholung nicht mehr genutzt (Profil 3) und stattdessen weiterer Wald gerodet.

Das Profil Nummer 4

Das vierte Profil wurde nicht in Ndendule, sondern etwa 52 km weiter nördlich im Ort Epi, in direkter Nähe (ca. 300 m) zum Uele entnommen (N 4°0'50,4" E 26°40'26,4"). Die Probe stammt aus einem Sekundärwald, der nun seit 20 Jahren besteht. Vorher wurde diese Fläche landwirtschaftlich genutzt.

Die Profile Nummer 5 und 6

Auch die Profile 5 und 6 wurden in direkter Nachbarschaft zueinander entnommen. Beide stammen dabei nicht aus Ndendule, sondern aus der Ortschaft Memeli 38 km nördlich von Ndendule (vgl. Abbildung 3).

Profil 5 befindet sich dabei nicht mehr als 80 Meter vom Uele entfernt und hat die Koordinaten N 3°53'22,6" E 26°44'17,4". Es wurde dabei an einem ebenen Kulminationsbereich im Scheitelbereich eines Hügels (Kulminationsbereich KS nach Bodenkundlicher Kartieranleitung) entnommen. Bei diesem Hügel handelt es sich um einen großen, ehemaligen Termitenhügel, welcher zusätzlich vor etwa sechs Jahren anthropogen verstärkt wurde und seitdem als kleine Aussichtsplattform dient.

Auch das Profil Nummer 6 (N 3°53'24,2" E 26°44'19,0") ist lediglich nur 80 Meter vom Uele entfernt und befindet sich in kleiner Entfernung vom Termitenhügel aus Profil Nummer 5. Das Gebiet hier ist zwar gerodet, wird aber nicht ackerbaulich genutzt, eine Krautschicht überlagert hier vereinzelt die vorherrschenden Gräser. Das Profil liegt nur leicht über dem Wasserspiegel des Uele auf der Terrasse T2. Da sich im Schelfbereich des Flusses ebenfalls eine Terrasse andeutet, liegt nahe, dass sich die Entnahmestelle in der Trockenzeit mindestens auf T3-Ebene befindet.

Das Profil Nummer 7

Probe Nummer 7 stammt aus einem Waldgebiet nahe Ndendule. Nach Aussagen der einheimischen Bevölkerung wurde dieser Wald noch nie gerodet und ist daher tropischer Primärwald. Bei



Betrachtung von Luftbildern wie in Abbildung 4 lässt sich allerdings erkennen, dass das Waldgebiet um Probe Nummer 7 sehr begrenzt zu sein scheint und mindestens von zwei Seiten in direkter Nähe zu Grasland oder anderweitig landwirtschaftlich genutzten Flächen liegt. Die Aussage eines tropischen Primärwaldes ist daher nicht endgültig gesichert.

Abbildung 4: Lage des Profils Nummer 7 bei Ndendule. Direkt östlich und westlich schließen sich Graslandschaften an, nördlich befinden sich ackerbaulich genutzte Flächen (Quelle: Google Earth).

Die Profile Nummer 8 und 11

Diese beiden Profile wurden ebenfalls in direkter geographischer Nachbarschaft entnommen (Abbildung 3). Sie stammen aus einem Areal nahe Ndendule.

Das Profil 8 stammt dabei von einem Feld (N 3°33'7,3'' E 26°45'55,1'') mit den Maßen 60 mal 50 Meter, welches vor fünf Jahren gerodet worden ist. Nach Aussagen des Bauern wurde die Waldvegetation dort teils mittels Feuer und teils durch Axtschlag gerodet. In den vier Jahren nach der Rodung baute man auf diesem Feld überwiegend Kochbananen an, zum Zeitpunkt der Beprobung waren Reis und Erdnüsse relativ frisch angepflanzt. Nach der Ernte sollen dann Bohnen angebaut werden, hiernach liegt das Feld voraussichtlich brach.

Im Gegensatz dazu wurde die Fläche, die mit dem Profil 11 beprobt wurde, zum Zeitpunkt der Beprobung nicht weiter landwirtschaftlich genutzt. Dieser Bereich (N 3°33'6,6'' E 26°45'55,0'') wurde vor 5 Jahren zeitgleich mit dem Feld von Probe Nummer 8 gerodet, seitdem aber nicht weiter genutzt. Nach Aussagen des Bauers wendete man auch hier Schlag- und Brandrodung an. Allerdings ist anzufügen, dass dieser Bereich noch nicht sehr sauber von Holz befreit wurde, sondern wohl erst kurz vor der Inbetriebnahme des Feldes dieses gänzlich gerodet wird. Zum Zeitpunkt der Probenentnahme herrschte eine dichte Krautschicht vor.

Die Profile Nummer 9 und 10

Die Entnahmestellen der Proben 9 und 10 sind kleine, etwa 3 m² große Versuchsflächen in einem Gemeinschaftsgarten im Centrum des Dorfes Ndendule. In der Regel wird in der Ortschaft und Umgebung keine landwirtschaftlich genutzte Fläche gedüngt. Doch die Flächen der Proben 9 und 10 werden seit einigen wenigen Jahren (leider wusste niemand seit wann genau) mithilfe von Gründünger durchmischt. Das bedeutet, dass hier verrottetes Gras und andere organische Reste eingehackt wird. Bepflanzte wurden diese Flächen nicht, zum Zeitpunkt der Probenentnahme wuchs Gras auf den Versuchsflächen. Die beiden Flächen der Profile 9 (N 3°32'53,4" E 26°45'26,1") und 10 (N 3°32'53,5" E 26°45'25,8") liegen dabei nur wenige Meter voneinander entfernt.

Das Profil Nummer 12

Das Profil Nummer 12 befindet sich genauso wie die Profile Nummer 9 und 10 in der Gartenanlage im Centrum von Ndendule. Allerdings wird das Beet, aus dem die Probe Nummer 12 entnommen wurde, nicht mit Gründünger, sondern laut Aussagen der Bevölkerung seit etwa acht bis zehn Jahren mit Rindermist gedüngt. Den Aussagen der Bauern zu Folge hatte diese Düngung auch einen erkennbar positiven Effekt auf das Pflanzenwachstum in diesem Beet. Der Dung stammt von der Rinderherde in Ndendule.

3.2 Erhobene physikalische und chemisch-physikalische Bodeneigenschaften

Nach der Auswahl eines Standortes für ein Bodenprofil wurde dieses unter Berücksichtigung von Anweisungen aus BLUME et al. 2011: 6 und der Bodenkundlichen Kartieranleitung in der fünften Auflage (AD-HOC-AG BODEN 2005: 38f) ausgehoben. Dabei muss beachtet werden, dass aufgrund der begrenzten Zeit vor Ort (Anfang August) die Profilaufnahme nicht, wie in der Kartieranleitung beschrieben, nach der Ernte (AD-HOC-AG BODEN 2005: 38), sondern wenige Monate nach der Bepflanzung vorgenommen werden musste. Hierbei wurde besonders darauf geachtet die Beschädigung der Vegetation so klein wie möglich zu halten. Ein Beispiel eines angelegten Bodenprofils zeigt Abbildung 5.

Noch vor der Probenahme erfolgte die Beschreibung des angelegten Profils anhand einiger physikalischer und chemisch-physikalischer Eigenschaften direkt vor Ort. Die Aspekte der Bodenfarbe und Bodenart wurden zudem anhand der später entnommenen Proben im Sedimentlabor des Lehrstuhls für Geomorphologie an der Universität in Bayreuth genauer untersucht. Das gesamte



Abbildung 5: Anlage des Bodenprofils Nummer 2 (Quelle: eigene Abbildung 2016).

Profil über 30 cm Tiefe betrachtete man meist als eine Einheit. Profile, bei denen allerdings augenscheinlich einer oder mehrere physikalische Eigenschaften voneinander abwichen, und somit Horizonte erkennbar wurden, sind horizontgebunden beprobt.

Näher betrachtet wurden folgende Bodeneigenschaften: Bodenfarbe, Skelett-Anteil, Bodenart, Humus-Anteil, Bodengefüge, Hydromorphe

Merkmale, pH-Wert, Lagerungsdichte und Durchwurzelbarkeit. Die ausgefüllten Formblätter bei der Geländearbeit sind für alle Bodenprofile im Anhang 1 aufgeführt. Eine ausführliche Auswertung der hiermit erhobenen Daten folgt im Kapitel 4.1.

3.3 Erhobene Nährstoffwerte

Nach der Betrachtung der eben erwähnten Bodenmerkmale erfolgte die Entnahme von Bodenproben aus den Profilen. Diese wurden als Bodenmischproben (bzw. Masseproben) aus den Profilen entnommen, sodass aus dem gesamten vertikalen Profil Bodenmaterial gesammelt wurde (BLUME et al. 2011: 77). Bei augenscheinlich unterschiedlichen, heterogenen Bodenhorizonten wurden diese separat als so genannte Sektionsprobe beprobt (BLUME et al. 2011: 77). Der optimale Zeitraum zur Entnahme von Bodenproben zum Zweck von Nährstoffuntersuchungen ist nach der Ernte, bei Stickstoffuntersuchungen im Frühjahr (BLUME et al. 2011: 77). Aufgrund des begrenzten Zeitrahmens für die Geländearbeit konnten diese Voraussetzungen nicht erfüllt werden. Wie bereits beschrieben wurden die Profile einige Monate nach der Bepflanzung beprobt.

Alle Proben trockneten nach der Entnahme zunächst an der Luft und später in einer Bodentrocknungsanlage, sodass sie kein Wasser mehr enthielten. Organische Bestandteile wurden entfernt und das Bodenmaterial, wie bei FINCK beschrieben, auf Feinboden (2 mm) gesiebt, sodass größeres Bodenskelett entfernt werden konnte (FINCK 1992: 256). Die so aufbereiteten Proben wurden anschließend dem Bayreuther Zentrum für Ökologie und Umweltforschung BayCEER zur Nährstoffmessung übergeben. Dort wurden durch verschiedene Untersuchungen der jeweilige

A. Notwendige Nährelemente		
Gruppe	Element	Aufnahme als Nährstoff
a) Kernnährstoffe	N Stickstoff	Nitrat (NO_3^-), Ammonium (NH_4^+)
	P Phosphor	Phosphat (H_2PO_4^- , HPO_4^{2-})
	K Kalium	Kali (K^+)
b) Sekundärnährstoffe	S Schwefel	Sulfat (SO_4^{2-})
	Ca Calcium	Calcium (Ca^{2+})
	Mg Magnesium	Magnesium (Mg^{2+})
c) Spurennährstoffe	Fe Eisen	Fe^{2+}
	Mn Mangan	Mn^{2+}
	Zn Zink	Zn^{2+}
	Cu Kupfer	Cu^{2+}
	Cl Chlor	Chlorid (Cl^-)
	B Bor	Borat-Anionen (H_2BO_3^- u. a.)
	Mo Molybdän	Molybdat-Anion (MoO_4^{2-} u. a.)

Abbildung 6: Nährelemente und Nährstoffe (Quelle: FINCK 1992: 10).

Nährstoffgehalt bestimmt. Zum Zwecke dieser Arbeit untersuchte man die Hauptnährelemente Stickstoff (N), Phosphor (P) und Kalium (K). Diese Elemente (N, P, K) werden auch Kernnährelemente genannt, da diese für das Pflanzenwachstum am wichtigsten sind und am dringendsten benötigt werden (FINCK 2007: 16). Neben diesen gibt es noch drei Sekundärnährelemente (S, Ca und Mg) sowie sieben Spurennährelemente (FINCK 1992: 9). Abbildung 6 zeigt in tabellarischer Form nochmal alle für Pflanzen notwendigen Nährelemente mit den dazugehörigen Nährstoffen auf. Die Nährstoffe enthalten dabei die Nährelemente und werden von der Pflanze entweder mit der Wurzel oder mit dem Blatt aufgenommen (FINCK 1992: 10; FINCK 2007: 15). Pflanzen nehmen also alle benötigten Nährelemente in Form von Nährstoffen auf.

Von der Untersuchung weiterer Spurennährelementen wurde zum Zwecke dieser Arbeit abgesehen. FINCK schreibt zu diesen: „Mangel an Spurenelementen ist in Anbetracht der meist niedrigen Bodenreaktion außer auf sehr armen Substraten relativ selten und spielt praktisch nur in Intensivkulturen eine Rolle“ (FINCK 1992: 196). Er bezieht sich bei dieser Aussage speziell auf tropische Böden. Auch bei den für diese Arbeit ausgewerteten Proben liegen alle pH-Werte zwischen 5 und 6 und damit im leicht sauren Bereich (vgl. Kapitel 4.1.7).

Das Nährelement *Stickstoff* wird vorwiegend in Form von Ammonium (NH_4^+) beziehungsweise Nitrat (NO_3^-) von den Pflanzen aufgenommen (FINCK 1992: 39). Der Stickstoff im Boden stammt zum größten Teil aus der Luft und wird im Humus gespeichert (FINCK 2007: 99). Es ist zu beachten, dass die Nährstoffe Ammonium und Nitrat bei der Zersetzung organischen Materials durch Mikroorganismen entstehen, dadurch entsteht zunächst NH_4^+ , welches wiederum in biologisch aktiven und gut durchlüfteten Böden zunächst in Nitrit (NO_2^-) und dann in Nitrat umgewandelt wird (STAHR et al. 2012: 173; AHN 1993: 122). Das bedeutet, dass man in luftarmen Böden überwiegend Ammonium, in gut durchlüfteten Böden Nitrat vorfindet (STAHR et al. 2012: 173). Stickstoff ist für die Pflanzen sehr wichtig, da er ein Bestandteil des Proteins ist und damit in jeder Zelle benötigt wird (AKINSANMI 1989: 176). Ein Mangel an Stickstoff erkennt man an Pflanzen aufgrund von eingeschränktem Wachstum, zudem verfärben sich die Blätter gelblich (AKINSANMI 1989: 176). Die

für diese Arbeit gesammelten Bodenproben wurden im BayCEER Labor in Bayreuth auf Stickstoff untersucht. Dabei erfolgte eine Doppelbestimmung des N-Gehaltes, sowohl der Wert für Ammonium, als auch für Nitrat wurde ermittelt. Es muss beachtet werden, dass der Wert für mineralischen Stickstoff (N_{\min}) entweder an feldfrischen oder gefrorenen Proben bestimmt wird. Da die hier gesammelten Proben getrocknet wurden entsprechen sie nicht den Vorschriften zur Probenaufbereitung zur N_{\min} Bestimmung. Das bedeutet, dass die für diese Arbeit bestimmten Stickstoffwerte nicht den wahren Werten entsprechen könnten. Daher stellt sich die Vergleichbarkeit der hier ermittelten Werte mit anderen N-Werten als problematisch dar, trotzdem können die Proben untereinander verglichen werden. Auf die Ergebnisse der Stickstoff-Untersuchungen wird im Kapitel 4.2.1.1 näher eingegangen.

Das Kernnährelement *Phosphor* kann in der Nährstoffform von Phosphat-Anionen von den Pflanzen aufgenommen werden (FINCK 1992: 67) und erfüllt wichtige Aufgaben beispielsweise „für den Energie-Transfer, die Synthese organischer Substanzen und als Baustein“ (FINCK 2007: 105) oder für die Zellteilung (AHN 1993: 128). Ein P-Mangel führt dabei unter anderem zu gehemmtem Wachstum und einer schwachen Wurzelbildung (FINCK 2007: 106; AHN 1993: 128). Das Phosphor im Boden stammt überwiegend aus der Verwitterung von Apatiten und ist somit ein lithogenes Element (FINCK 2007: 102; STAHR et al. 2012: 175). Bei der Verwitterung besitzen die Phosphate aufgrund ihrer geringen Wasserlöslichkeit eine niedrige Mobilitätsrate (LINHARDT & ZARBOK 2005: 54), wobei das Mobilitätsoptimum bei einem pH-Wert zwischen 5 und 6 liegt (STAHR et al. 2012: 176). Dieser pH-Bereich entspricht dem der vorliegenden Bodenproben. Im Kapitel 4.2.1.2 wird näher auf die Ergebnisse der Phosphor-Untersuchungen eingegangen.

Anders als bei Phosphor liegt *Kalium* nicht als Anion, sondern als Kation in Nährstoffform im Boden vor (FINCK 2007: 109). Es wird durch Verwitterung von primären Silikaten wie zum Beispiel Feldspat oder Glimmer frei (FINCK 2007: 109; LINHARDT & ZARBOK 2005: 44). Wie auch schon Phosphor zählt Kalium zu den lithogenen Elementen (STAHR et al. 2012: 15). Für die Pflanzen schaffen Kalium-Ionen wichtige Grundbedingungen für biochemische Prozesse und zur Regulierung des Wasserhaushaltes (SCHEFFER & SCHACHTSCHABEL 2010: 423), ein Mangel führt unter anderem zu einer schwächeren Leistung der Fotosynthese und zu einer geringeren Standfestigkeit (FINCK 2007: 111).

4 Auswertung der erhobenen Daten

Alle Daten zu den Bodeneigenschaften, die mit den bereits beschriebenen Methoden erfasst wurden, werden nun im Folgenden näher betrachtet und bewertet.

4.1 Auswertung der Daten der physikalischen und chemisch-physikalischen Bodeneigenschaften

Zunächst werden nun die gesammelten Daten zu den physikalischen und chemisch-physikalischen Bodeneigenschaften betrachtet, welche im Kapitel 3.2 bereits genannt wurden. Diese sind zum größten Teil bereits vor Ort bestimmt worden.

4.1.1 Bodenfarbe

Die Bodenfarbe ist zwar zunächst direkt am Bodenprofil, genau jedoch dann im Labor der Geomorphologie an der Universität in Bayreuth untersucht worden. Da bei der Bestimmung vor Ort der subjektive Farbeindruck möglicherweise von einigen Faktoren wie einer unterschiedlichen Beleuchtung etc. beeinflusst werden kann, erfolgte die verbesserte Bestimmung der feuchten und


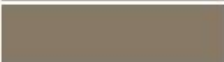

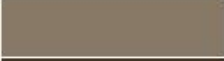
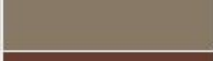





















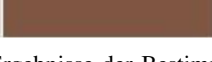

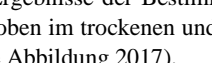
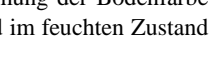
Proben Nr.	Trocken	Feucht
1		
2		
3		
4		
5		
6		
7.1		
7.2		
8		
9.1		
9.2		
10.1		
10.2		
11		
12		

Abbildung 7: Ergebnisse der Bestimmung der Bodenfarbe an den Profilproben im trockenen und im feuchten Zustand (Quelle: Eigene Abbildung 2017).

trockenen Bodenproben mittels der „Munsell Soil Color Chart“ in Bayreuth. Die Nutzung einer Farbtafel ermöglicht eine bessere Vergleichbarkeit und erzeugt objektive Ergebnisse (AD-HOC-AG BODEN 2005: 109; BLUME et al. 2011: 14). Für die Analyse von Bodenproben haben sich die Munsell-Farbtafeln bewährt. Sie beschreiben Farben mithilfe von drei Angaben: Farbart (Hue), Helligkeit (Value) und Intensität (Chroma). Das Farbsymbol nach Munsell 10YR 5/3 setzt sich wie folgt zusammen: Hue 10YR (Yellow Red), Value 5 und Chroma 3. Dieses Beispiel entspricht einem graubraunen Farbton (AD-HOC-AG BODEN 2005: 109). Da sich die Bodenfarbe bei unterschiedlichem Wassergehalt ändert wurden alle Proben zweimal hinsichtlich ihrer Bodenfarbe bestimmt: Im feuchten und im trockenen Zustand (BLUM 2012: 61). Die Ergebnisse der Bestimmung der Bodenfarbe aus allen zwölf Bodenprofilen zeigt die Abbildung 7.

Grundlegend kann festgestellt werden, dass alle Farben der feuchten Proben etwas dunkler bestimmt wurden. Das liegt daran, dass das Licht auf feuchtem Boden weniger stark reflektiert wird als auf trockenem Material. Daher erscheint dieser intensiver und dunkler (BLUM 2012: 61). Die Proben Nummer 1 und 2 weisen sowohl im trockenen als auch im feuchten Zustand vergleichbare Farbtöne auf. Diese beiden Proben stammen aus benachbarten Profilen auf Flächen mit ähnlicher Nutzung, der sekundäre Regenwald wurde bei Profil Nummer 2 erst vor sechs Monaten gerodet (vgl. Kapitel 3.1). Die erst vor kurzem veränderte Landnutzungsart scheint keinen Einfluss auf die Bodenfarbe zu nehmen. Die Probe Nummer 3 hingegen erscheint in deutlich dunkleren Tönen, vor allem in feuchtem Zustand. Auf der Fläche um dieses Bodenprofil wurde bis vor kurzem Ackerbau betrieben, erst seit einem halben Jahr liegt der Acker nun brach. Der dunkle Farbton dieser Probe könnte aus den Rückständen organischer Substanzen resultieren, welche dem Boden braunschwarze Farbe verleihen (BLUM 2012: 61). Die Proben 1 bis 3 haben alle einen grauen Farbwert (10YR) als Grundlage und erscheinen nicht rötlich. Tropische Böden haben oft eine rötliche Farbe, hervorgerufen durch die Eisenverbindung Hämatit, welches bei hohen Bodentemperaturen entsteht. Dieser Prozess der Rotfärbung tropischer Böden wird als Rubefizierung bezeichnet (ZECH et al. 2014: 103). Eine übermäßig starke Auswaschung der oberen Bodenhorizonte könnte bei den Profilen 1 bis 3 jedoch für diese fahle Farbe gesorgt haben. Vor allem am ersten Profil wurde schon bei der Probenahme ein sehr hoher Wassergehalt festgestellt, mit Stauwasser in 30 cm Tiefe.

Bei der Probe 4 ist der rötliche Stich in der Bodenfarbe im trockenen und im feuchten Zustand am besten zu erkennen. Daher muss der Boden hier sehr eisenhaltig sein. In diesem Profil wurden auch Laterit-Kügelchen gefunden, welche in wenigen Metern Entfernung zum Befestigen eines Weges genutzt wurden und daher möglicherweise anthropogen in das Profil eingetragen wurden. Dieser Laterit, oder auch Pisolith entsteht durch eine Sesquioxidanreicherung und besitzt einen hohen Gehalt an Eisen (ZECH et al. 2014: 101). Dieser hohe Eisengehalt wiederum ist verantwortlich für die rote Farbe.

Die Proben 5 und 6 sind in ihrer Bodenfarbe wieder sehr ähnlich. Die trockenen Proben erscheinen in Grautönen, ähnlich denen der Proben 1 bis 3. Ist der Boden angefeuchtet, so zeichnen sich jedoch deutlich dunklere Farben heraus, wobei bei der Probe Nummer 6 der Farbton mehr in einen Braunton übergeht als bei Nummer 5.

Vermutlich aus einem Primärwald stammt die Probe Nummer 7 (vgl. Kapitel 3.1). Vor allem aufgrund von Unterschieden in der Lagerungsdichte wurden dem Profil zwei Bodenproben entnommen, die Horizontgrenze verläuft in 22 cm Tiefe. Bei der Betrachtung der Bodenfarbe jedoch lässt sich kein Unterschied zwischen dem oberen (Probe 7.1) und dem unteren (Probe 7.2) Horizont festmachen. Beide Proben weisen nach den Munsell-Farbtafeln fast identische Farben auf. Im trockenen Zustand lässt sich der rote Farbstich des Bodens sehr gut festmachen. Auch hier ist

vermutlich die Rubefizierung aufgrund einer Anreicherung von Hämatit dafür verantwortlich. Bei den angefeuchteten Bodenproben verdunkelt sich die Farbe etwas und der rote Eindruck weicht leicht zurück.

Die Proben Nummer 8 und 11, die aufgrund ihrer geographischen Nähe und ihrer ähnlichen Landnutzung zusammen betrachtet werden (vgl. Kapitel 3.1), unterscheiden sich in ihrer Farbe kaum voneinander. Beide haben erneut einen gräulichen Grundton, jedoch vor allem im feuchten Zustand mit Brauntönen.

Auch die Proben 9 und 10 werden aufgrund ihrer geographischen Nähe und ihrer ähnlichen Nutzung zusammen betrachtet. Bei beiden wurden wie schon beim Profil Nummer 7 zwei Horizonte beprobt, die sich hier auch in ihrer Farbe deutlich voneinander unterscheiden. Betrachtet man beide Profile, so stellt man fest, dass sich Nummer 9 und 10 in ihrer Farbe kaum voneinander unterscheiden. Der obere Horizont, der in beiden Fällen in ca. 20 cm Tiefe endet, ist im trockenen Zustand eher braun als grau. Somit unterscheiden sich die Proben Nummer 9 und 10 von allen anderen trockenen Proben, die eher gräuliche Farben aufweisen. Im feuchten Zustand wird der Braunton noch etwas intensiver und dunkler. Diese dunklen, bräunlichen Farben haben eine Anreicherung von Humus im Oberboden als Ursache. Anders als allen bisher genannten Proben werden die Flächen der Profile 9 und 10 seit einigen Jahren mit Gründünger gedüngt (vgl. Kapitel 3.1). Das in den Oberboden eingehackte organische Material kann von Mikroorganismen zu Humus zersetzt werden und somit zu einem erhöhten Humusgehalt führen. Abgestorbenes organisches Material wird in den Tropen rasch zersetzt, was wiederum zu relativ humusarmen Oberböden führt (ZECH et al. 2014: 101). Da den Böden der Profile 9 und 10 weiteres organisches Material anthropogen zugeführt wurde, konnte sich also Humus relativ zu anderen Bodenproben anreichern und somit unterscheiden sich diese beiden Proben in ihrer Farbe etwas zu den bisherigen Proben. Die jeweils zweiten beprobten Horizonte der Proben 9 und 10 fehlt dieser intensive Braunton. Sowohl im trockenen als auch im feuchten Zustand erinnern die Farben eher an bräunliches grau. Es ist wahrscheinlich, dass der eingebrachte Gründünger nicht unterhalb einer Tiefe von ca. 20 cm eingehackt wurde. Somit ist hier der Humusgehalt nicht in einem solchen Umfang angereichert wie in den Horizonten 9.1 und 10.1. Trotzdem weisen die beiden Horizonte 9.2 und 10.2 etwas dunklere Farbtöne auf als die meisten restlichen Proben. Durch Auswaschung kann hier nämlich organisches Material aus dem Oberboden angeliefert werden.

Die Probe Nummer 12 erscheint in dunklen Tönen und ähnelt in ihren Farben der Probe Nummer 7. Die Rotfärbung kann man besonders im trockenen Zustand sehr gut beobachten. Auch hier ist die Rubefizierung in den tropischen Böden wohl dafür verantwortlich (ZECH et al. 2014: 101). Die Fläche um Profil Nummer 12 wird seit mehreren Jahren mit Rindermist gedüngt (vgl. Kapitel 3.1), allerdings hat diese Düngung wohl andere Auswirkungen auf die Bodenfarbe als die Gründüngung

der Profile 9 und 10. Ein erhöhter Humusgehalt kann allein aufgrund der Bodenfarbe der Bodenprobe 12 nicht festgestellt werden.

4.1.2 Skelett-Anteil

Das Bodenskelett, beziehungsweise Grobboden, besteht aus allen mineralischen Bodenpartikeln mit einem Durchmesser von mehr als 2 mm (STAHR et al. 2012: 42). Der Anteil des Bodenskeletts ist hier direkt vor Ort an der Profilwand abgeschätzt worden. Zur Klassifizierung wurde die Bodenkundliche Kartieranleitung hinzugezogen. Nach eben jener wird der Grobboden in sechs Stufen eingeordnet. Stufe 1 bedeutet einen sehr schwachen Anteil an Bodenskelett mit < 2 Volumen-% und < 3 Masse-% (AD-HOC-AG BODEN 2005: 150). Die höchste Stufe ist somit die sechste mit extrem starken Anteil an Grobboden. Für den Boden als Pflanzenstandort spielt der Skelett-Anteil eine Rolle. Zusammen mit der Bodenart ist er wichtig für den Wasser- den Luft- und den Nährstoffhaushalt (BLUM 2012: 50). So führt ein hoher Skelett-Anteil beispielsweise zu größeren Zwischenräumen zwischen einzelnen Bodenpartikeln. Auch die Durchwurzelung und die Bearbeitbarkeit hängt vom Grobboden ab (BLUM 2012: 150). Weiterführend können beim Bodenskelett Kies, Grus und Steine unterschieden werden (BLUME et al. 2011: 23).

Proben Nr.	Skelett-Anteil
1	sehr schwach
2	sehr schwach
3	sehr schwach
4	sehr stark
5	sehr schwach
6	sehr schwach
7.1	sehr schwach
7.2	sehr schwach
8	sehr schwach
9.1	schwach
9.2	sehr schwach
10.1	schwach
10.2	sehr schwach
11	sehr schwach
12	schwach

Tabelle 1: Ergebnisse der Abschätzung des Skelett-Anteils.

Tabelle 1 zeigt die Ergebnisse der Untersuchung des Skelett-Anteils an den Profilen aus Ndendule und Umgebung. In den meisten Fällen schwankt dabei der Anteil zwischen sehr schwach und schwach, was den Stufen 1 und 2 aus der Bodenkundlichen Kartieranleitung entspricht. Allein bei der Probe Nummer 4 wurde ein sehr starker Anteil (Stufe 5) festgestellt. Diese Probe stammt aus dem Profil bei der Ortschaft Epi. Der Grobboden besteht hier zum größten Teil aus gerundeten Kiesen mit Durchmessern zwischen 5 und 40 mm. Da vom Ort des Profils der Fluss Uele nur etwa 300 m entfernt, und die Fläche in jedem Fall dem Überschwemmungsgebiet des Flusses zuzuschreiben ist, ist anzunehmen, dass diese vom Transport gerundeten Kiese vom Uele transportiert und hier abgelagert wurden. Allerdings ist auch eine weitere Möglichkeit denkbar. Nur

wenige Meter von der Probenahmestelle entfernt wurde mithilfe von Laterit-Kügelchen ein Waldweg befestigt. Dieser Laterit, oder auch Pisolith (ZECH et al. 2014: 101), auf den Wegen ähnelt den im Profil gefundenen Kiesen sehr. So ist es denkbar, dass der hohe Skelett-Anteil zumindest zum Teil anthropogen beeinflusst wurde. Dieser anthropogene Effekt wird umso größer, wenn man bedenkt,

dass in den Profilen Nummer 5 und 6 kaum Grobboden gefunden wurde (vgl. Tabelle 1). Diese beiden Profile stammen allerdings aus nächster Nähe (ca. 80 m) zum Uele und befinden sich ebenfalls im Überschwemmungsgebiet. So ist es zumindest sehr wahrscheinlich, dass der hohe Skelett-Anteil des Profils Nummer 4 nicht nur im Transport durch den Uele seine Ursache hat.

Ausgenommen des Profils 4 findet man kaum Skelett in den oberen 30 cm der Böden in und um Ndendule. Aufgrund der Nähe aller Bodenprofile zum Uele war dieses Ergebnis sicherlich nicht zu erwarten.

4.1.3 Bodenart

Die Bodenart ist die „Körnungs- oder Textur-Klasse, die vom Anteil der Korn-Fraktionen S, U und T am Feinboden bestimmt wird“ (BLUM 2012: 50). Das bedeutet, dass die Bodenart abhängig ist von der Zusammensetzung des Feinbodens. Zu ihr wiederum zählen alle mineralischen Partikel des Bodens, die einen Durchmesser von 2 mm nicht überschreiten. Dabei werden drei Hauptgruppen unterschieden: Teilchen mit einem Durchmesser zwischen 2 mm und 63 µm werden als Sand (S) bezeichnet, bei Durchmessern zwischen 63 µm und 2 µm spricht man von Schluff (U) und alle Teilchen kleiner als 2 µm werden Tone (T) genannt (STAHR et al. 2012: 43f). Im Boden sind Körner dieser drei Hauptgruppen in unterschiedlichen Verhältnissen miteinander vermischt (SCHEFFER & SCHACHTSCHABEL 2010: 173). Dieses Verhältnis gilt es nun zu bestimmen um die jeweilige Bodenart zu erhalten. Wie schon der Skelett-Anteil, so beeinflusst die Bodenart im Besonderen wichtige Eigenschaften von Böden. Er spielt eine große Rolle für den Wasser-, Luft- und

Proben Nr.	Bodenart
1	Lu
2	Lu
3	Ls2
4	Ls4
5	Tl
6	Lt3
7.1	Uls
7.2	Uls
8	Lt3
9.1	Ls2
9.2	Lt3
10.1	Ls3
10.2	Lt3
11	Ts3
12	Ls4

Tabelle 2: Ergebnisse der Abschätzung der Bodenart.

Nährstoffhaushalt ebenso wie für die Durchwurzelung und die Bearbeitbarkeit (BLUM 2012: 50). In Böden mit hohen Anteilen an Sanden gibt es größere Zwischenräume, also größere Poren. Somit kann Wasser und Luft den Boden schneller durchdringen. Sandige Böden lassen sich gut durchwurzeln und bearbeiten (BLUM 2012: 50). Hohe Tonanteile in Böden haben gegenteilige Effekte, also eine schlechte Wasserführung, dafür aber ein hohes Wasserhaltevermögen bei schlechter Durchlüftung. Sie lassen sich schwerer durchwurzeln und bearbeiten (BLUM 2012: 52). Somit spielt die Bodenart auch eine große Rolle bei der Ermittlung der Bodenfruchtbarkeit. Dabei sind Böden mit einseitiger Korngrößenverteilung eher ungünstig, ausgeglichene Verteilungen (Lehme L) werden bevorzugt (BLUM 2012: 50-52).

Die Bestimmung der Bodenart kann auf vielfache Weise und mit viel Aufwand sehr genau bestimmt werden. Zum Zwecke dieser Arbeit genügt jedoch eine Abschätzung der Korngrößenverteilung mithilfe der Fingerprobe. Diese wurde, wie etwa bei BLUME et al. beschrieben, direkt vor Ort durchgeführt (BLUME et al. 2011: 20f). Zusätzlich wurde die Methode anhand der genommenen Bodenproben im Labor der Geomorphologie an der Universität Bayreuth wiederholt und das Ergebnis so überprüft.

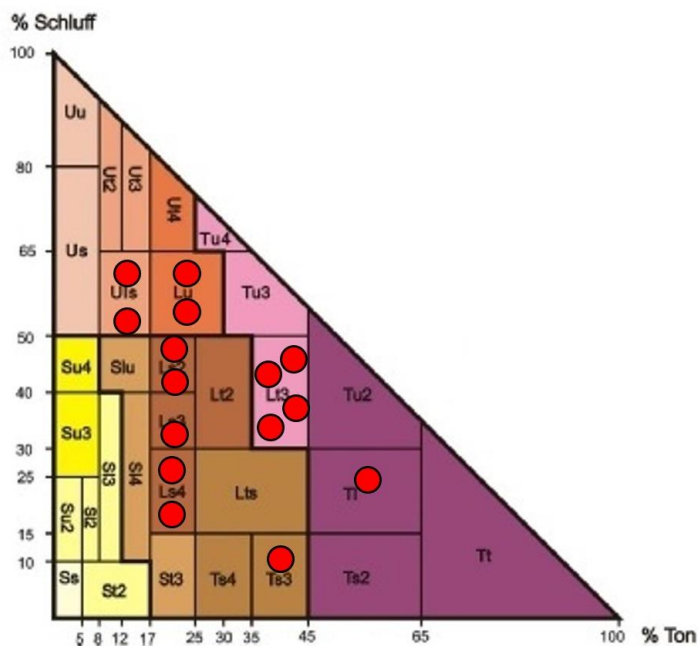


Abbildung 8: Feinbodenartendiagramm mit den eingetragenen Werten aus Tabelle 2 (verändert nach AD-HOC-AG-BODEN 2005: 142).

Tabelle 2 zeigt die Einteilung der einzelnen Bodenproben in die verschiedenen Bodenarten-Klassen. Der Großbuchstabe gibt dabei die Hauptfraktion an, Kleinbuchstaben stehen für Nebenfraktionen. Somit ergibt sich für die Bodenart Lu schluffigen Lehm. Die Kennziffern 2, 3 und 4 stehen für weitere Abstufungen, wobei 2 für schwach, 3 für mittel und 4 für stark steht (AD-HOC-AG BODEN 2005: 142). Zur besseren Veranschaulichung dient ein Feinbodenartendiagramm aus der Bodenkundlichen

Kartieranleitung (Abbildung 8). Hier sind die verschiedenen Fraktionen auf drei Skalen aufgetragen. Die roten Punkte stellen die Ergebnisse aus Tabelle 2 dar und zeigen ihre Verteilung innerhalb des Diagramms auf. Es zeigt sich, dass die meisten der untersuchten Bodenproben in der Mitte des Diagramms, also bei den Lehmen zu finden sind. Dieses Ergebnis ist etwas überraschend, da aufgrund der Nähe aller Proben zum Uele ein höherer Sandanteil zu erwarten gewesen wäre.

Einer der größten Ausreißer ist Probe Nummer 5 mit der Bodenart Tl. Damit ist diese die einzige, die der Bodenartengruppe „Lehmtone“ zuzuordnen ist (AD-HOC-AG BODEN 2005: 142) und hat einen höheren Anteil an Ton als alle anderen genommenen Bodenproben. Diese Probe sticht besonders dann heraus, wenn man bedenkt, dass sie nur wenige Meter entfernt von Probe Nummer 6 (Lt3) genommen wurde. Zwar wurde auch in diesem Profil ein hoher Tongehalt gefunden, doch schon bei der Probenahme konnte man den Unterschied zwischen diesen beiden Profilen erkennen. Mit einem Tongehalt zwischen 45 % und 65 % ist Probe Nummer 5 von allen genommenen Bodenproben am tonreichsten. Dieses Profil wurde auf einem kleinen Hügel nahe der Ortschaft Memeli angelegt. Wie bereits im Kapitel 3.1 erwähnt handelt es sich hierbei um einen ehemaligen Termitenbau. GROHMANN untersuchte in seiner Dissertation unter anderem das Material von

Termitenbauten in Namibia genauer. Sie stellte fest, dass sowohl neues, als auch altes Material auf Termitenhügeln einen Tongehalt von etwa 30 % aufweisen (GROHMANN 2010: 48). Dieser Wert liegt jedoch deutlich unterhalb des Wertes aus Probe 5 bei Memeli. GROHMANN vergleicht in ihrer Arbeit allerdings auch den Oberboden aus der Umgebung eines Termitenhügels mit dem Material des Termitenbaus selbst. Ihre Ergebnisse zeigt Abbildung 9 auf. Hierbei ist lediglich der Unterschied im Tongehalt wichtig. So kann man erkennen, dass in allen von GROHMANN beprobten Fällen der Tongehalt auf einem Termitenhügel etwas höher ist als im Oberboden des umgebenden Bodens. Auch in bei den Proben in Memeli ist das zu beobachten. Der Tongehalt im Profil auf dem Hügel (Profil 5) ist etwas höher als der des Oberbodens in näherer Umgebung (Profil 6). Termiten können also den Unterschied des Tongehaltes zwischen Profil 5 und 6 erklären, nicht jedoch den

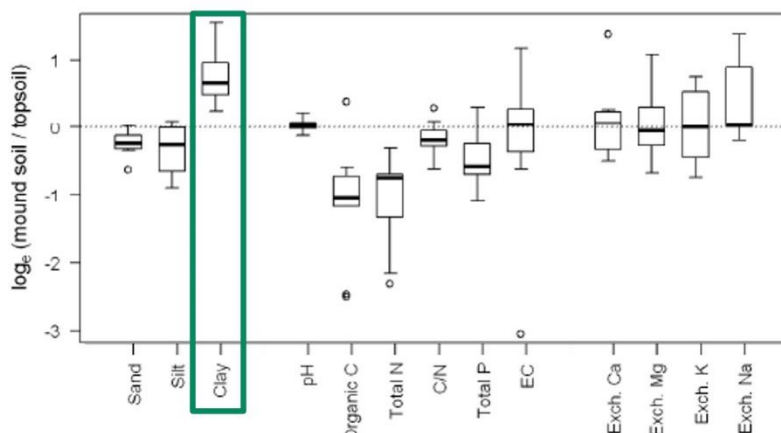


Abbildung 9: Unterschiede zwischen Hügelmaterial und umgebenden Oberboden. Mit grün wurde der Tongehalt markiert (verändert nach GROHMANN 2010: 45).

überdurchschnittlich hohen absoluten Tongehalt in beiden Proben. Eine Erklärung hierfür könnte der Uele liefern, der nur ca. 80 Meter entfernt liegt. Die Profile liegen jeweils in der Flussaue, sodass der Fluss in Überschwemmungsphasen dieses feine Bodenmaterial hier abgelagert haben kann.

4.1.4 Humus-Anteil

Als Humus wird das gesamte abgestorbene organische Material in einem Boden bezeichnet (BLUM 2012: 26; SCHEFFER & SCHACHTSCHABEL 2010: 52). Der größte Teil des Humus stammt von toten Pflanzenwurzeln und von oberirdischen Teilen abgestorbener Pflanzen. Letzteres wird auch als Streu bezeichnet. Des Weiteren zählen zum Humus auch abgestorbene tierische Bodenorganismen (BLUM 2012: 26). Abgestorbenes organisches Material wird von Mikroorganismen in Huminstoffe umgesetzt, dieser Prozess wird Humifizierung genannt (STAHR et al. 2012: 65f). Weiterhin nennt man den vollständigen mikrobiellen Abbau zu anorganischen Stoffen Mineralisierung. Dabei werden auch enthaltene Nährelemente freigesetzt (SCHEFFER & SCHACHTSCHABEL 2010: 52). In Bezug auf das Pflanzenwachstum ist Humus also ein wichtiger Faktor für den Nährstoffhaushalt. Ein hoher Gehalt an Humus beeinflusst weitere wichtige Einflussgrößen wie Struktur, Sorption und das Bodenleben (FINCK 2007: 21).

Proben Nr.	Humus-Anteil
1	h0 - h1
2	h0 - h1
3	h1
4	h0
5	h0 - h1
6	h1
7.1	h1
7.2	h0
8	h1 - h2
9.1	h1
9.2	h0
10.1	h1
10.2	h0
11	h1 - h2
12	h3 - h4

Tabelle 3: Ergebnisse der Abschätzung des Humus-Anteils.

Zum Humusgehalt tropischer Böden schreiben ZECH et al.: „Trotz des hohen Laubstreuanfalls sind die A-Horizonte nicht übermäßig humusreich, da die Streu rasch mineralisiert sowie von Termiten und Ameisen gefressen wird“ (ZECH et al. 2014: 101). Zudem kommen aufgrund der teils starken Niederschläge in den Sommermonaten der Auswaschung und der Bodenerosion eine große Bedeutung zu. Wie in der Bodenkundlichen Kartieranleitung beschrieben wurde der Humus-Anteil der Böden nach optischen Eindrücken vor Ort abgeschätzt. Zu bedenken ist, dass diese Eindrücke von anderen Faktoren wie beispielsweise der Bodenart verfälscht werden können (AD-HOC-AG BODEN 2005: 110f). Tabelle 3 zeigt den beobachteten Humus-Anteil aus allen Bodenprofilen. Abgestuft werden die Gehalte von h0 (humusfrei) bis h7 (organisch, Torf) (vgl. AD-HOC-AG BODEN 2005: 112).

Wie zu erwarten war ist der durchschnittliche Humusgehalt in den oberen 30 cm der beprobten Böden sehr gering. Es gibt kaum Unterschiede zwischen landwirtschaftlichen Nutzflächen (Proben 2, 8, 9, 10, 11) und Proben aus Flächen ohne Nutzung. Lediglich die Proben Nummer 8 und 11 weisen leicht erhöhte Werte auf. Möglicherweise liegt dies an der Restasche aus Brandrodungen auf beiden Flächen. Einzig die Probe Nummer 12 zeigt mittlere bis hohe Gehalte an Humus auf. Dies ist eindeutig mit der intensiven Düngung durch tierischen Dung in Verbindung zu bringen. Auf den Flächen 9 und 10, welche sich in direkter Nachbarschaft zur Probe 12 befinden und mit Gründünger versetzt wurden, ist der Humus-Gehalt sehr niedrig. Zusätzlich ist bei den unterteilten Proben 7, 9 und 10 zu erkennen, dass der Humus-Anteil mit zunehmender Tiefe abnimmt.

4.1.5 Bodengefüge

Das Bodengefüge gibt die Struktur des Bodens wieder. Es beschreibt die räumliche Anordnung von mineralischen und organischen Bestandteilen zueinander und ist somit unter anderem wichtig für die Porenverteilung im Boden (BLUM 2012: 52). Das Gefüge kann in Makro- und Mikrogefüge unterteilt werden, wobei allein das Makrogefüge mit bloßem Auge vor Ort bestimmt werden kann (SCHEFFER & SCHACHTSCHABEL 2010: 196) und deshalb für diese Untersuchung beschrieben wird. Das Makrogefüge kann weiter untergliedert werden in Einzelkorn-, Kohärent- und Aggregatgefüge, welche wiederum unterteilt werden können (SCHEFFER & SCHACHTSCHABEL 2010: 196 – 198). Das jeweilige Bodengefüge wurde direkt vor Ort an den Profilwänden bestimmt. Hierzu kam unter

anderem die Fallprobe, wie in der Bodenkundlichen Kartieranleitung beschrieben, zum Einsatz (AD-HOC-AG BODEN 2005: 116f). Die Ergebnisse dieser Untersuchungen können in der Tabelle 4 eingesehen werden. Die jeweiligen Gefüge wurden mit den entsprechenden Abkürzungen nach der Kartieranleitung eingetragen und werden im Folgenden kurz erläutert.

Proben Nr.	Bodengefüge
1	koh
2	sub
3	sub
4	pol
5	pol
6	pol
7.1	pol
7.2	pol
8	sub
9.1	sub
9.2	sub
10.1	sub
10.2	sub
11	sub
12	pol

Tabelle 4: Ergebnisse zur Ermittlung des Bodengefüges.

Das Kohärentgefüge (koh) zählt zu den Grundgefügen. Hier erscheint das Bodenprofil als ungegliederte Masse, bei der die einzelnen Bodenteilchen miteinander verklebt sind (AD-HOC-AG BODEN 2005: 117; SCHEFFER & SCHACHTSCHABEL 2010: 196). Für ein Kohärentgefüge sind wassergesättigte, tonige oder schluffige Böden typisch (AD-HOC-AG BODEN 2005: 117). Hier wurde für Probe Nummer 1 ein Kohärentgefüge gekennzeichnet. Die Ursache dafür liegt wohl vor allem am hohen Wassergehalt des Profils zum Zeitpunkt der Beprobung.

Für alle anderen Profile wurden entweder Polyedergefüge (pol) oder Subpolyedergefüge (sub) notiert. Diese werden den Absonderungsgefügen zugeteilt (AD-HOC-AG BODEN 2005: 118). Von einem Polyedergefüge spricht man bei annähernd gleich großen Aggregaten mit scharfen Kanten,

rechten Winkeln und glatten Oberflächen. Häufig treten solche Bodengefüge bei tonreichen Böden auf (SCHEFFER & SCHACHTSCHABEL 2010: 198). Der Unterschied zum Subpolyedergefüge besteht in der Beschaffenheit der Kanten der Aggregate. So sind diese bei letzterem abgerundet, da sich die Aggregate durch wiederholtes Quellen und Schrumpfen der Böden aneinander reiben (SCHEFFER & SCHACHTSCHABEL 2010: 198). Somit deuten alle Böden mit einem subpolyedrischen Makrogefüge auf diverse Quellungs- und Schrumpfungsprozesse hin. Bei den saisonal sehr hohen Niederschlägen und den hohen Tongehalten der Böden in und um Ndendule sind diese Bodengefüge daher plausibel und zu erwarten.

4.1.6 Hydromorphe Merkmale

Hydromorphe Horizonte weisen Flecken und Konkretionen von Eisen- und Manganverbindungen auf. Diese Färbungen des Bodens entstehen durch Reaktionen dieser Elemente mit Wasser und wird daher mit Schwankungsbereichen von Grund- oder Stauwasser in Verbindung gebracht (AD-HOC-AG BODEN 2005: 112). Unterschieden werden hierbei zwischen oxidativen und reduktiven Merkmalen, die meist gut an ihrer Farbe zu unterscheiden sind (oxidativ: rostfarben; reduktiv: grün-

oder blaufarben). Für die Untersuchungen der Böden von Ndendule wurden die Hydromorphiemerkmale optisch vor Ort an den Profilen bestimmt. Die Ergebnisse zeigt Tabelle 5 auf.

In den meisten Profilen wurden in den oberen 30 cm keine hydromorphen Anzeichen gefunden. Das bedeutet, dass hier Grund- oder Staunässe keine Probleme für das Pflanzenwachstum darstellen. Lediglich an manchen Standorten (Profil Nummer 2, 8 und 11) wurde gemäß der Bodenkundlichen Kartieranleitung „es“ für Mangankonkretionen eingetragen. Nach dem Komma stehen jeweils die Flächenanteile der jeweiligen Merkmale (vgl. AD-HOC-AG BODEN 2005: 53), wobei f1 sehr gering (Flächenanteil < 1 %) bedeutet und f9 fast ausschließlich (Flächenanteil ≥ 90 %). Das heißt, dass in den Profilen 2, 8 und 11 zwar Mangankonkretionen gefunden wurden, diese jedoch sehr selten vorkommen. Eine Ausnahme bildet das Profil Nummer 1. Das „e“ bedeutet oxidative Eisen- und Manganverbindungen (vgl. AD-HOC-AG BODEN 2005: 113) mit einem Flächenanteil von 2 % bis < 5 % (f3). Die Abbildung 10 zeigt das Profil Nummer 1. Die rostbraunen Flecken und schwarzen Manganstreifen sind deutlich zu erkennen. Das bedeutet, dass dieser Boden schon in geringer Tiefe regelmäßig im Stauwasserbereich liegt.

Proben Nr.	Hyd. Merkmale
1	e, f3
2	es, f1
3	---
4	---
5	---
6	---
7.1	---
7.2	---
8	es, f1
9.1	---
9.2	---
10.1	---
10.2	---
11	es, f1
12	---

Tabelle 5: Ergebnisse der Ermittlung hydromorpher Merkmale.



Abbildung 10: Das Profil Nummer 1 mit hydromorphen Merkmalen. In ca. 35 cm Tiefe ist Stauwasser zu erkennen (Quelle: Eigene Aufnahme 2016).

4.1.7 pH-Wert

Der pH-Wert (oder auch die Bodenreaktion) ist einer der wichtigsten Kenngrößen von Böden, vor allem in Bezug auf die Eignung des Bodens als Pflanzenstandort (SCHEFFER & SCHACHTSCHABEL 2010: 151). Er wird definiert durch die Konzentration von Wasserstoffionen im Boden (FINCK 2007:

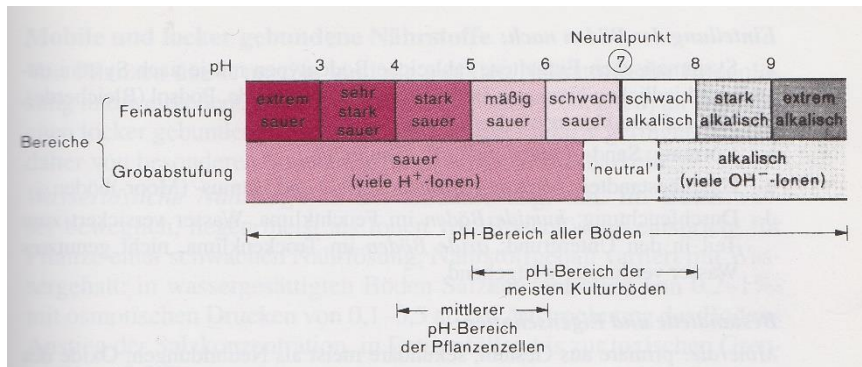


Abbildung 11: pH-Bereiche (Quelle: FINCK 2007: 23).

22) und kann in verschiedene Bereiche eingeteilt werden. Abbildung 11 zeigt die Einteilung in pH-Bereiche. Es wird deutlich, dass natürliche Böden Werte zwischen 3 (sehr stark sauer) und

10 (extrem alkalisch) aufweisen. Der optimale pH-Bereich für Böden als Pflanzenstandort liegt zwischen 5,4 und 7,0 (AD-HOC-AG BODEN 2005: 367), allerdings unterliegen die meisten Böden einer fortschreitenden Versauerung (SCHEFFER & SCHACHTSCHABEL 2010: 151). Ein guter pH-Wert eines Bodens hat viele positive Auswirkungen auf verschiedene Eigenschaften. So beeinflusst dieser Wert biologische, physikalische und chemische Prozesse und hat außerdem Auswirkungen auf das Vorkommen von Pflanzen und Tieren (BLUM 2012: 77).

Proben Nr.	pH-Wert
1	6
2	5
3	6
4	6,5
5	5
6	5
7.1	5,5
7.2	5,5
8	6
9.1	5
9.2	5,5
10.1	5,5
10.2	5,5
11	6
12	6

Tabelle 6: Ergebnisse der pH-Wert-Messungen mittels Wasserlösungen und Lackmuspapier.

Im Feld erreicht man die besten pH-Messungen mithilfe einer CaCl_2 -Lösung und einer pH-Elektrode (BLUME et al. 2011: 23). Jedoch standen solche Messmethoden bei der Anlegung der Bodenprofile von Ndendule nicht zur Verfügung. Deshalb wurde der pH-Wert mithilfe einer Wasserlösung und Lackmuspapier gemessen. Die Ergebnisse könnten deshalb um ca. 0,5 bis 1,0 Einheiten über den tatsächlichen Werten liegen (AD-HOC-AG BODEN 2005: 367; FINCK 2007: 23). Tabelle 6 zeigt die Ergebnisse der Messungen an den Profilen vor Ort.

Alle Werte der verschiedenen Bodenproben liegen zwischen 5 und 6,5 und damit im mäßig sauren bis schwach sauren Bereich (vgl. Abbildung 11). Somit befinden sie sich alle im günstigsten Bereich. Berücksichtigt man jedoch die Methode zur Messung und die damit einhergehende mögliche Verringerung der Werte um 0,5 bis 1,0 Einheiten, so liegen

manche Werte (Proben Nummer 2, 5, 6 und 9.1) nur noch ganz knapp im Optimal-Bereich. In der Regel versucht man die Bodenreaktion bei Werten $> 5,0$ zu halten (BLUM 2012: 77), um gute Wachstumsbedingungen für Pflanzen zu erhalten. Eine Erhöhung des pH-Wertes kann beispielsweise durch Kalkung des Bodens herbeigeführt werden (BLUM 2012: 77).

4.1.8 Lagerungsdichte und Durchwurzelung

Proben Nr.	Lagerungsdichte
1	Ld2
2	Ld3
3	Ld2
4	Ld2-3
5	Ld4-5
6	Ld1-4
7.1	Ld2
7.2	Ld4
8	Ld2-3
9.1	Ld3
9.2	Ld3
10.1	Ld3
10.2	Ld3
11	Ld2-3
12	Ld1-2

Tabelle 7: Ergebnisse der Messung der Lagerungsdichte.

Lagerungsdichte und Durchwurzelung werden zusammen in diesem Kapitel behandelt, da die Dichte von Böden besonders die Durchwurzelbarkeit direkt beeinflusst. Die *Lagerungsdichte* gibt das Verhältnis aus der Bodenmasse und dem Bodenvolumen wieder und wird meistens an getrockneten Proben gemessen (BLUME et al. 2011: 17f). Für diese Arbeit jedoch genügt eine Annäherung an den Wert der Lagerungsdichte durch das Eintreiben eines Messers in die Profilwand direkt vor Ort (BLUME et al. 2011: 19). Dabei wird der Wert nach der Bodenkundlichen Kartieranleitung einem Bereich, von Ld1 (sehr gering) bis Ld5 (sehr hoch), zugeordnet. Beeinflusst wird diese Eigenschaft des Bodens besonders vom Wassergehalt, der Bodenart und dem Gefüge (AD-HOC-AG BODEN 2005: 124; BLUME et al. 2011: 19). Die Ergebnisse der Ableitung der Lagerungsdichte an den

Profilwänden vor Ort können in Tabelle 7 eingesehen werden. Natürlich nimmt der Wert der Lagerungsdichte im Bodenprofil vor Ort mit zunehmender Tiefe zu. Bemerkbar macht sich das vor allem bei Probe Nummer 6. Hier wurde in den oberen Zentimetern eine sehr geringe Lagerungsdichte (Ld1) festgestellt, wohingegen der Wert in ca. 30 cm Tiefe schon als hoch (Ld4) bezeichnet werden muss. Ansonsten liegen alle Werte im mittleren Bereich der Lagerungsdichte. Lediglich Probe Nummer 12 ist zu erwähnen, da hier die Dichte am geringsten ausfällt. Da das Profil Nummer 12 in einer Gartenanlage gegraben wurde (vgl. Kapitel 3.1), ist anzunehmen, dass diese Fläche seit Jahren mechanisch bearbeitet wird. So ist dieser geringe Wert für die Lagerungsdichte zu erklären.

Bei dem Überbegriff der *Durchwurzelung* wird hier zunächst kurz auf die *Durchwurzelbarkeit* (oder auch Gründigkeit) eingegangen. Diese beschreibt diejenige Tiefe bis zu der die Pflanzenwurzeln in den Boden eindringen können (AD-HOC-AG BODEN 2005: 129). Da tropische Böden sehr tief verwittert sein können (ZECH et al. 2014: 101), kann man für die Durchwurzelbarkeit durchaus hohe Werte annehmen. In den für diese Arbeit angelegten Bodenprofilen mit Tiefen von ca. 30 cm konnte in keinem Profil die Grenze der Gründigkeit erreicht werden. Somit kann nach der Bodenkundlichen

Kartieranleitung überall der Wert $W_p > 3$ eingetragen werden (vgl. Anhang 1). Dieser Wert entspricht einer Gründigkeit von mehr als 3 dm.

Proben Nr.	Intensität
1	W4
2	W3-4
3	W4-5
4	W5
5	W2
6	W4-5
7.1	W5
7.2	W4
8	W2
9.1	W4
9.2	W3
10.1	W4
10.2	W3
11	W4-5
12	W5

Tabelle 8: Ergebnisse der Einstufung der Durchwurzelungsintensität.

Neben der Durchwurzelungstiefe wird meist auch die *Durchwurzelungsintensität* angegeben. Diese beschreibt die am Standort beobachtete Durchwurzelung anhand der Anzahl der Wurzeln pro dm^2 (SCHEFFER & SCHACHTSCHABEL 2010: 380). Abhängig ist dieser Wert nicht nur von Bodeneigenschaften wie Lagerungsdichte oder Wasserverteilung, sondern auch von der örtlichen Vegetation (SCHEFFER & SCHACHTSCHABEL 2010: 380). Grundsätzlich kann festgehalten werden, dass die Durchwurzelungsintensität umso höher ausfällt, je besser der Wurzelraum für die Aufnahme von Wasser und Nährstoffe erschlossen werden kann (STAHR et al. 2012: 247). Die Intensität kann nach der Bodenkundlichen Kartieranleitung in verschiedene Stufen eingeteilt, und so direkt vor Ort bestimmt werden. Die Einstufungen reichen von W0 (keine

Wurzeln) bis W6 (extrem stark bis Wurzelfilz) (AD-HOC-AG BODEN 2005: 129). Die Einteilungen der Durchwurzelungsintensität an den Profilen aus Ndendule können in Tabelle 8 eingesehen werden.

In den meisten Fällen schwanken die Werte, wie in tropischen Böden zu erwarten, zwischen mittel und stark. Die stärkste Durchwurzelung tritt in den Profilen 4 (Sekundärwald), 7 (Primärwald) und 12 (gedüngte Gartenanlage) auf. Am schwächsten allerdings war die Intensität im Profil 5 (Termitenbau), sowie beim Reisfeld des Profils 8 (frisch angepflanzt). Zusätzlich kann mit zunehmender Profiltiefe ein abnehmender Trend in der Durchwurzelungsintensität festgestellt werden.

4.1.9 Zwischenfazit zu den physikalischen und chemisch-physikalischen Bodeneigenschaften

Ob und in welchem Maß ein Boden fruchtbar ist bestimmen viele Merkmale. Einen großen Anteil daran haben zweifelsfrei die physikalischen Bodeneigenschaften (BLUM 2012: 146f). Einige von diesen wurden jetzt bereits vorgestellt und auf die untersuchten Bodenprofile in und um Ndendule bezogen. Sind diese Böden aufgrund ihrer physikalischen und chemisch-physikalischen Eigenschaften fruchtbar? Und gibt es ausgeprägte Unterschiede zwischen den beprobten Flächen?

Damit sich Wurzeln ausreichend verbreiten können und ein großes Bodenvolumen für die Nährstoffaufnahme zur Verfügung haben ist die Bodentiefe wichtig. Diese sollte möglichst 1 Meter betragen (FINCK 2007: 21). Da jedoch bei der Feldarbeit vor Ort die Profile lediglich bis etwa 30 cm Tiefe gegraben wurden, kann bei keinem Profil eine endgültige Angabe zur Gründigkeit gemacht werden. Tropische Böden sind allerdings in den meisten Fällen aufgrund der intensiven (vor allem chemischen) Verwitterung sehr tiefgründig (STAHR et al. 2012: 212). So ist anzunehmen, dass nur an Standorten mit jungem Flussschotter des Uele als Bodenausgangsgestein die Bodentiefe einen limitierenden Faktor darstellt.

Weiterhin spielen Körnung (Textur) und Gefüge (Struktur) eine Rolle in der Ermittlung der Bodenfruchtbarkeit (FINCK 2007: 21). Eine mittlere Korngrößenverteilung ist Grundlage für weitere Bodeneigenschaften und wird von den meisten Profilstandorten auch erreicht. Bei vereinzelten Profilen wurde ein erhöhter Anteil an Ton festgestellt. Das ist bei tropischen Böden zwar keine Seltenheit, führt aber zur negativen Beeinflussung von Bodeneigenschaften wie Durchwurzelbarkeit oder den Wasser- und Lufthaushalt (STAHR et al. 2012: 214f). Die Korngrößenverteilung in Böden kann allerdings nur schwer beeinflusst werden (FINCK 1992: 141).

Ein weiterer Faktor, der zur Bodenfruchtbarkeit beiträgt ist die Bodenreaktion beziehungsweise der pH-Wert (FINCK 2007: 21). Der optimale Wert kann aus Abbildung 11 herausgelesen werden und ist Voraussetzung für den Erfolg eventueller weiterer Düngungsmaßnahmen (FINCK 1992: 141). Die Werte aus den Messungen an den Profilen von Ndendule ergeben eine schwach saure Bodenreaktion, aufgrund der Messmethoden könnten manche Standorte allerdings auch stark sauer sein. Um hier einen weiteren Prozess der Versauerung langfristig entgegen zu wirken kann die Düngung mit natürlichen Carbonaten (Kalkdünger) angewendet werden (FINCK 1992: 141).

Auch der Humusgehalt spielt aufgrund der Nachlieferung von Nährelementen eine wichtige Rolle zur Bestimmung der Bodenfruchtbarkeit (FINCK 2007: 21). Aufgrund der bereits im Kapitel 4.1.4 angesprochenen Bedingungen besitzen die Böden von Ndendule nur einen geringen Humus-Anteil. Wie in diesem Kapitel schon erwähnt bildet das Profil 12 eine Ausnahme den Humusgehalt betreffend.

Es stellt sich die Frage, ob diese Bodeneigenschaften sich bei Flächen unterschiedlicher Landnutzung unterscheiden. Zur Beantwortung werden zunächst die Profile 1, 2 und 3 aufgrund ihrer geographischen Nähe und der unterschiedlichen Nutzungsformen herangezogen (vgl. Kapitel 3.1). Zu erwarten ist, dass sich die Eigenschaften zwischen nichtgenutzten Flächen (Profil 1), ackerbaulich genutzten Flächen (Profil 2) und brachliegenden Flächen (Profil 3) voneinander unterscheiden. Die Tatsache, dass sich ihre jeweilige Bodenart kaum voneinander unterscheidet ist jedoch aufgrund ihrer Nähe zueinander nicht überraschend. Jedoch stellt man fest, dass auch alle anderen gemessenen physikalischen und chemisch-physikalischen Bodeneigenschaften zur Ermittlung der

Bodenfruchtbarkeit (Bodenreaktion, Humusgehalt, Struktur) nur wenig voneinander abweichen. In Bezug auf die unterschiedliche Landnutzung können auch die Profile 8 (gerodet, aber ungenutzt) und 11 (ackerbaulich genutzt) betrachtet werden. Ebenso wie bei den Profilen 1, 2 und 3 fällt hier auf, dass die betrachteten Bodeneigenschaften nahezu identisch sind. Sie unterscheiden sich lediglich in ihrer Durchwurzelungsintensität deutlich (Kapitel 4.1.8), was daran liegen könnte, dass das Feld von Profil 8 erst wenige Monate vor der Probenahme neu bepflanzt wurde.

Interessant stellen sich die Ergebnisse der bereits gedüngten Flächen dar. Die Profile 9 und 10 wurden bereits vor der Probenahme seit einigen Jahren mit Gründünger versetzt. Jedoch zeigen ihre physikalischen Bodeneigenschaften keine nennenswerten Unterschiede zu den anderen Proben auf, im Gegenteil zur Probe Nummer 12. Diese Fläche wird schon seit Jahren mit Rindermist gedüngt, was sich augenscheinlich auf einige Bodeneigenschaften auswirkt. Der Humus-Anteil ist in diesem Profil der höchste aller gemessenen Profile und auch die geringe Lagerungsdichte sticht hervor. Diese lockere Dichte führt unter anderem zu einer guten Durchlüftung des Bodens und kommt vermutlich aufgrund der regelmäßigen mechanischen Bodenbearbeitung dieser Fläche zustande. Der hohe Humus-Anteil und die geringe Lagerungsdichte erklären auch die starke Durchwurzelung des Profils Nummer 12.

Ein Unterschied in den physikalischen und chemisch-physikalischen Bodeneigenschaften aufgrund unterschiedlicher Landnutzung kann also in den Böden in Ndendule nicht festgestellt werden. Auch der Einsatz von Gründünger zeigt hier kaum eine Wirkung. Lediglich eine Düngung mit Rindermist und regelmäßige mechanische Bodenbearbeitung führen zu einer Verbesserung dieser Bodeneigenschaften.

Neben den bis jetzt betrachteten Eigenschaften spielt der Nährstoffhaushalt der Böden ebenfalls eine sehr wichtige Rolle für die Bodenfruchtbarkeit (FINCK 2007: 21). Dieser Aspekt wird nun in den folgenden Kapiteln näher beleuchtet.

4.2 Auswertung der Nährstoffwerte

Zur Ermittlung der Nährstoffwerte für Ammonium (NH_4^+), Nitrat (NO_3^-), Phosphor und Kalium wurden die entnommenen, aufbereiteten Bodenproben (vgl. Kapitel 3.3) in das Bayreuther Zentrum für Ökologie und Umweltforschung BayCEER gegeben. Dabei untersuchte das Labor alle Proben doppelt (a- und b-Probe), für alle nachstehenden Untersuchungen wurde jeweils der errechnete Mittelwert verwendet. Die Ausgabe des Labors mit allen Werten der a- und b-Proben, sowie den jeweiligen Mittelwerten findet sich im Anhang 2 wieder.

4.2.1 Auswertung nach Nährelement

Im ersten Teil der Auswertung der Ergebnisse zu den Nährstoffwerten werden jeweils die drei ermittelten Nährelemente gesondert betrachtet. Der nächste Schritt (Kapitel 4.2.2) bezieht sich speziell auf die Ergebnisse aus den einzelnen Profilen und setzt diese in Beziehung zueinander.

4.2.1.1 Stickstoff

Das Kernnährelement Stickstoff wird von den Wurzeln in Form von Ammonium- oder Nitrationen aus dem Boden aufgenommen (AKINSANMI 1989: 176). Daher wurden die Bodenproben auf diese beiden Nährstoffe getestet. Abbildung 12 zeigt die Ergebnisse der Untersuchungen des Labors. Zum einen (links) werden die Gehalte der errechneten Mittelwerte jeder einzelnen Bodenprobe als Säulendiagramm dargestellt. Der rechte Abschnitt der Abbildung 12 zeigt wiederum die Verteilung der NH_4^+ -Werte als Boxplot. Es wird ersichtlich, dass die Ammoniumwerte im Grunde nah beieinander liegen um den Medianwert von $16,55 \text{ mg kg}^{-1} \text{ NH}_4^+$. Nur die Werte der Proben 4 und 7.1 fallen etwas höher aus. Im Boxplot werden die beiden Ausreißer nach oben hin noch deutlicher sichtbar. Um allerdings den Gesamtwert der für die Pflanzen essentiellen mineralischen Stickstoff-Formen (N_{min}) zu erhalten, muss neben Ammonium auch der Nitratwert beachtet werden (SCHEFFER & SCHACHTSCHABEL 2010: 405). Die Ergebnisse der Nitratwertermittlung können in Abbildung 13 eingesehen werden. Es fällt auf, dass erstens die Werte im Allgemeinen deutlich höher ausfallen als die Ammoniumwerte und zweitens auch mehr gestreut sind. Angemerkt werden muss an dieser Stelle, dass bei den Proben 1 und 10.2 die Nitratwerte so gering ausfielen ($< 5 \text{ mg/kg}$), dass das Labor keine Angaben zum genauen Wert anstellen konnte. Für Berechnungszwecke wurde an solchen Stellen der Wert mit „0“ ersetzt. Das hat zur Folge, dass der Mittelwert (die Kreuze im Boxplot) etwas zu niedrig ausfällt. Der Medianwert (in diesem Fall $34,90 \text{ mg kg}^{-1}$) bleibt hiervon jedoch

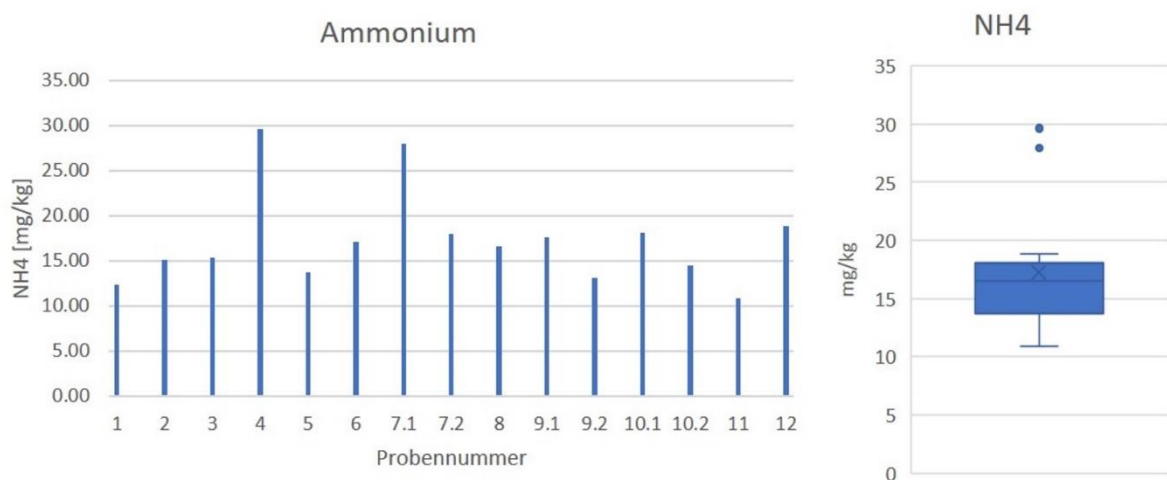


Abbildung 12: Ergebnisse der Ammoniumuntersuchungen. Links: Absolutwerte der einzelnen Proben. Rechts: Verteilung der Ammoniumwerte als Boxplot (Quelle: Eigene Grafik).

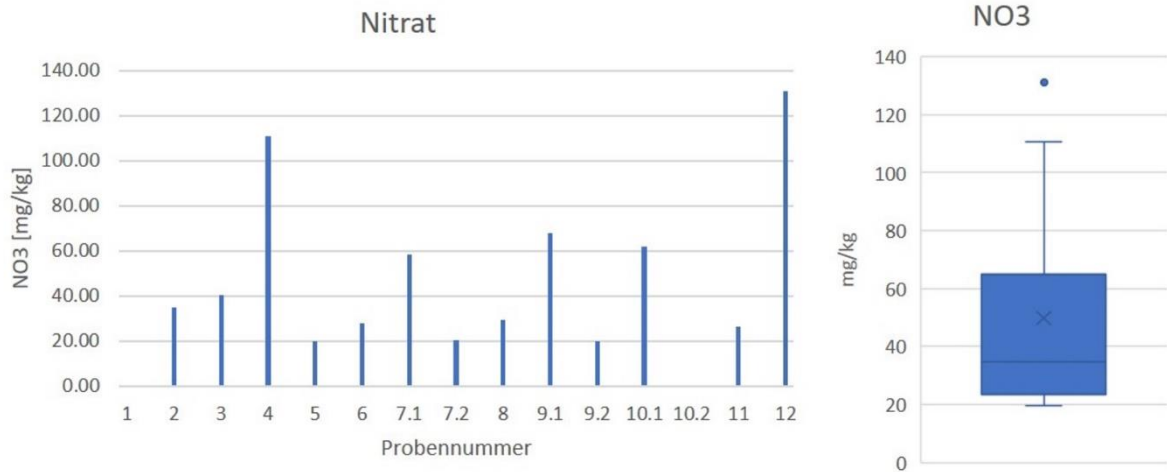


Abbildung 13: Ergebnisse der Nitratuntersuchungen. Links: Absolutwerte der einzelnen Proben. Rechts: Verteilung der Nitratwerte als Boxplot (Quelle: Eigene Grafik).

unverändert. In Abbildung 13 ist besonders der hohe Nitratwert der Probe 12 auffallend. Dieser bildet den einzigen Ausreißer im Boxplot zur Verteilung der Nitratwerte.

Bei der Betrachtung beider bisherigen Stickstoffwerte kann festgestellt werden, dass Nitrat in den meisten Fällen höhere Werte aufweist als Ammonium. In manchen Profilen kann sogar ein NO₃⁻ - Wert festgestellt werden, welcher mehr als doppelt so hoch ausfällt wie der jeweilige NH₄⁺ - Wert. Wie schon im Kapitel 3.3 erwähnt findet man in gut durchlüfteten und biologisch aktiven Böden vorwiegend Nitrat, in luftarmen Böden vorwiegend Ammonium vor (STAHR et al. 2012: 173). Das bedeutet, dass in den meisten hier beprobten Fällen diese Eigenschaften als positiv bewertet werden können.

Proben Nr.	NH ₄ ⁺	NO ₃ ⁻	N(min)
1	12,34	0,00	12,34
2	15,14	34,90	50,04
3	15,34	40,30	55,64
4	29,64	110,58	140,22
5	13,74	20,06	33,80
6	17,12	27,86	44,98
7.1	25,15	58,20	83,35
7.2	17,95	20,61	38,56
8	16,55	29,51	46,06
9.1	17,55	67,72	85,27
9.2	13,04	19,76	32,80
10.1	18,03	61,88	79,91
10.2	14,43	0,00	14,43
11	10,86	26,30	37,16
12	18,83	131,03	149,86

Tabelle 9: Berechnung von N_{min} aus den Ammonium- und Nitratwerten.

Der Gesamt-N-Gehalt (N_t) in Böden besteht zum größten Teil aus organischem Stickstoff und steht in enger Beziehung zum C_{org}-Gehalt (SCHEFFER UND SCHACHTSCHABEL 2010: 403). Für diese Arbeit wurde allerdings lediglich der für die Pflanzen wichtige Gehalt an mineralischen Stickstoffformen (N_{min}) untersucht. Um den Gesamtgehalt an N_{min} zu erhalten können die Werte für Ammonium und Nitrat addiert werden (SCHEFFER & SCHACHTSCHABEL 2010: 408). Die so

erhaltenen Werte für N_{\min} können der Tabelle 9 entnommen werden.

In der Regel werden Stickstoffgehaltsangaben, besonders in Bezug auf die Düngermittlung, in Kilogramm pro Hektar angegeben. Die Umrechnung der hier ermittelten Werte gestaltet sich jedoch schwierig. So werden Angaben wie die Trockendichte und der Wassergehalt benötigt (NLWKN 2012: 26-28), die beide aufgrund der abweichenden Art der Probenahme nicht gemessen werden konnten. Somit bleibt die Vergleichbarkeit der gemessenen Werte für N_{\min} mit anderen Proben gering. Böden in gemäßigten Klimaten besitzen jedoch meist einen Gesamtgehalt an Stickstoff N_t von 0,7 bis 2,0 g kg^{-1} (SCHEFFER & SCHACHTSCHABEL 2010: 403). Da nun der Ammoniumanteil an N_t in der Regel 1 % nicht übersteigt (SCHEFFER & SCHACHTSCHABEL 2010: 404), kann errechnet werden, dass in den Böden der gemäßigt-humiden Zonen in etwa 7 bis 20 mg kg^{-1} NH_4^+ enthalten ist. Bis auf die Werte der beiden Ausreißer (Proben 4 und 7.1), die sogar über dem eben errechneten Wert liegen, befinden sich alle Ammoniumwerte innerhalb dieser Spanne. Allerdings müssen an dieser Stelle die Probleme der Probenahme (vgl. Kapitel 3.3) berücksichtigt werden, sodass die erhaltenen Laborwerte gegebenenfalls von Vergleichswerten abweichen können.

4.2.1.2 Phosphor

Ebenso wie Stickstoff stellt Phosphor in den Tropen oft einen limitierenden Faktor für das Wachstum von Pflanzen dar (AKINSANMI 1989: 178). Da es auch zu den Kernnährelementen zählt, wurden für diese Arbeit die entnommenen Bodenproben auf Phosphor untersucht. Die Ergebnisse werden in der Abbildung 14 aufgezeigt. Der Medianwert aller Proben liegt hier bei 9,85 mg kg^{-1} Phosphor. Damit sind die Werte deutlich unter den N_{\min} -Werten und scheint als limitierender Faktor bei den meisten Standorten aufzutreten. Für die Probe 7.2 konnte sogar kein messbares Ergebnis ermittelt werden. Der Verteilung im Boxplot der Abbildung 14 kann außerdem entnommen werden, dass diese nicht übermäßig stark ausfällt, sodass die meisten Phosphorwerte zwischen 6 und 16 mg kg^{-1} ermittelt

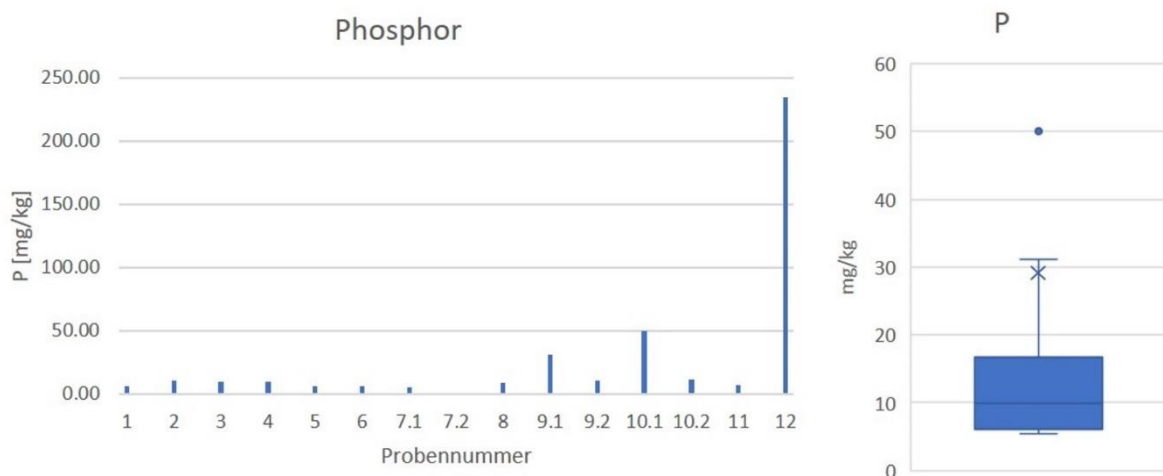


Abbildung 14: Ergebnisse der Phosphoruntersuchungen. Links: Absolutwerte der einzelnen Proben. Rechts: Verteilung der Phosphorwerte als Boxplot ohne Einzeichnung der Probe Nummer 12 (Quelle: Eigene Grafik).

wurden. Besonders sticht jedoch die Probe 12 mit einem Phosphorwert von 234,86 mg kg⁻¹ heraus. Dieser Wert liegt um mehr als das 23-fache höher als der Medianwert. Aus Maßstabsgründen wurde die Probe 12 bei der Darstellung des Boxplots in Abbildung 14 nicht eingezeichnet. Ebenfalls überdurchschnittlich hohe Werte erreichen die Proben 9.1 (31,21 mg kg⁻¹) und 10.1 (50,02 mg kg⁻¹). Letztere stellt auch den Ausreißer im Boxplot dar. Gründe für diese hohen Werte können auf die Art der Bearbeitung hindeuten. So wurden die Flächen der Profile 9 und 10 jeweils mit Gründünger versetzt und die Fläche bei Profil 12 mit Rindermist gedüngt. Es kann also festgehalten werden, dass beide Düngungsarten einen positiven Effekt auf den Phosphorwert ausüben und dennoch gibt es große Unterschiede zwischen den Düngemethoden. Zu diesem Ergebnis kamen auch AMBERGER und AMANN, welche in Bodenblock-Versuchen feststellten, dass eine langjährige Düngung mit Stallmist einen deutlich positiveren Effekt in Bezug auf die P-Diffusion erzielte als eine Düngung mit Stroh (AMBERGER & AMANN 1983: 65f).

Niedrige Phosphorwerte sind für stark verwitterte, tropische Böden keine Seltenheit. Diese weisen oft einen Gehalt von weniger als 100 mg kg⁻¹ auf (SCHEFFER & SCHACHTSCHABEL 2010: 412f). Dennoch sind die für diese Arbeit ermittelten Werte sehr gering. Im Gegensatz dazu findet man in den schluffigen, lehmigen und tonigen Böden gemäßigter Klimate P-Gehalte zwischen 200 und 800 mg kg⁻¹ (SCHEFFER & SCHACHTSCHABEL 2010: 413). In diesen Bereich fällt einzig die stark gedüngte Probe 12. Durch jahrzehntelange Zufuhr von Phosphor in Form von Düngemitteln können Werte bis über 2000 mg kg⁻¹ erreicht werden. Der Gehalt auf ungedüngtem Boden wird vom Ausgangsgestein bestimmt wird (SCHEFFER & SCHACHTSCHABEL 2010: 412f). Im Mittel erreichen die Phosphorwerte der oberen Erdkruste etwa 665 mg kg⁻¹, wobei basische und intermediäre Magmatite sehr hohe und Sandsteine sehr niedrige Gehalte aufweisen. (LINHARDT & ZARBOK 2005: 54f).

4.2.1.3 Kalium

Zuletzt wurden die entnommenen Bodenproben vom BayCEER Labor auch auf das Nährelement Kalium untersucht. Dieses Element wird ebenfalls in relativ großen Mengen von Pflanzen gebraucht und spielt daher für die Fruchtbarkeit von Böden eine Rolle (AKINSANMI 1989: 178). Die Ergebnisse aus den Kalium-Untersuchungen zeigt Abbildung 15.

Der Median wird hier bei 39,88 mg kg⁻¹ erreicht und liegt damit über allen anderen Nährstoffwerten. Die einzelnen Werte sind bei Kalium etwas gestreut, die meisten liegen zwischen 26 und 55 mg kg⁻¹. Der mit großem Abstand höchste Wert wird erneut von Probe 12 erreicht und beträgt 172,87 mg kg⁻¹. Ähnlich wie bei Phosphor ist dieser Wert um ein Vielfaches höher als die Restlichen, daher wurde er beim Boxplot aus Gründen der Übersichtlichkeit nicht mit eingezeichnet. Für diesen hohen Wert ist mit Sicherheit auch die Art der Düngung verantwortlich, die das Profil Nummer 12 auszeichnet. Im Gegensatz zu den Phosphorgehalten erreichen die Kaliumwerte der mit Gründünger

versetzten Proben 9 und 10 zwar erhöhte, allerdings nicht auffallend hohe Werte. Auch andere, ungedüngte Standorte wie die Profile 4, 5 und 11 erreichen ähnliche Messwerte.

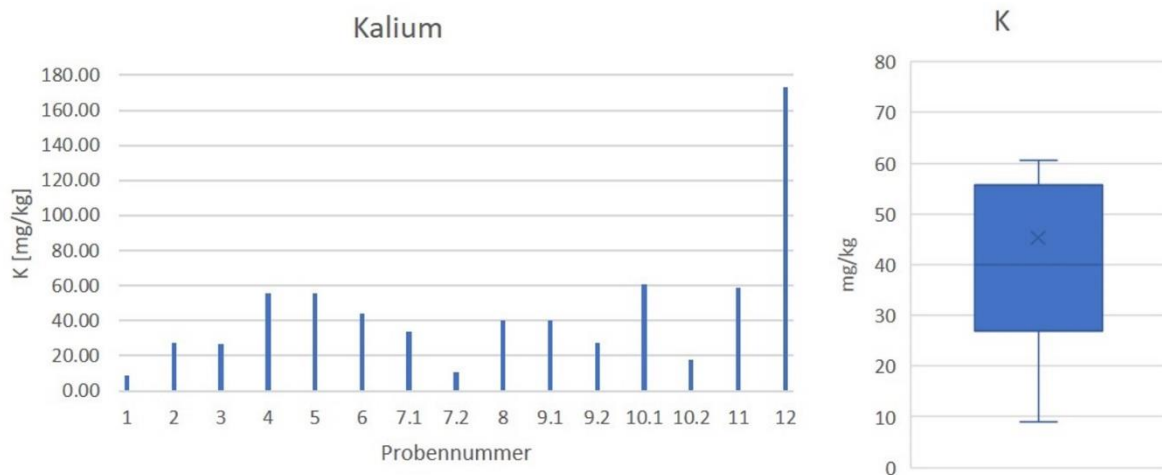


Abbildung 15: Ergebnisse der Kaliumuntersuchungen. Links: Absolutwerte der einzelnen Proben. Rechts: Verteilung der Kaliumwerte als Boxplot ohne Einzeichnung der Probe Nummer 12 (Quelle: Eigene Grafik).

Kalium ist in der oberen Erdkruste deutlich häufiger zu finden als Phosphor. Im Mittel erreichen die Werte hier 4,04 Gew.-% (bei Phosphor: 0,15 Gew.-%) (LINHARDT & ZARBOK 2005: 44). In den jungen Böden der gemäßigten Breiten findet man meist einen Gesamtkaliumgehalt zwischen 0,2 und 3,3 %, was 2000 bis 33000 mg kg⁻¹ entspricht (SCHEFFER & SCHACHTSCHABEL 2010: 423). Aufgrund von Auswaschungsprozessen erreichen die alten, stark verwitterten tropischen Böden nur mehr Gehalte zwischen 1000 und 8000 mg kg⁻¹ Kalium (SCHEFFER & SCHACHTSCHABEL 2010: 423). Der Gesamtgehalt an Kalium im Boden teilt sich dabei auf in organisches Kalium, fixiertes Kalium, austauschbares Kalium und gelöstes Kalium (AHN 1993: 132-134; SCHEFFER & SCHACHTSCHABEL 2010: 424).

4.2.2 Auswertung nach den Profilen

Im zweiten Schritt zur Auswertung der untersuchten Nährstoffwerte werden diese nun im Folgenden auf die jeweiligen Profilstandorte bezogen. Hierfür zeigt Abbildung 16 noch einmal alle ermittelten Nährstoffwerte der einzelnen Profile für einen besseren Überblick.

4.2.2.1 Profile 1 bis 3

Die Profile 1, 2 und 3 sollten aufgrund ihrer geographischen Nähe und ihrer jeweiligen Landnutzungsart zusammen betrachtet werden. Auszeichnend insbesondere für diese drei Profile ist das als *shifting cultivation* (Wanderfeldbau) bezeichnete Bodennutzungssystem, welches in der Region um Ndendule vorherrschend ist. Kennzeichnend hierfür ist der unregelmäßige Wechsel

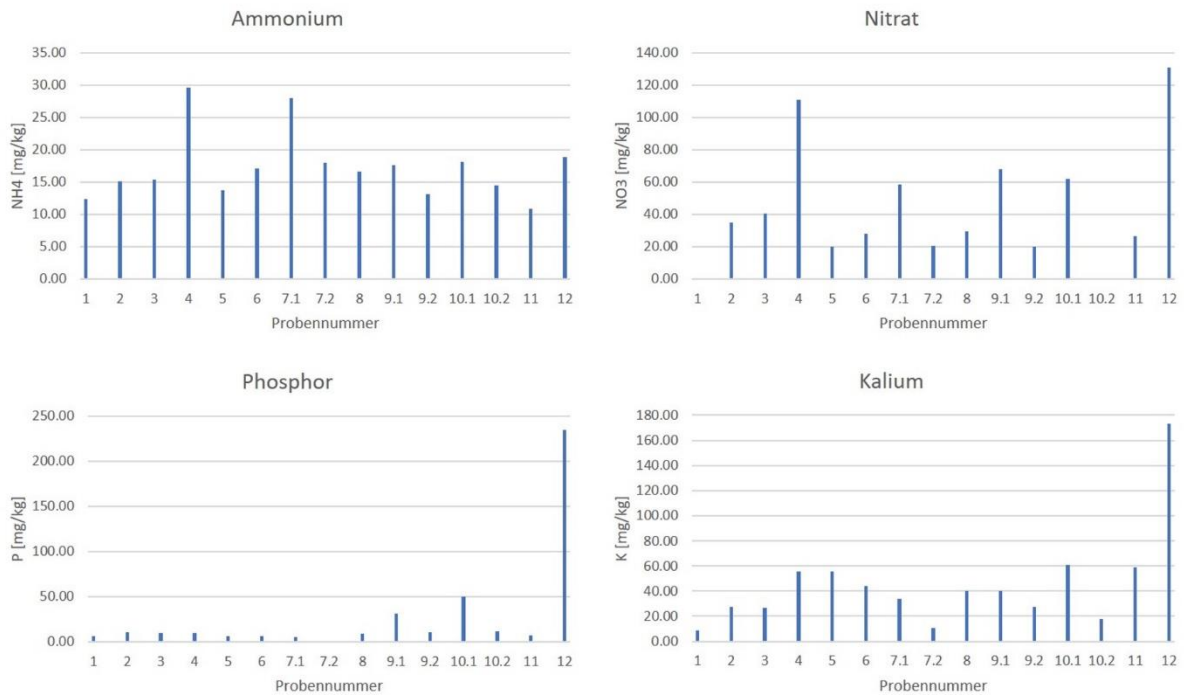


Abbildung 16: Alle ermittelten Nährstoffwerte im Überblick. Die einzelnen y-Achsen sind jeweils unterschiedlich (Quelle: Eigene Grafik).

zwischen einer landwirtschaftlichen Nutzungsperiode und einer Brachzeit mit natürlicher Vegetation (FRANKE 1995a: 45). Der Wanderfeldbau zählt zu den Erschöpfungs- oder Raubbauarten, was bedeutet, dass die leichtverfügbaren Nährstoffe im Boden bis zur Erschöpfung ausgenutzt werden (FINCK 1992: 203-206). Dies funktioniert in Ndendule deshalb, da die Landreserven in Bezug zur Bevölkerung sehr groß ausfallen. Ökologische Probleme sind durch dieses Bodennutzungssystem vorerst nicht zu erwarten, erst wenn irreparable Schäden in Form von völliger Zerstörung der Bodenfruchtbarkeit (zum Beispiel durch Bodenerosion) auftreten, wird es zu einem volkswirtschaftlichen Problem (FINCK 1992: 206f). Auch in Ndendule gebräuchlich ist dabei die Brandrodung ohne völliger Beseitigung der natürlichen Vegetation. Zwar würde die völlige Beseitigung eine mechanische Bodenbearbeitung ermöglichen, jedoch übersteigt diese meist die Möglichkeiten eines Kleinbauern (FRANKE 1995b: 123). Durch die Verbrennung der natürlichen Vegetation werden plötzlich alle in den Pflanzen gespeicherten mineralischen Nährstoffe freigesetzt. Allerdings können diese nicht sofort wieder in pflanzlicher Substanz gebunden werden, sodass große Mengen durch Auswaschung und Erosion verloren gehen (FRANKE 1995b: 125). Anzustreben ist deshalb ein Rodungsverfahren ohne sofortige Freigabe aller gespeicherten Nährstoffe, beispielsweise die Vollrodung ohne Brennen wie sie FRANKE beschreibt (FRANKE 1995b: 131f).

Die Fläche des Bodenprofils 1 entspricht einer Brachfläche mit natürlicher Waldvegetation, die hier seit 30 Jahren besteht. Innerhalb der nächsten Jahre wird sie gerodet um darauf wieder für wenige Jahre Feldfrüchte anzubauen. Die gemessenen Nährstoffwerte fallen allerdings hier sehr gering aus und zählen zu den niedrigsten aller Proben. Sowohl Phosphor ($6,00 \text{ mg kg}^{-1}$) als auch Kalium ($8,94$

mg kg⁻¹) sind nur in sehr geringen Mengen festgestellt worden. Bei dem Nährelement Stickstoff findet man neben Ammonium (12,34 mg kg⁻¹) einen Nitratgehalt von unter 5 mg kg⁻¹. Da der Nitratwert deutlich unter dem Ammoniumgehalt liegt, ist anzunehmen, dass der Boden hier weniger biologisch aktiv und luftarm ist (STAHR et al. 2012: 173). Das liegt wohl an dem sehr hohen Wassergehalt, der bei der Profilaufnahme zu beobachten war, mit Staunässe bei ca. 30 cm Bodentiefe. Auch können so die weiteren, sehr niedrigen Nährstoffwerte erklärt werden. Seit der letzten Anbauperiode dieser Fläche vor 30 Jahren konnte sie sich also nicht mehr erholen. Trotzdem ist es möglich, dass die vorgefundene Staunässe nur ein sehr lokales Problem darstellt. So kann es sein, dass das Bodenmaterial in einiger Distanz zum Profil 1 höhere Nährstoffgehalte aufweist.

Im Zuge der shifting cultivation liegt das Profil 2 auf einer Fläche, die zum Zeitpunkt der Probenahme ackerbaulich genutzt wurde, jedoch erst sechs Monate vorher gerodet und nun zum ersten Mal bepflanzt worden ist. Da diese Fläche direkt an den Sekundärwald von Profil 1 anschließt waren ähnliche Nährstoffwerte zu erwarten. Jedoch fallen im direkten Vergleich alle Werte höher aus. Da der Nitratwert an diesem Standort höher liegt als der Ammoniumgehalt teilt diese Fläche nicht das Problem von Profil 1. Schon bei der Profilaufnahme vor Ort wurde ersichtlich, dass der Boden von Profil Nummer 2 weit weniger feucht ist. Den niedrigen Phosphorgehalt teilt dieser Standort mit den meisten anderen Bodenproben.

Das Profil Nummer 3 befindet sich ebenfalls in einer Phase des Systems der shifting cultivation. Bis vor kurzem wurde hier Ackerbau betrieben, lag jedoch bereits zum Zeitpunkt der Probenahme brach. In der dichten Strauchschicht wächst hier vor allem Maniok, welcher zwar nicht gezielt angebaut, aber dennoch geerntet wird. Die Knollenpflanze gilt als genügsam und liefert auch auf weniger nährstoffreichen Böden im Gegensatz zu anderen Nutzpflanzen noch Erträge (FRANKE & FRÖHLICH 1994: 349). Die Fläche um dieses Profil wurde zwei Jahre lang, in denen mehrere Feldfrüchte (Reis, Mais, Bohnen) angebaut wurden, genutzt. Aufgrund der zurückgehenden Ernteerträge wurde das Feld danach zur Erholung der Natur überlassen. Aufgrund dessen waren für dieses Profil deutlich geringere Nährstoffwerte als im Profil 2 zu erwarten. Allerdings zeigen sich kaum Unterschiede in den gemessenen Werten, sie weichen kaum voneinander ab. An dieser Stelle konnten also aufgrund der ermittelten Kernnährelemente N, P und K keine Unterschiede zwischen den verschiedenen Landnutzungen festgestellt werden. Möglicherweise wirkt hier ein anderer, nicht getesteter Bodenfaktor limitierend auf das Pflanzenwachstum.

4.2.2.2 Profil 4

Die Probe Nummer 4 stammt aus einem Sekundärwald nahe der Ortschaft Epi. Die gemessenen Nährstoffwerte an dieser Stelle zählen zu den höchsten aller untersuchten Bodenproben. Vor allem Ammonium und Nitrat (Nährelement Stickstoff) findet man hier in hohen Gehalten. Auch der

Kaliumwert ist vergleichsweise hoch, wohingegen Phosphor, wie auch in den meisten anderen Proben, nur im geringen Maß vorhanden ist. Diese Fläche wurde zuletzt vor 20 Jahren landwirtschaftlich genutzt, weshalb sich der Boden seitdem wieder erholen konnte. Trotzdem liegen die hier gemessenen Werte im Schnitt deutlich über denen von Flächen ähnlicher Nutzung (Profile 1, 2 und 11). Ein Grund hierfür könnte sein, dass die Fläche der Probe 4 deutlich näher an einer Wohnstätte liegt als andere Flächen. In der Regel ist das Nährstoffangebot aufgrund von Haushaltsabfällen, Asche, Dung von Tieren oder auch Fäkalien nahe einer Ortschaft besser (FRANKE 1995a: 47). Ein weiterer Grund könnte der Fluss Uele sein, der nur ca. 300 Meter vom Profil 4 entfernt ist. So kann dieser in Überschwemmungsphasen wichtige Nährstoffe nachliefern.

4.2.2.3 Profile 5 und 6

Ebenfalls nicht weit vom Uele entfernt liegen die Profile 5 und 6. Ihre Entfernung voneinander beträgt nur wenige Meter und auch die Landnutzung ist gleich. Beide Flächen wurden vor einigen Jahren gerodet aber weiter nicht landwirtschaftlich genutzt. So verwundert es auch nicht, dass alle Nährstoffwerte nicht signifikant voneinander abweichen. Auch die Tatsache, dass Probe Nummer 5 auf einem ehemaligen Termitenhügel entnommen wurde scheint die Höhe einzelner Nährstoffwerte im Boden nicht zu beeinflussen. Interessant hierbei ist, dass alle Werte der Proben 5 und 6 niedriger ausfallen als bei Probe 4, obwohl sie noch näher (etwa 80 Meter) am Uele liegen. Somit erzielt der Fluss an dieser Stelle keine, oder eine andere Wirkung in Bezug auf die Nährstoffe im Boden.

4.2.2.4 Profil 7

Die Proben aus Profil Nummer 7 stammen vermutlich aus einem Primärwald (vgl. Kapitel 3.1). Es wurden an dieser Stelle zwei Proben entnommen: 7.1 aus Bodenmaterial zwischen 0 und 22 cm unterhalb der Geländeoberkante (uGOK) und 7.2 aus 22 bis 30 cm uGOK. Im Vergleich mit den anderen Proben liegen die Nährstoffwerte aus dem Profil 7 nicht übermäßig über oder unter dem Durchschnitt. Einzig der Ammoniumgehalt erreicht bei Probe 7.1 einen etwas erhöhten Wert. Erwartungsgemäß findet man in der Probe 7.2 durchweg niedrigere Nährstoffgehalte als in der Probe 7.1. Beim Vergleich dieser Probe aus einem Primärwald mit anderen Profilen in Sekundärwäldern (Proben 1, 2, 4 und 11) lässt sich kein Muster feststellen. Weder liegen die ermittelten Nährstoffwerte deutlich über oder unter solchen Vergleichswerten. Somit lässt sich sagen, dass sich wohl in Sekundärwäldern auf lange Sicht ähnliche Nährstoffwerte im Boden einstellen wie in Primärwäldern, solange nicht andere Faktoren, wie bei Profil 1 die Staunässe, den Nährstoffhaushalt beeinflussen.

4.2.2.5 Profil 8 und 11

Wie schon die Profile 1 bis 3 werden nun die Nummern 8 und 11 zusammen betrachtet. Die beiden Flächen grenzen aneinander und wurden zeitgleich vor fünf Jahren teils durch Axtschlag, teils durch Feuer gerodet. Im Zuge des Bodennutzungssystems der shifting cultivation wurde die Fläche des Profils 8 zur Zeit der Probenahme landwirtschaftlich genutzt, wohingegen erst nach Abfall der Ernteerträge, nach etwa fünf Jahren Anbau, die Fläche des Profils 11 genutzt werden soll. Zum Zeitpunkt der Beprobung wurden schon vier Jahre lang Kochbananen, Trockenreis und Erdnüsse angebaut. Die Probe Nummer 8 hat im Vergleich mit den anderen Proben durchwegs durchschnittliche Nährstoffwerte. Bei keinem Gehalt fallen irgendwelche Extremwerte auf. Da das Feld in naher Zukunft brachliegen soll, hätte man durchaus niedrigere Werte annehmen können. Vergleicht man das Profil 8 mit der Brache-Fläche Nummer 3 stechen keine großartigen Unterschiede ins Auge. Angenommen werden mussten höhere Nährstoffgehalte der Fläche des Profil Nummer 11 im Gegensatz zur Probe 8, da hier zwar schon gerodet wurde, allerdings noch keine Feldfrüchte angebaut waren. Dennoch gibt es auch hier keine großen Unterschiede. Einzig der niedrigere Kaliumwert weist auf den jahrelangen Anbau von Kochbananen hin, da diese Pflanzen einen außerordentlich hohen Bedarf an Kalium aufweisen (FRANKE et al. 1994: 155).

4.2.2.6 Profil 9 und 10

Diese Proben wurden alle der Gartenanlage im Centrum von Ndendule entnommen. Sie wurden hier seit einigen wenigen Jahren mit Gründünger versetzt wobei zu erwarten war, dass deshalb die Nährstoffwerte höher ausfallen als diejenigen aus Vergleichsproben. Beide Profile sind auch in ihren physikalischen Eigenschaften sehr ähnlich und es wurden auch in beiden Fällen zwei Horizonte beprobt. Die Grenze hierfür lag jeweils bei etwa 20 cm Bodentiefe. Wie erwartet fallen die Ergebnisse der Nährstoffermittlung dieser beiden Profile sehr ähnlich aus. So kann Probe 9.1 gut mit Probe 10.1, und 9.2 mit 10.2 verglichen werden. Es fällt einerseits auf, dass der Kaliumwert bei 10.1 zwar etwas höher ist als bei 9.1, in den jeweiligen tieferen Horizonten ist es aber genau umgekehrt. Andererseits ist der Wert für Nitrat aus der Probe 10.2 so gering, dass er nicht ausgewertet werden konnte, wohingegen dieser Gehalt bei der Probe 9.2 immerhin $19,67 \text{ mg kg}^{-1}$ erreicht. Wie schon bei dem Profil 7 so wird auch hier deutlich, dass alle Nährstoffwerte mit zunehmender Tiefe abnehmen (vgl. Abbildung 17). Im Vergleich mit den übrigen beprobten Flächen wird zudem deutlich, dass vor allem die Werte der oberen Horizonte hohe Nährstoffgehalte aufweisen. Vor allem der Phosphorgehalt, der ansonsten in den meisten Profilen sehr niedrig ausfällt weist Werte von über 30 mg kg^{-1} auf. Als Grund hierfür kann die Düngung mit organischem Material angeführt werden, die hier einen erkennbaren Effekt erzielt.

4.2.2.7 Profil 12

Das in Bezug auf die Nährstoffwerte am auffälligsten Profil ist in jedem Fall Nummer 12. Diese Probe weist durchweg sehr hohe Werte auf. Jedes Nährelement ist hier am häufigsten im Vergleich zu allen anderen entnommenen Proben enthalten. Auch wenn manche Standorte einen höheren Gehalt an Ammonium aufweisen, so ist der mineralische Stickstoff N_{\min} insgesamt dennoch am häufigsten vorzufinden (vgl. Tabelle 9).

Das Profil Nummer 12 liegt wie schon die Profile 9 und 10 in der Gartenanlage im Centrum Ndendules. Daher haben diese drei Flächen wohl auch die selben Grundvoraussetzungen, allerdings ist die Art der Bodenbearbeitung eine andere. Während 9 und 10 mit Gründünger gedüngt wurden, wird die Fläche 12 seit mehreren Jahren mit Rindermist gedüngt. Das bedeutet, dass zum einen eine regelmäßige Versetzung des Bodens mit Dung den Nährstoffhaushalt stark anhebt und dass andererseits im Bereich der Nährstoffwerte die Düngung mit Rindermist deutlich bessere Ergebnisse erzielt als eine Gründüngung.

4.2.3 Zwischenfazit zu den Nährstoffwerten

Neben vielen physikalischen Faktoren (vgl. Kapitel 4.1) spielen auch die Nährstoffgehalte eine große Rolle in der Beurteilung eines Bodens bezüglich seiner Bodenfruchtbarkeit. Eine gute Versorgung der Pflanze erfordert optimalen Gehalt und reichhaltige Nährstoffreserven im Boden (FINCK 2007: 21). Im Fall der für diese Arbeit untersuchten tropischen Böden fallen die gemessenen Nährstoffwerte meist niedriger aus als Nährstoffgehalte von Böden der gemäßigten Breiten. Aus den Untersuchungen lassen sich einige Merkmale der Böden von Ndendule bezüglich ihrer Nährstoffe herausarbeiten.

Für die Höhe einzelner Nährstoffwerte scheint die Bodennutzung nur eine nebengeordnete Rolle zu spielen. Das Hauptbodennutzungssystem in dieser Gegend ist die shifting cultivation, bei der nach etwa zwei bis fünf Jahren Ackerbau die Fläche für längere Zeit der natürlichen Vegetation überlassen wird (FINCK 1992: 205). In den meisten Fällen wird diese Vegetation (meist Wälder) vor allem durch Brandrodung entfernt um eine Fläche erneut bearbeiten zu können (FRANKE 1995a: 45). Im Zuge dieser Arbeit wurden auf Flächen unterschiedlicher Phasen eines Wanderfeldbaus Proben entnommen, allerdings fallen keine großen Unterschiede in den untersuchten Nährstoffwerten auf. Auch im Vergleich mit Proben aus Flächen anderer Nutzungen (Proben 5, 6 und 7) findet man im Grunde dieselben Gehalte vor.

Einen deutlich größeren Effekt auf den Nährstoffhaushalt der Boden haben unterschiedliche Düngungsmethoden. Sowohl die Proben mit Gründünger (Nummer 9 und 10), als auch die Probe gedüngt mit Rindermist (Probe 12) erreichen höhere Werte als alle Vergleichsproben. Dennoch ist

hier anzumerken, dass die Art der Düngung einen großen Unterschied ausmacht. So sind die Nährstoffwerte der mit Rindermist gedüngten Fläche deutlich am höchsten.

Ob und in welchem Maße der Uele auf den Nährstoffhaushalt der Böden einwirkt bleibt dagegen unklar. Zwar liegen die Werte (vor allem Stickstoff) der Probe 4 signifikant höher als bei Vergleichsproben, doch ob dafür der nahegelegene Fluss verantwortlich ist bleibt fraglich. Die Proben 5 und 6 direkt am Ufer des Uele weisen jedenfalls weder übermäßig hohe, noch übermäßig niedrige Werte auf.

Mit zunehmender Bodentiefe nehmen alle Nährstoffgehalte ab (vgl. Abbildung 17). In der Regel wurden Bodenmischproben aus den oberen 30 cm zur Untersuchung in das Labor gegeben. Aufgrund auffälliger Unterschiede nahm man jedoch aus den Profilen 7, 9 und 10 zwei gesonderte Proben, wobei die Horizontgrenze jeweils in etwa 20 cm Tiefe zu setzen ist. Die Ergebnisse aus den Untersuchungen der Nährstoffe lassen darauf schließen, dass mit zunehmender Tiefe die Werte jeweils abnehmen. Das wiederum bedeutet allerdings, dass die Werte der Proben 7.1, 9.1 und 10.1 leicht höher liegen als Gehalte aus anderen Profilen bei denen das gesamte Bodenprofil über 30 cm untersucht wurde.

4.3 Düngung und Bodenbearbeitung

Vor allem die Ergebnisse aus den Untersuchungen zu den Nährstoffwerten zeigen, dass eine Düngung der Böden von Ndendule zu einer deutlichen Verbesserung der Bodeneigenschaften führen kann. Obwohl die pH-Werte der Böden von Ndendule weniger stark sauer ausfallen als bei den meisten tropischen Böden (FINCK 1992: 195), so könnte man trotzdem durch einen geringen Einsatz von Kalkdünger einer stärkeren Versauerung entgegenwirken. Zudem wäre zu erwarten, dass das

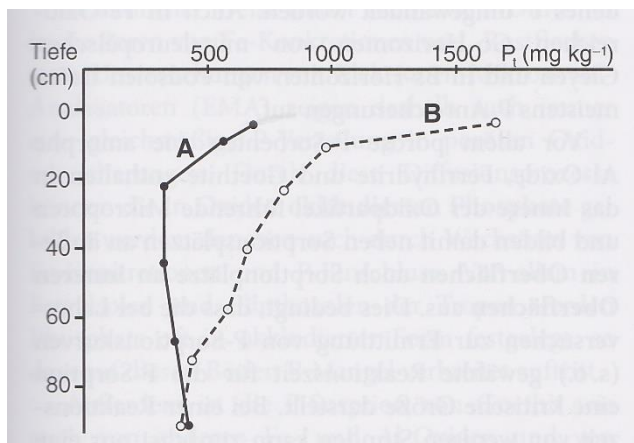


Abbildung 17: Phosphorgehalte in Abhängigkeit der Profiltiefe bei ungedüngtem (A) und gedüngtem (B) Boden (Quelle: SCHEFFER & SCHACHTSCHABEL 2010: 413).

Ausbringen von mineralischem Dünger das Ertragspotential der Feldfrüchte weiter steigern kann. FRANKE gibt beispielsweise für Trockenreis, dem Hauptnahrungsmittel der Region, an jährlich mit 120 kg N pro Hektar, 65 kg P pro Hektar und 30 bis 40 kg K pro Hektar für den größten Ernterfolg zu düngen (FRANKE 1994: 67). Abbildung 17 zeigt die düngende Wirkung von P-Dünger auf den Boden. Auch wenn die Grundlage dieser Abbildung ein Boden aus gemäßigten Klimaten ist, so kann man trotzdem

erkennen, dass ein gedüngter Boden (B) vor allem nahe der Geländeoberkante deutlich höhere Phosphorwerte aufweist als ungedüngter Vergleichsboden (A) (SCHEFFER & SCHACHTSCHABEL 2010: 413). Aufgrund der geographischen Lage, der schlechten Infrastruktur und der Armut der Bevölkerung scheiden solche mineralische Düngemethoden jedoch für die Einwohner von Ndendule aus. Als Ersatz für mineralische Kalkdünger kann jedoch auch Pflanzenasche zu einer Verbesserung der Bodenreaktion beitragen (FINCK 1992: 195). Und wie schon das Profil Nummer 12 beweist verbessert tierischer Dung die Eigenschaften des Bodens nicht nur im Hinblick auf die Nährstoffwerte, sondern auch in Bezug auf Humus-Anteil, dadurch auch auf die Durchlüftung (FINCK 2007: 147) und auf die Lagerungsdichte. Rindermist, welcher in Ndendule noch am ehesten zur Verfügung steht enthält bei 25 % Trockensubstanz 0,4 - 0,6 % N, 0,12 - 0,18 % P und 0,5 - 0,7 % K (FINCK 1992: 158) und bietet daher eine solide Nährstoffgrundlage für den Boden. Doch auch Rindermist ist in Ndendule nicht in einem derartigen Maße verfügbar, als dass eine Ausbringung auf ackerbaulich genutzten Feldern möglich wäre. Lediglich kleinere Gartenflächen können hiermit gedüngt werden. So ist das Bodennutzungssystem Wanderfeldbau weiterhin die optimale landwirtschaftliche Nutzungsform. Aufgrund der großen Landreserven sind hierbei relativ lange Brachzeiten möglich, sodass sich die Nährstoffwerte wieder erholen können und keine irreparablen Schäden entstehen (FINCK 1992: 206f).

Auch verschiedene Bodenbearbeitungsmaßnahmen könnten auf den Feldern von Ndendule eine Ertragssteigerung bedeuten. So können unter anderem Unkrautbekämpfung, der Einsatz von Ernterückständen als Mulch und eine gute Abstimmung der Fruchtfolge zu deutlich höheren Erträgen führen (UNGER 1995: 191). Eine gute mechanische Bearbeitbarkeit von Ackerflächen wird ermöglicht durch eine weitgehende Beseitigung der oberirdischen Vegetationsreste bei der Rodung der Fläche (FRANKE 1995b: 123). Im Zuge der shifting cultivation wird in dieser Region die Brandrodung bevorzugt verwendet. Hierbei bleiben Reste der natürlichen Vegetation erhalten, somit werden die Ackerflächen vor ihrer Nutzung nicht vollständig von Vegetation befreit. Diese Methode hat überwiegend praktische Gründe. Da einerseits nur einfache Hilfsmittel zur Verfügung stehen und die Flächen nur wenige Jahre genutzt werden können ist einerseits der Arbeitsaufwand zu groß und andererseits führt diese Methode zu einer raschen Regenerierung des Gebietes nach deren Aufgabe als landwirtschaftliche Nutzfläche (FRANKE 1995b: 121-123). Nachteil der Brandrodung ist die plötzliche Freigabe beachtlicher Nährstoffmengen, die der Boden nicht alle aufnehmen kann und so durch Auswaschung verloren gehen (FRANKE 1995b: 125).

5 Zusammenfassung

Der Ort Ndendule liegt im Nordosten der Demokratischen Republik Kongo nahe dem Fluss Uele. Dort wurden insgesamt 12 Bodenprofile auf Flächen unterschiedlicher Landnutzung angelegt, die

bereits vor Ort anhand der Anleitung aus der Bodenkundlichen Kartieranleitung Ausgabe 5 aufgenommen wurden. Zudem konnten jeweils Bodenproben entnommen werden, welche nach den Methoden aus FINCK 1992: 255-257 aufbereitet und dem Bayreuther Zentrum für Ökologie und Umweltforschung BayCEER zur Messung der Nährelemente Stickstoff, Phosphor und Kalium übergeben wurden. Nach der Auswertung sowohl der physikalischen und chemisch-physikalischen Bodeneigenschaften als auch der Nährstoffwerte kann man folgende grundlegende Schlussfolgerungen ziehen:

Die Bodeneigenschaften aus Flächen unterschiedlicher Landnutzung, ansonsten aber gleichen Grundvoraussetzungen, unterscheiden sich weder in ihren physikalischen Eigenschaften, noch in ihrem Nährstoffgehalt signifikant voneinander. Besonders auffällig ist, dass verschiedene Phasen aus dem Wanderfeldbau kaum Auswirkungen auf die untersuchten Werte haben. Möglicherweise ist der limitierende Faktor für das Pflanzenwachstum in Ndendule in dieser Arbeit nicht untersucht worden (beispielsweise Spurennährelemente).

Des Weiteren wurde festgestellt, dass eine Düngung die Bodeneigenschaften dieser Region verbessert. Dies wird besonders an den Nährstoffgehalten deutlich, aber auch physikalische Eigenschaften wie der erhöhte Humus-Anteil sprechen dafür. Es gibt dabei zum Teil deutliche Unterschiede zwischen den verschiedenen Düngungsmethoden, so erzielt eine Düngung mit Rindermist deutlich bessere Werte (Nährstoffhaushalt, Humus-Anteil) als eine Versetzung des Bodens mit Gründünger. Es bleibt die Frage, in welchem Umfang in dieser strukturschwachen Region der großflächige Einsatz von (mineralischem) Dünger sinnvoll ist.

Weitere Faktoren auf verschiedene Bodeneigenschaften wurden in dieser Arbeit bereits erwähnt, konnten aber hier noch nicht vollständig geklärt werden. So stellte man durchaus positive Effekte bei einer regelmäßigen, mechanischen Bodenbearbeitung fest, wie sich einzelne Bearbeitungsmethoden allerdings genau auf das Pflanzenwachstum in Ndendule auswirken bleibt offen. Auch die Auswirkungen des Flusses Uele auf die Bodenfruchtbarkeit in dieser Region konnten nicht endgültig geklärt werden.

So konnten in dieser Arbeit einige Fragen bezüglich des Bodens in Ndendule beantwortet werden, doch manches bleibt noch unklar. Weitere Untersuchungen in dieser Region könnten langfristig zu einer erhöhten Bodenfruchtbarkeit und somit zu einer Ertragssteigerung führen. Die Durchführung solcher Forschungen gestaltet sich aber leider aufgrund der schwachen Infrastruktur in dieser Gegend als schwierig.

Literaturverzeichnis

AD-HOC-ARBEITSGRUPPE BODEN der Staatlichen Geologischen Dienste und der Bundesanstalt für Geowissenschaften und Rohstoffe 2005: Bodenkundliche Kartieranleitung [KA 5]. Mit 41 Abbildungen, 103 Tabellen und 31 Listen. E. Schweizerbart'sche Verlagsbuchhandlung: Hannover. 5. Auflage.

AHN, P. M. 1993: Tropical Soils and Fertiliser Use. Longman Group: Malaysia.

AKINSANMI, O. 1989: Senior Secondary Agricultural Science. Longman Group Limited 1975 (Reprinted in 1998): New York. 2. Auflage.

AMBERGER, A. & CH. AMANN 1983: Wirkungen organischer Substanzen auf Boden- und Düngerphosphat. In: Zeitschrift für Pflanzenernährung und Bodenkunde Vol. 147. Verlag Chemie: Berlin. S. 60-70.

BLUM, W. E. H. 2012: Bodenkunde in Stichworten. Gebr. Borntraeger: Stuttgart. 7. Auflage.

BLUME, H. P., K. STAHR & P. LEINWEBER 2011: Bodenkundliches Praktikum. Eine Einführung in pedologisches Arbeiten für Ökologen, insbesondere Land- und Forstwirte, und für Geowissenschaftler. Spektrum Akademischer Verlag: Heidelberg. 3. Auflage.

DE HAAS, H. J. 1984: Die Bedeutung der bodenkundlichen Forschung für die wirtschaftliche Zusammenarbeit mit Entwicklungsländern. In: DEUTSCHE STIFTUNG FÜR INTERNATIONALE ENTWICKLUNG (DSE), ZENTRALSTELLE FÜR ERNÄHRUNG UND LANDWIRTSCHAFT (ZEL) (Hrsg.): Bericht. Deutsche Tagung. Aktualisierung und Orientierung der Forschungsaktivitäten wissenschaftlicher Institutionen in der Bundesrepublik Deutschland über Fragen der Bodenkunde und Bodennutzung am tropischen und subtropischen Standort. Druckerei Schrötter: Peißenberg. S. 17-22.

DIERCKE Weltatlas 2010: Klimate der Erde nach W. Köppen, in der Bearbeitung von R. Geiger (1961). Westermann: Braunschweig. S. 229.

FINCK, A. 2007: Pflanzenernährung und Düngung in Stichworten. Gebr. Borntraeger: Berlin Stuttgart. 6. Auflage.

FINCK, A. 1992: Dünger und Düngung. Grundlagen und Anleitung zur Düngung der Kulturpflanzen. VCH Verlagsgesellschaft mbH: Weinheim. 2. Auflage.

FRANKE, G. 1995a: Landwirtschaftliche Bodennutzungssysteme. In: FRANKE, G. (Hrsg.): Nutzpflanzen der Tropen und Subtropen. Band 1: Allgemeiner Pflanzenbau. Verlag Eugen Ulmer: Stuttgart (Hohenheim). S. 41-98.

- FRANKE, G. 1995b: Standortprüfung und Landerschließung. In: FRANKE, G. (Hrsg.): Nutzpflanzen der Tropen und Subtropen. Band 1: Allgemeiner Pflanzenbau. Verlag Eugen Ulmer: Stuttgart (Hohenheim). S. 99-137.
- FRANKE, G. 1994: Trockenreis. In: FRANKE, G. (Hrsg.): Nutzpflanzen der Tropen und Subtropen. Band 2: Spezieller Pflanzenbau. Verlag Eugen Ulmer: Stuttgart (Hohenheim). S. 63-68.
- FRANKE, G. & G. FRÖHLICH 1994: Maniok. In: FRANKE, G. (Hrsg.): Nutzpflanzen der Tropen und Subtropen. Band 3: Spezieller Pflanzenbau. Verlag Eugen Ulmer: Stuttgart (Hohenheim). S. 344-358.
- FRANKE, G., G. FRÖHLICH & H. J. HEYNOLDT 1994: Banane. In: FRANKE, G. (Hrsg.): Nutzpflanzen der Tropen und Subtropen. Band 2: Spezieller Pflanzenbau. Verlag Eugen Ulmer: Stuttgart (Hohenheim). S. 132-171.
- GROHMANN, C. 2010: Termite mediated heterogeneity of soil and vegetation patterns in a semi-arid savanna ecosystem in Namibia. Würzburg.
- LINHARDT, E. & P. ZARBOK 2005: Fachberichte Nr. 24. Geochemischer Atlas natürlicher Haupt-, Neben- und Spurenelemente der Gesteine Bayerns. Bayerisches Landesamt für Umwelt: München.
- NIEDERSÄCHSISCHER LANDESBETRIEB FÜR WASSERWIRTSCHAFT, KÜSTEN- UND NATURSCHUTZ (NLWKN): Untersuchung des mineralischen Stickstoffs im Boden. Empfehlung zur Nutzung der Herbst-Nmin-Methode für die Erfolgskontrolle und zur Prognose der Sickerwassergüte. In: NLWKN (Hrsg.): Grundwasser. Band 8: Hannover.
- SCHEFFER, F. & P. SCHACHTSCHABEL 2010: Lehrbuch der Bodenkunde. Bearbeitet von H. P. Blume, G. W. Brümmer, R. Horn, E. Kandeler, I. Kögel-Knabner, R. Kretzschmar, K. Stahr & B. M. Wilke. Spektrum Akademischer Verlag: Heidelberg. 16. Auflage.
- SCHLÜTER, T. 2008: Geological Atlas of Africa. With Notes on Stratigraphy, Tectonics, Economic Geology, Geohazards, Geosites and Geoscientific of Each Country. Springer Verlag: Berlin Heidelberg. 2. Auflage.
- STAHR, K., E. KANDELER, L. HERRMANN & T. STRECK 2012: Bodenkunde und Standortlehre. Grundwissen Bachelor. Verlag Eugen Ulmer: Stuttgart. 2. Auflage.
- UNGER, J. 1995: Bodenbearbeitung. In: FRANKE, G. (Hrsg.): Nutzpflanzen der Tropen und Subtropen. Band 1: Allgemeiner Pflanzenbau. Verlag Eugen Ulmer: Stuttgart (Hohenheim). S. 138-196.
- ZECH, W., P. SCHAD & G. HINTERMAIER-ERHARD 2014: Böden der Welt. Ein Bildatlas. Springer Spektrum: Berlin Heidelberg. 2. Auflage.

Anhang

Anhang 1: Bodenansprachen

Anhang 2: Nährstoffwerte aller Proben

Anhang 1: Bodenansprachen

Nr.	Lage	Nutzung	Relief
1	N 3°33'21,95'' E 26°45'34,79'' Hinter Reisfeld (Nr. 2)	sekundärer Regenwald	Nicht erkennbar (dichte Vegetation); ganz leicht nach N abfallend
Notizen	Stauwasser bei 30 cm; sehr nasser Boden obwohl es seit Tagen nicht geregnet hat		

Bodenfarbe	Skelett-Anteil	Bodenart	Humus-Anteil	Gefüge	Hydromorphe Merkmale	pH-Wert	Lagerungsdichte	Durchwurzelbarkeit
10 YR 7/2 10 YR 5/3	1	Lu	h0 – h1	koh	e, f3	6	Ld2	W4 Wp>=3

Nr.	Lage	Nutzung	Relief
2	N 3°33'21,88'' E 26°45'33,44'' Südlich von Nr. 1	Reisfeld nach Rodung (z.T. Brandrodung)	Eben, keine Wölbung
Notizen	Trockener als Profil 1; angefeuchtet		

Bodenfarbe	Skelett-Anteil	Bodenart	Humus-Anteil	Gefüge	Hydromorphe Merkmale	pH-Wert	Lagerungsdichte	Durchwurzelbarkeit
10 YR 6/2 10 YR 5/2	1	Lu	h0 – h1	sub	es, f1	5	Ld3	W3-4 Wp>=3



Profil Nummer 1



Profil Nummer 2

Nr.	Lage	Nutzung	Relief
3	N 3°33'19,83" E 26°45'31,98" Feldbrache bei Nr. 2	Nicht mehr bearbeitet; vorwiegend Maniok; dichte Strauchschicht	Eben; keine Wölbung
Notizen			

Bodenfarbe	Skelett-Anteil	Bodenart	Humus-Anteil	Gefüge	Hydromorphe Merkmale	pH-Wert	Lagerungsdichte	Durchwurzelbarkeit
10 YR 5/2 10 YR 2/3	1	Ls2	h1	sub	---	6	Ld2	W4-5 Wp>=3

Nr.	Lage	Nutzung	Relief
4	N 4°00'50,41" E 26°40'26,42" Sekundärwald bei Epi	Sekundärwald seit ca. 20 Jahren	Gestreckt; leichte Neigung
Notizen	Sehr hoher Skelettanteil		

Bodenfarbe	Skelett-Anteil	Bodenart	Humus-Anteil	Gefüge	Hydromorphe Merkmale	pH-Wert	Lagerungsdichte	Durchwurzelbarkeit
2.5 YR 3/4 2.5 YR 3/3	5	Ls4	h0	pol	---	6,5	Ld2-3	W5 Wp>=3



Profil Nummer 3



Profil Nummer 4

Nr.	Lage	Nutzung	Relief
5	N 3°53'22,60" E 26°44'17,37" Memeli	Gerodet; Krautschicht; nicht genutzt	Hügellage
Notizen	Ehemaliger Termitenhügel. Seit sechs Jahren Aussichtshügel am Uele		

Bodenfarbe	Skelett-Anteil	Bodenart	Humus-Anteil	Gefüge	Hydro-morphe Merkmale	pH-Wert	Lagerungsdichte	Durchwurzelbarkeit
10 YR 6/2 2.5 Y 3/3	1	Tl	h0 – h1	pol	---	5	Ld4-5	W2 Wp>=3

Nr.	Lage	Nutzung	Relief
6	N 3°53'24,18" E 26°44'19,02" Memeli	Nicht genutzt; Grasvegetation mit Krautschicht; vereinzelt Bäume	Uele-Terrasse OH; leichte Steigung; Fuß von T 2
Notizen	Ld nimmt mit zunehmender Tiefe stark zu		

Bodenfarbe	Skelett-Anteil	Bodenart	Humus-Anteil	Gefüge	Hydro-morphe Merkmale	pH-Wert	Lagerungsdichte	Durchwurzelbarkeit
2.5 Y 5/2 10 YR 3/4	1	Lt3	h1	pol	---	5	Ld1 Ld2 Ld3 Ld4	W4-5 Wp>=3



Profil Nummer 5

Profil Nummer 6

Nr.	Lage	Nutzung	Relief
7	N 3°32'40,67" E 26°45'36,56" Bei Ndendule	Primärer Regenwald	Aufgrund Vegetation schwer erkennbar; leichte Neigung nach N
Notizen	Horizontabgrenzung bei 22 cm		

Boden- farbe	Skelett- Anteil	Bodenart	Humus- Anteil	Gefüge	Hydro- morphe Merkmale	pH- Wert	Lagerungs- dichte	Durch- wurzel- barkeit
2.5 YR 3/4 2.5 YR 3/3	1	Uls	h1	pol	---	5,5	Ld2	W5
2.5 YR 3/4 10 R 3/3	1	Uls	h0	pol	---	5,5	Ld4	W4 Wp>=3

Nr.	Lage	Nutzung	Relief
8	N 3°33'07,30" E 26°45'55,10" Bei Ndendule	Reis-Erdnuss-Mischfeld; Stellenweise Mais	Leichte Neigung nach NEE; gestreckt
Notizen			

Boden- farbe	Skelett- Anteil	Bodenart	Humus- Anteil	Gefüge	Hydro- morphe Merkmale	pH- Wert	Lagerungs- dichte	Durch- wurzel- barkeit
10 YR 5/3 10 YR 4/3	1	Lt3	h1 – h2	sub	es, f1	6	Ld2-3	W2 Wp>=3



Profil Nummer 7



Profil Nummer 8

Nr.	Lage	Nutzung	Relief
9	N 3°32'53,40" E 26°45'26,08" Ndendule, Centrum	Gartenanlage	Leichtes Fallen nach SE; gestreckt MH
Notizen	Horizontabgrenzung bei 23 cm. Holzkohlefunde		

Bodenfarbe	Skelett-Anteil	Bodenart	Humus-Anteil	Gefüge	Hydro-morphe Merkmale	pH-Wert	Lagerungsdichte	Durchwurzelbarkeit
7.5 YR 4/4 7.5 YR 3/4	2	Ls2	h1	sub	---	5	Ld3	W4
10 YR 5/3 10 YR 3/2	1	Lt3	h0	sub	---	5,5	Ld3	W3 Wp>=3

Nr.	Lage	Nutzung	Relief
10	N 3°32'53,48" E 26°45'25,82" Ndendule, Centrum	Gartenanlage	Leichtes Fallen nach SE; gestreckt MH
Notizen	Horizontabgrenzung bei 20 cm		

Bodenfarbe	Skelett-Anteil	Bodenart	Humus-Anteil	Gefüge	Hydro-morphe Merkmale	pH-Wert	Lagerungsdichte	Durchwurzelbarkeit
7.5 YR 4/4 7.5 YR 3/4	2	Ls3	h1	sub	---	5,5	Ld3	W4
10 YR 4/3 10 YR 3/3	1	Lt3	h0	sub	---	5,5	Ld3	W3 Wp>=3



Profil Nummer 9

Profil Nummer 10

Nr.	Lage	Nutzung	Relief
11	N 3°33'06,59" E 26°45'54,94" Bei Ndendule	Keine Nutzung; Rodung vor 5 Jahren, seitdem brach; dichte Krautschicht	Eben; gestreckt
Notizen			

Bodenfarbe	Skelett-Anteil	Bodenart	Humus-Anteil	Gefüge	Hydromorphe Merkmale	pH-Wert	Lagerungsdichte	Durchwurzelbarkeit
2.5 Y 6/3 10 YR 4/4	1	Ts3	h1 – h2	sub	es, f1	6	Ld2-3	W4-5 Wp>=3

Nr.	Lage	Nutzung	Relief
12	N 3°32'53,56" E 26°45'26,53" Ndendule, Centrum	Gartenanlage; gedüngt mit Rindermist seit 8-10 Jahren	Leichtes Fallen nach SE; MH
Notizen			
Boden sehr locker und leicht; bis 30 cm bearbeitet; darunter grauer, schwerer Boden (unbearbeitet)			

Bodenfarbe	Skelett-Anteil	Bodenart	Humus-Anteil	Gefüge	Hydromorphe Merkmale	pH-Wert	Lagerungsdichte	Durchwurzelbarkeit
5 YR 4/4 5 YR 3/3	2	Ls4	h3 – h4	pol	---	6	Ld1-2	W5 Wp>=3



Profil Nummer 11



Profil Nummer 12

Anhang 2: Nährstoffwerte aller Proben

Probe	NO3	NH4	P	K
unit	mg/kg	mg/kg	mg/kg	mg/kg
1a	<	10,93	6,02	9,32
1b	<	13,75	5,99	8,55
MW 1	<	12,34	6,00	8,94
2a	35,03	16,75	10,56	26,59
2b	34,78	13,53	10,01	27,55
MW 2	34,90	15,14	10,28	27,07
3a	40,40	16,54	9,65	26,57
3b	40,19	14,14	9,87	27,16
MW 3	40,30	15,34	9,76	26,87
4a	109,65	28,75	10,15	56,20
4b	111,52	30,52	9,73	55,33
MW 4	110,58	29,64	9,94	55,76
5a	19,72	13,54	6,04	56,78
5b	20,40	13,94	5,81	54,58
MW 5	20,06	13,74	5,93	55,68
6a	28,14	17,90	6,16	44,28
6b	27,58	16,33	6,22	43,54
MW 6	27,86	17,12	6,19	43,91
7.1a	57,81	25,15	5,42	33,58
7.1b	58,59	30,73	5,46	33,76
MW 7.1	58,20	27,94	5,44	33,67
7.2a	20,99	18,54	<	10,39
7.2b	20,22	17,36	<	11,38
MW 7.2	20,61	17,95	<	10,88
8a	29,43	17,16	9,19	39,81
8b	29,59	15,93	9,22	39,95
MW 8	29,51	16,55	9,21	39,88
9.1a	68,00	16,14	31,27	40,17
9.1b	67,43	18,95	31,15	40,39
MW 9.1	67,72	17,55	31,21	40,28

9.2a	19,99	12,13	10,38	27,36
9.2b	19,52	13,94	10,65	27,18
MW 9.2	19,76	13,04	10,51	27,27
10.1a	58,21	19,34	49,94	60,18
10.1b	65,55	16,73	50,09	60,92
MW 10.1	61,88	18,03	50,02	60,55
10.2a	<	18,33	12,07	17,76
10.2b	<	10,52	11,65	17,94
MW 20.2	<	14,43	11,86	17,85
11a	26,40	14,14	7,47	57,78
11b	26,20	7,58	6,91	59,57
MW 11	26,30	10,86	7,19	58,68
12a	134,20	18,54	231,33	172,57
12b	127,86	19,12	238,40	173,18
MW 12	131,03	18,83	234,86	172,87

Ehrenwörtliche Erklärung

Hiermit versichere ich, die vorliegende Arbeit selbstständig und unter ausschließlicher Verwendung der angegebenen Literatur und Hilfsmittel erstellt zu haben. Die Arbeit wurde bisher in gleicher oder ähnlicher Form keiner anderen Prüfungsbehörde vorgelegt und noch nicht veröffentlicht. Ich bin mir bewusst, dass eine unwahre Erklärung rechtliche Folgen haben wird.

Bayreuth, den 18.09.2017