

# **Vorrat und Kohlenstoffgehalt zweier unterschiedlich bewirtschafteter Naturwälder in Gabun**

**Autor:**

Patrick Stanzl

**Betreuer:** Univ. Prof. Dr. Dipl. Ing. Hubert Hasenauer

**Mitbetreuer:** Univ. Ass. Dr. Mag. Stephan A. Pietsch

Masterarbeit an der Universität für Bodenkultur Wien  
Institut für Waldbau

Wien-Gabun, Februar 2012

## Danksagung

Hiermit bedanke ich mich bei all jenen Personen, Institutionen und Firmen, die mir die Erstellung meiner Masterarbeit ermöglicht und mich bei der Arbeit tatkräftig unterstützt haben:

- Bustier Bernard: Assistenz bei den Winkelzähl-, Boden- und Streuproben; Transporte; Kontaktaufnahme und Verhandlungen mit der Firma FOREEX
- COAFNO- Coopérative Agroforesterie de la Noya und Dorfbewohner Abouns:
  - Daniel: Hilfe im Feld
  - De Dieu Jean: Hilfe bei der Erhebung Biomasse und der Baumartenbestimmung
  - Domenique: Hilfe im Feld
  - Jacque: Unterstützung bei den Stichproben
  - Jibie: Hilfe im Feld und bei der Baumartenbestimmung
  - Papa Gilbert und seine Frau: Hilfe im Feld
  - Papa Minko: Motivation und Bereitstellung zahlreicher namentlich nicht bekannter Helfer aus dem Dorf
  - Philipp: Unterstützung bei den Stichproben und der Baumartenbestimmung
- FOREEX- La Forestière d'Exploitation et d'Exportation:
  - Gallardo Jean Pierre, Chef der Firma FOREEX: Zustimmung für Erhebungen auf dem Firmengelände; Bereitstellung von Kost und Logie
  - Blasco Antonio, Chef d'Exploitation: Bereitstellung von Kost und Logie; Vermittlung von Helfern für die Erhebungen im Wald
  - Wilfried: Hilfe bei den Winkelzählproben
- Gautam Sishir, Msc.: Brainstorming
- Hubert Hasenauer, Univ. Prof. Dipl. Ing. Dr.: Betreuung und Korrektur der Masterarbeit
- Koundou Bernard, Mitarbeiter der IRAF- Institut de Recherches Agronomiques et

Forestières: Mitarbeit im Feld

- Lex Monika, Ing.: Unterstützung bei der Auswertung der Boden- und Streuproben
- Motschmann Günther: Bereitstellung eines Autos für Aboun und Saint Germain-Mitzić
- Ngoy Alfred, Wissenschaftler der IRET- Institut de Recherches en Ecologie Tropicale
- Pietsch Stephan Alexander, Univ. Ass. Mag. Dr.: Bereitstellung der Masterarbeit; Organisation und Betreuung des gesamten Ablaufs; Unterkunft in Libreville
- SDP- Service und Logistik AG:
  - Herud Gerd, Ing., ehem. Geschäftsführer der SDP- Gabun: Finanzierung des ursprünglichen Projektes in Aboun
  - Mouzinga Jean Joseph, Dipl. Ing.: Projektmanager
  - Peitler Ewald: Unterkunft in Aboun, Transporte und Unterstützung im Feld
  - Sarah: kulinarische Verpflegung in Aboun
  - Seebacher Bernd: Unterkunft in Aboun und Transporte

Der größte Dank gilt jedoch meinen Eltern für ihre großartige Unterstützung während meines Studiums, Ina die mich viele, nicht immer leichte, Jahre durch mein Studium begleitet hat und natürlich meiner Frau Berniss. Danke für Eure Geduld!

# Inhaltsverzeichnis

1. Einleitung.....	1
1.1 Zielsetzung dieser Arbeit.....	2
1.2 Gabun.....	3
1.2.1 Geologie und Geomorphologie.....	5
1.2.2 Klima.....	6
1.2.3 Bewaldung.....	18
2. Daten und Methoden.....	10
2.1 Daten.....	10
2.1.1 Untersuchungsgebiete.....	10
2.1.1.1 Aboun.....	10
2.1.1.1.1 Landnutzungsgeschichte.....	11
2.1.1.1.2 Saint Germain- Mitzic.....	12
2.1.1.1.2.1 Landnutzungsgeschichte.....	13
2.1.2 Bestandesalter.....	14
2.2 Methoden.....	14
2.2.1 Messgeräte.....	14
2.2.2 Auswertung der Landnutzungsaufzeichnungen.....	15
2.2.3 Bestimmung der allgemeinen Bestandessituation.....	15
2.2.4 Bestimmung des Kohlenstoffgehalts der oberirdischen Biomasse.....	17
2.2.4.1 Baumartenbestimmung.....	17
2.2.4.2 Holzdichte.....	17
2.2.4.3 Kohlenstoffgehalt.....	18
2.2.4.4 CO <sub>2</sub> - Äquivalent.....	18
2.2.5 Bestimmung des Kohlenstoffgehalts in Streu und Boden.....	18
2.2.5.1 Streu- und Bodenproben.....	18
2.2.5.2 Berechnung des Kohlen- und Stickstoffgehalts der Streu.....	19
2.2.5.3 Berechnung des Kohlen- und Stickstoffgehalt des Bodens .....	19
2.2.6 Bestandesdichte.....	20
2.2.7 Statistik.....	21
2.2.7.1 Standardabweichung und Standardfehler.....	21
2.2.7.2 Stichprobenumfang.....	21

2.2.7.3 Standardisierte Residuen.....	21
2.2.7.4 Lineare Regression.....	22
2.2.7.5 Logarithmische Regression.....	22
2.2.7.6 Bestimmtheitsmaß.....	23
2.2.7.7 t-Test.....	23
3 Ergebnisse und Analyse.....	24
3.1 Rekonstruktion der Holznutzung 2006 und 2007 in Aboun.....	24
3.1.1 Einschlag.....	24
3.1.1.1 Einschlag 2006 .....	24
3.1.1.2 Einschlag 2007.....	26
3.1.2 Arbeitsleistung.....	27
3.1.2.1 Teams 2006.....	27
3.1.2.2 Teams 2007.....	29
3.2 Allgemeine Bestandessituation.....	31
3.2.1 Aboun.....	31
3.2.1.1 Grenzstammkontrolle.....	34
3.2.1.2 Deskriptive Datenanalyse.....	35
3.2.1.2.1 BHD- Häufigkeitsverteilung.....	35
3.2.1.2.2 Höhen-Häufigkeitsverteilung.....	36
3.2.1.2.3 BHD-Höhenverteilung.....	37
3.2.1.2.4 BHD-Volumsverteilung.....	40
3.2.1.2.5 Baumartenanteile.....	41
3.2.1.2.6 Familienanteile.....	46
3.2.2 Saint Germain- Mitzi.....	47
3.2.2.1 Deskriptive Datenanalyse.....	49
3.2.2.1.1 BHD- Häufigkeitsverteilung.....	49
3.2.2.1.2 Höhen-Häufigkeitsverteilung.....	50
3.2.2.1.3 BHD-Höhenverteilung.....	51
3.2.2.1.4 BHD-Volumsverteilung.....	52
3.2.2.1.5 Baumartenanteile.....	53
3.2.2.1.6 Familienanteile .....	54
3.3 Einflüsse auf das ermittelte Volumen.....	55
3.3.1 Aboun mit Stratifizierung.....	55
3.3.1.1 Aboun ohne Stratifizierung.....	59

3.3.2 Saint Germain.....	61
3.4 Kohlenstoffgehalt und CO <sub>2</sub> -Äquivalent .....	62
3.4.1 Aboun.....	62
3.4.2 Saint Germain .....	65
3.5. Kohlenstoff und -stickstoffgehalt des Bodens und der Streu.....	66
3.5.1 Aboun.....	66
3.5.1.1 Streuproben.....	66
3.5.1.1.1 Einflüsse auf den Kohlenstoff- und Stickstoffgehalt der Streu.....	67
3.5.1.1.1.1 Kohlenstoff.....	67
3.5.1.1.1.2 Stickstoff.....	68
3.5.1.2 Bodenproben.....	69
3.5.1.2.1 Verlauf des Kohlenstoff- und Stickstoffgehalts mit der Bodentiefe.....	71
3.5.1.2.1.1 Kohlenstoff.....	71
3.5.1.2.1.2 Stickstoffgehalt.....	72
3.5.1.2.2 Einflüsse auf den Kohlenstoffgehalt des Bodens.....	74
3.5.1.2.2.1 Oberboden.....	74
3.5.1.2.2.2 Unterboden.....	76
3.5.1.2.3 Einflüsse auf den Stickstoffgehalt des Bodens.....	77
3.5.1.2.3.1 Oberboden.....	77
3.5.1.2.3.2 Unterboden.....	78
3.5.2 Saint Germain.....	80
3.5.2.1 Streuproben.....	80
3.5.2.1.1 Einflüsse auf den Kohlenstoff- und Stickstoffgehalt der Streu.....	80
3.5.2.1.1.1 Kohlenstoff.....	80
3.5.2.1.1.2 Stickstoff.....	82
3.5.2.2 Bodenproben.....	83
3.5.2.2.1 Verlauf des Kohlenstoff- und Stickstoffgehalts mit der Bodentiefe.....	85
3.5.2.2.1.1 Kohlenstoffgehalt.....	85
3.5.2.2.1.2 Stickstoff.....	86
3.5.2.2.2 Einflüsse auf den Kohlenstoffgehalt des Bodens.....	88
3.5.2.2.2.1 Oberboden.....	88
3.5.2.2.2.2 Unterboden.....	89
3.5.2.2.3 Einflüsse auf den Stickstoffgehalt des Bodens.....	91
3.5.2.2.3.1 Oberboden.....	91

3.5.2.2.3.2 Unterboden.....	92
3.6 Vergleich Aboun/Saint Germain- Mitzic.....	94
3.6.1 Vergleich der allgemeine Bestandessituation.....	94
3.6.1.1 t-Test.....	98
3.6.2 Vergleich der Einflüsse auf das ermittelte Volumen.....	99
3.6.3 Vergleich der Boden- und der Streuanalyse.....	101
3.6.3.1 Streu .....	101
3.6.3.1.1 Vergleich der Einflüsse auf den Kohlenstoff- und Stickstoffgehalt der Streu.....	102
3.6.3.1.1.1 Kohlenstoff.....	102
3.6.3.1.1.2 Stickstoff.....	104
3.6.3.2 Boden.....	107
3.6.3.2.1 Vergleich der Einflüsse auf den Kohlenstoff- und Stickstoffgehalts des Bodens.....	109
3.6.3.2.1.1 Kohlenstoff .....	109
3.6.3.2.1.1.1 Oberboden .....	109
3.6.3.2.1.1.2 Unterboden .....	111
3.6.3.2.1.2 Stickstoff .....	113
3.6.3.2.1.2.1 Oberboden.....	113
3.5.3.2.1.2.2 Unterboden.....	115
4. Diskussion und Schlussfolgerung.....	118
5. Literaturverzeichnis.....	121
6. Anhang.....	127
6.1 Liste der Baumarten .....	127

# 1. Einleitung

Wälder verfügen über die Fähigkeit 25% bis 30% der jährlichen anthropogen verursachten Kohlenstoffemissionen zu sequestrieren (Canadell et al., 2008; Running, 2008). Nach Mooren stellen Wälder den größten terrestrischen biologischen Kohlenstoffspeicher pro Hektar dar (Fischlin et al., 2007). So werden etwa rund 45% des terrestrischen Kohlenstoffs in ihnen gespeichert (Bonan, 2008). Verglichen mit anderen Waldtypen, weisen tropische Wälder eine hohe Kohlenstoffdichte auf und sind sehr produktiv. Obwohl sie nur 7-10% der globalen Landfläche bedecken speichern sie 25% des terrestrischen vegetativen Kohlenstoffs (~25% Bonan, 2008; 40-50% Brown und Lugo, 1984). Beruhend auf der Tatsache, dass sie jährlich über Photosynthese und Atmung rund sechs mal mehr Kohlenstoff aufnehmen und binden, als mittels fossiler Brennstoffe emittiert wird (Malhi und Grace, 2000), stellen tropische Wälder eine bedeutsame Kohlenstoffsенke dar (Fan et al., 1990; Phillips et al., 1998; Luysaert et al., 2008; Phillips et al., 2008; Lewis et al., 2009).

Allerdings nehmen Wälder nicht nur Kohlenstoff aus der Atmosphäre auf, sondern emittieren ihn auch bei Vorgängen wie der Entwaldung und Degradierung. So wird der durchschnittliche jährliche Kohlenstofffluss, bedingt durch die Änderung der Landnutzung, von der Kohlenstoffemission aus den Tropen dominiert und ist von 2 PgC pro Jahr in den 80- iger Jahren auf 2,2 PgC pro Jahr in den 90- iger Jahren gestiegen (Houghton, 2003). Verschiedene Arbeiten liefern eine breite Variation an geschätzten jährlichen Kohlenstoffemissionen aus den Tropen. So reicht die Spanne von 0,42 bis 2,4 Gigatonnen (Detwiler et al., 1988; Houghton et al., 2000; Schimmel et al., 2001; und Achard et al., 2002; van der Werf et al., 2003; Houghton, 2005). Gründe für die großen Unterschiede könnten Ungenauigkeiten sowie Unsicherheiten in der Messungen des gespeicherten Kohlenstoffs sein, aber auch Änderungen der Waldbedeckung über die Zeit. Diese Varianz könnte in afrikanischen Wäldern noch viel größer sein, da hier nicht ausreichend standortsspezifische Studien durchgeführt wurden. Hinzu kommt, dass die Methoden zur Schätzung der Biomasse, in anderen tropischen Wäldern entwickelt wurden und ohne angemessener Validierung adaptiert werden.

Die alarmierende Rate des quantitativen als auch qualitativen Verlusts kohlenstoffreicher tropischer Wälder führte zur internationalen Aufforderung, die Entwaldung in diesen Gebieten zu verlangsamen. Es wurde bereits bewiesen, dass die Reduktion von

Kohlenstoffemissionen nicht nur durch die Limitierung der Produktion von fossilen Brennstoffen, sondern auch durch die Anhebung der Kohlenstoffsequestrierung in terrestrischer Vegetation (Kyoto Protokoll) und durch die Reduktion von Entwaldung und Degradation von Wäldern bewirkt werden kann (REDD). Als Konsequenz dessen wurden Mechanismen geschaffen, mit welchen eingesparte Mengen an Kohlenstoff, als eine Entlohnung für den Beitrag zur Abschwächung des Klimawandels, vergütet werden (Santilli et al., 2005; Gibbs et al., 2007; Gullison et al., 2007; Canadell et al., 2008; Mahli et al., 2008), durch den Beleg der Nettokohlenstoffsequestrierung. Emissionen und Bindung von CO<sub>2</sub> werden direkt über die Veränderung im Kohlenstoffspeicher bestimmt und die Nettozunahme des Kohlenstoffgehaltes wird vergütet. Eine zuverlässige Schätzung der oberirdischen Biomasse und des Kohlenstoffgehaltes von Wäldern ist sehr wichtig und hängt von zahlreichen methodischen Ansätzen in der Erhebung ab.

### **1.1 Zielsetzung dieser Arbeit**

In dieser Arbeit werden zwei Waldstandorte in Gabun miteinander verglichen, welche eine unterschiedliche Bewirtschaftungsgeschichte aufweisen. Aufgrund ihrer Nutzungsvergangenheit, lassen sich die Wälder dieser Standorte in

- Exploitationswald
- und Wirtschaftswald

unterteilen. Darauf aufbauend soll gezeigt werden, wie sich die unterschiedlichen Nutzungen auf die allgemeine Bestandessituation, den Boden und die Kohlenstoffspeicherung ausgewirkt haben bzw. es noch immer tun.

Im Zuge der Ermittlung des Kohlenstoffgehalts der oberirdischen Biomasse, soll dessen CO<sub>2</sub>-Äquivalent sowie dessen Handelswert, beruhend auf einem mittleren Auktionspreises, bestimmt und veranschaulicht werden.

Bezüglich des methodischen Aspekts soll herausgefunden werden, welcher Bedeutung die Unterteilung des Untersuchungsgebietes in einzelne Straten, bei der Ermittlung des Kohlenstoffgehalts zukommt und ob sich dadurch deutliche Unterschiede in den Auswertungsergebnissen erkennen lassen.

Des weiteren wird versucht festzustellen, ob es einen Einfluss des BHD, der Baumhöhe sowie der Seehöhe auf das ermittelte Volumen gibt.

Ebenso wird geprüft, ob es einen Einfluss der Stammzahl, der Grundfläche und des Volumens auf den Kohlenstoff- und Stickstoffgehalt der Streu und des Bodens gibt.

Ein funktionierender Kohlenstoffhandel braucht Transparenz über Nutzungen. Eine ordentliche Dokumentation einzuführen ist eine Sache, jedoch wie sieht es mit der Vergangenheit aus? Anhand von sichergestellten Nutzungsaufzeichnungen zweier Jahre in Aboun, soll gezeigt werden, wie schwer es ist bereits durchgeführte Holznutzungen zu rekonstruieren. In diesem Zusammenhang soll die Möglichkeit genutzt werden, sich einen Eindruck über das Ausmaß sowie die Arbeitsleistung, der für die Holznutzungen verantwortlichen Arbeiter, zu verschaffen.

Die Arbeit gliedert sich in:

- Allgemeines über Gabun
- Daten und Methoden
- Ergebnisse und Diskussion
- und Schlussfolgerungen.

## **1.2 Gabun**

Die Republik Gabun liegt im Westen Zentralafrikas zwischen den Breitengraden 2°30' N und 4° S und den Längengraden 8°30' O und 14°30' O. Das Land grenzt im Nordwesten an Äquatorial Guinea, im Norden an Kamerun, im Osten und Süden an die Republik Kongo und im Westen an den Atlantischen Ozean (Abb.1). Die reine Landesfläche umfasst 257.667 km<sup>2</sup>. Inklusive der Binnengewässer 267.667 km<sup>2</sup> (FAO, 2010a; Google Earth, 2010; Schlüter, 2006).

Der letzten Schätzung aus dem Jahre 2009 zufolge, beträgt die Einwohnerzahl lediglich 1.475.000, wovon 50% unter 19 Jahre alt sind (FAO, 2010a; The World Bank, 2010). Daraus ergibt sich eine Besiedlungsdichte von ~6 Einwohnern pro Quadratkilometer. Von der rund 1,5 Millionen Menschen umfassenden Gesamtbevölkerung leben ca. 75% in urbanen Regionen (The World Bank, 2010).



Abb. 1: Gabon, Quelle: IZF, 2010

## 1.2.1 Geologie und Geomorphologie

Das Land lässt sich in drei geologische als auch geomorphologische Bereiche einteilen (FAO, 2010b; Schlüter, 2006):

- Phanerozoische Sedimente welche die Küstenregionen im Westen bedecken. Dieses küstennahe Sedimentationsbecken teilt sich in zwei ungleich große Bereiche. Der östliche Teil des Beckens besteht hauptsächlich aus kontinentalen limnischen Sedimenten aus dem Zeitalter des oberen Paläozoikums bis hin zur mittleren Kreide, während im westlichen Teil größtenteils marine Sedimente aus der mittleren Kreide bis hin zum mittleren Quatär zu finden sind. Dieser sanft geschwungene Küstenbereich ist von einer geschlossenen Walddecke überzogen, mit der Ausnahme auf einige sandige Streifen, welche durch Savanne eingenommen sind.
- Das archaische Basisgestein ist das älteste dieses Landes und wird als das nördliche Gabun Massiv und das südliche Chaillu Massiv unterschieden. Die sich im Norden befindlichen Monts de Crystal, mit einer Höhe von bis zu 900 m, als auch die Mitzié Region weisen eine große Variation an Granit und Charnockit auf. Das Chaillu Massiv wird größtenteils von Granit dominiert, welcher zahlreiche Einschlüsse von eisenhaltigem Quarzit und Schiefer enthält. Das Chaillu erreicht im östlichen Teil Höhen bis über 1000 m und ist von tiefen Tälern, welche Flüsse im Laufe der Zeit geformt haben, gekennzeichnet. Die gesamte Gebirgsregion ist von Wald bedeckt. Lediglich am südlichen Ende wird sie von einem Savannenkorridor unterbrochen.
- Proterozoisches Gestein bildet die Franceville- Übergruppe im östlichen Zentralteil des Landes und den orogenen Ogooué- Gürtel im zentralen Westen. Hauptbestandteil dieser Übergruppe ist sedimentäres Gestein mit einem Anteil an hoch deformierten metavulkanischen Gestein. Das Mayombe- Nyanga Terrain im südwestlichen Teil Gabuns besteht aus metasedimentärem Gestein mit post-tektonischem Granit. Der Norden und der Nordosten zeichnen sich durch seichte Flüsse und flach streichende, sumpfige Täler aus. Der Süden dieser Region ist hingegen aufgrund des Ogooué und seiner Nebenflüsse durch tiefe gekerbte Täler geprägt. Der Wald, der sich annähernd über das gesamte Gebiet erstreckt, wird im Südosten abrupt durch das Batéké- Plateau, welches vollständig von Savanne

bedeckt ist, unterbrochen. Das Plateau liegt als tertiäre Kontinentalfazies direkt auf der proterozoischen Formation und erreicht eine Höhe von bis zu 200 m. Die Region um Franceville ist durch ein Mosaik an Wald und Savanne gekennzeichnet.

## 1.2.2 Klima

Das Klima Gabuns ist übergehend äquatorial und weist, den Norden mit dem Süden verglichen, signifikante Unterschiede auf. So ist die im Nordwesten gelegene Stadt Cocobeach mit einer mittleren Niederschlagsmenge von 3300 mm jährlich der regenreichste Punkt des Landes, während hingegen das südliche Tschibanga mit durchschnittlich 1400 mm Niederschlag pro Jahr zum trockensten zählt. Auch nehmen die Niederschlagsmengen von Westen Richtung Osten ab (FAO, 2010b). Die großen Regenmengen resultieren aus dem aufeinander Treffen des kalten Benguela Stroms aus dem Süden mit dem warmen Guinea Strom aus dem Norden vor der Küste Gabuns (Encyclopedia of the Nations, 2010).

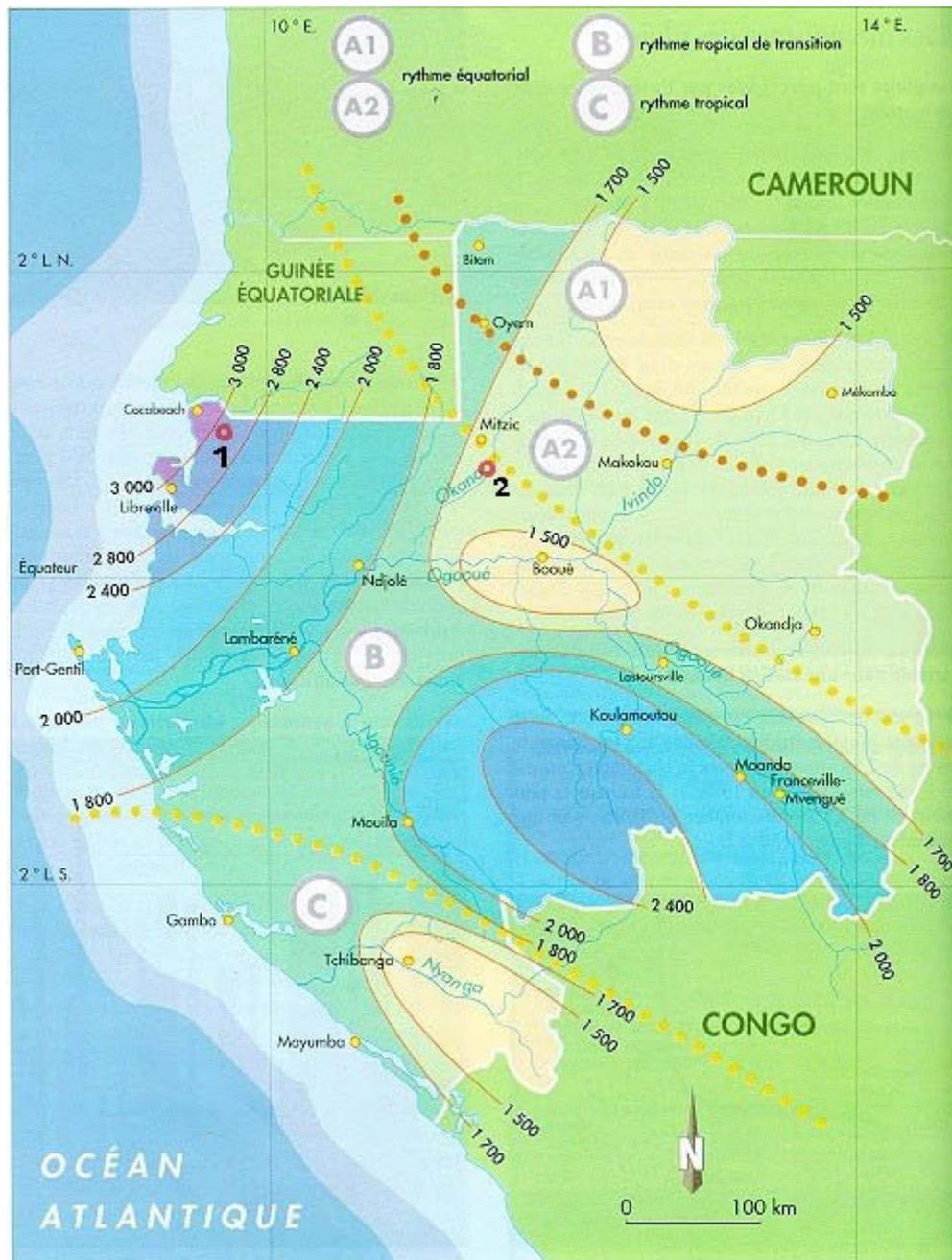
Die mittlere jährliche Luftfeuchtigkeit beträgt 85% (leGabon, 2010), wobei die durchschnittliche Jahrestemperatur bei 27°C liegt (Climate and Temperature, 2010; leGabon, 2010).

Insgesamt gibt es vier Saisonen im Jahr (Bustier, 2010; FAO, 2010b; leGabon, 2010):

- eine **kurze Trockenzeit** von Mitte/Ende Dezember bis Februar, charakterisiert durch leichten Regen und klaren Himmel;
- eine **lange Regenzeit** von März bis Mai mit großen Regenmengen und hoher Temperatur;
- eine **lange Trockenzeit** von Juni bis Mitte September, welche sich durch so gut wie keine Niederschläge, einer durchgehend präsenten Wolkendecke, trotzdem hoher Luftfeuchtigkeit und für gabonesische Verhältnisse geringer Temperatur um die 25°C auszeichnet;
- und eine **kurze Regenzeit** von Mitte September bis Mitte/Ende Dezember. In dieser Saison sind die größten Niederschlagsmengen gefolgt von Sonnenschein zu verzeichnen.

Im Norden des Landes ist die Trockenzeit nicht so stark betont wie im Süden und Südwesten, wo sie in Mayumba bis zu sechs Monate anhält.

Einen generellen Eindruck über die Niederschlagsverteilung Gabuns sowie die Lage der Untersuchungsgebiete verschafft die Abbildung 2.



**Abb. 2:** Niederschlagsverteilung Gabuns und Lage der Untersuchungsgebiete (○ 1= Abou; ○ 2= Saint Germain- Mitzic), Quelle: L'aménagement forestier au Gabon, 1999, nach Léonard & Richard, 1993

### 1.2.3 Bewaldung

Während des Höhepunkts der letzten Eiszeit war die Fläche des afrikanischen Regenwaldes kleiner als heute. Dies ist darauf zurückzuführen, dass es vor 18.000 Jahren kühler und vor allem trockener war. Durch die verlängerte und verstärkte Trockenzeit, welche sich aus einem kühleren tropischen südlichen atlantischen Ozean ergab, war der Wald gezwungen sich auf hügelige Regionen zurück zuziehen, wo eine permanente Präsenz von Nebel ein Überleben ermöglichte. Diese Gebiete sind als Refugien anzusehen. Nach dem Ende der letzten Eiszeit breitete sich der Wald von den Hügeln ausgehend wieder aus und besiedelte das umgelegene Grasland erneut. Auf dem Faktum der Sukzession beruhend, ist der größte Teil der Klimaxbaumarten in den Refugialgebieten vorzufinden. Zu diesem Strategietyp zählen auch die *Caesalpinioideae*, welche sich sehr langsam ausbreiten. Dass Gabun die größte Anzahl an *Caesalpinioideae* des zentralafrikanischen Tieflandregenwaldes aufweist, ist darauf zurückzuführen, dass es die hügeligste Region ist. Zudem ist zu vermerken, dass die Hügel die Flüsse im Tiefland mit Wasser speisen und somit ein Austrocknen während der letzten Eiszeit verhinderten (Leal, 2004).

Schätzungen der FAO (2011b) zufolge sind ca. 21,8 Millionen Hektar mit Wald bedeckt. Das entspricht rund 80% der Landesfläche.

Der gabunesische Wald lässt sich grob in drei Typen unterteilen (FAO, 2011a; Nicolas, 1977; Olson und Dinerstein, 1998):

- die **an der Küste gelegenen Wälder des Beckens**: Hierbei handelt es sich um immergrüne Tieflandregenwälder, welche unter genauerer Betrachtung nochmals in weitere Waldtypen unterteilt werden können:
  - Küstenwälder mit Mangroven
  - Intermediäre Wälder zwischen den Küstenwäldern und den zentral gelegenen Wäldern
  - Wälder der Seeregion
  - Wälder des südlichen Beckens
- **Wälder des zentralen Gabuns**: Dies sind ebenfalls immergrüne Tieflandregenwälder, welche abhängig vom Grundgestein und des Bodens nur feine Veränderungen der Kronendach dominierenden Arten hervorbringen.

- **Nord-östliche Wälder:** In diesen Wäldern zeichnet sich ein Übergang vom immergrünen Tieflandregenwald zum Halblaubabwerfenden Regenwald ab.

Der Waldstandort Aboun liegt am Übergang von den Küstenwäldern des Beckens zu den Wäldern des zentralen Gabuns. Der Waldstandort Saint Germain hingegen, befindet sich an der Grenze der Wälder des zentralen Gabuns zu den nord- östlichen Wäldern.

## **2. Daten und Methoden**

### **2.1 Daten**

#### **2.1.1 Untersuchungsgebiete**

##### **2.1.1.1 Aboun**

Aboun hat die Koordinaten  $0^{\circ}49'21.74''\text{N}$  und  $9^{\circ}53'41.51''\text{O}$  und befindet sich 120 km nord-östlich von Libreville, lediglich 12,5 km von der Grenze zu Äquatorial Guinea entfernt. Auf einer Seehöhe von rund 30 m liegt es in der Provinz Estuaire. Dem Wettergenerator MarkSim (Jones und Thornton, 2000) zufolge beträgt die Jahresmitteltemperatur  $25,3^{\circ}\text{C}$ . Die Tagestemperatur schwankt zwischen  $28,7^{\circ}\text{C}$  maximum und  $21,8^{\circ}\text{C}$  minimum, wobei die mittlere Tagestemperatur, bezogen auf Lichtstunden, bei  $26,8^{\circ}\text{C}$  liegt. Die jährliche mittlere Niederschlagsmenge, gemessen über einen Zeitraum von 1951-1990 liegt bei 3200 mm (Maloba Makanga, 2010). Nach MarkSim ergibt eine mittlere Niederschlagsmenge von 3190 mm und stimmt somit mit den gemessenen Werten weitgehend überein. Die Strahlung beträgt  $328,9\text{ W/m}^2$  (Jones und Thornton, 2000). Die Angaben nach MarkSim beruhen auf einer Korrektur für die Trockenzeit nach Bednar (2011).

Folgende Tabelle gibt die mittlere Position sowie topographische Eigenschaften der Stätte an, an der die Untersuchungen durchgeführt wurden. Vor Ort wurde die Position als UTM-Koordinaten erfasst. Aus diesen wurde der Mittelwert gebildet und dieser mittels eines Koordinatenkonverters in Grad, Minuten und Sekunden umgerechnet (Nathansen, 2011).

**Tab. 1:** Mittlere Position und mittlere topographische Eigenschaften der Untersuchungsstätte in Aboun (Mittelwert und Standardabweichung von UTM-Koordinaten, Seehöhe in Meter und Geländeneigung in Grad; UTM- Koordinaten als Grad, Minuten und Sekunden- Koordinaten)

	UTM			
	Rechtswert	Hochwert	Seehöhe [m]	Neigung [°]
Mittelwert	593887,44	92200,78	31,78	5,42
Standardabweichung	± 1206,9	± 430,82	± 18,8	± 4,66

Mittlere Position
0°50'2,7" N
9°50'37,7" E

#### 2.1.1.1.1 Landnutzungsgeschichte

Von 1960 bis 1980 war das spanische Forstunternehmen SONG tätig. Die Nutzung beschränkte sich ausschließlich auf Okoumé (*Aucouméa klaineana*).

Die darauffolgenden 10 Jahre ließ sich das französische Unternehmen SOFOR in Aboun nieder.

Ab 1990 führten Malayen, welche für einen chinesischen Forstbetrieb arbeiteten, für eine kurze Zeit Nutzungen durch. Die Exploitation war auf „*bois dur*- Hartholz“ ausgerichtet. Darunter fallen Arten wie etwa Bilinga (*Nauclea diderrichii*), Padouk (*Pterocarpus soyauxii*) oder Tali (*Erythroleum suaveolens*). Jedoch wurden im Zuge der Fällungsarbeiten auch alle anderen Baumarten, deren Holz sich in welcher Form auch immer verwenden lässt, genutzt und als „*bois divers*- Holz divers“ zusammengefasst.

Nach den Malayen war GONZALES, ein französisches Unternehmen, tätig. Es richtete seinen Fokus auf „*bois dur*“ und „*bois divers*“ (Bustier, 2011a) richtete, wurde von Asiaten abgelöst, welche ihre Arbeiten bis etwa 2008 verrichteten.

2009 startete die österreichische Firma SDP ein Projekt bezüglich Agroforstwirtschaft. Dabei handelte es sich um ein Pilotprojekt, welches die Eindämmung der Landflucht der

regionalen Bevölkerung, die Verbesserung der Bodenqualität als auch die Ankurbelung der Kohlenstoffsequestrierung und somit die Reduktion von CO<sub>2</sub>- Emissionen zum Ziel hatte. Das Projekt wurde jedoch aufgrund firmeninterner Probleme 2010 eingestellt.

Der Wald in Aboun, lässt sich als Exploitationswald bezeichnen.

### **2.1.1.2 Saint Germain- Mitzic**

Saint Germain, mit ca. 50 km Entfernung in süd- östlicher Richtung von Mitzic mit den Koordinaten 0°46'53.17"N und 011°32'18.06"O, liegt in der Provinz Woleu- Ntem auf einer Seehöhe von 583 m und ist in etwa 183 km Luftlinie von Aboun entfernt. Nach MarkSim liegt die mittlere Jahrestemperatur bei 23,7°C (Jones und Thornton, 2000). Als Maximum der Tagestemperatur ergeben sich 28,1 C° und als Minimum 19,3 C°. Die mittlere Tagestemperatur während der Tageslichtstunden beträgt 25,7 C°. Der jährliche mittlere Niederschlag, ebenfalls gemessen über einen Zeitraum von 1951-1990, beträgt ~1580 mm (Maloba Makanga, 2010). Nach MarkSim hingegen 1690 mm. Die Strahlung liegt bei 392,9 W/m<sup>2</sup>. Die angegeben Werte nach MarkSim unterliegen ebenfalls einer Korrektur nach Bednar (2011) für die Trockenzeit.

Die mittlere Position sowie topographische Eigenschaften der Plätze an welchen die Winkelzählproben durchgeführt wurden, zeigt die nachstehende Tabelle 2. Es wurde ebenfalls aus im Feld erhobenen UTM- Koordinaten der Mittelwert gebildet in Grad, Minute und Sekunden umgerechnet. Die Neigung wurde in Saint Germain nicht zusätzlich erfasst, da die Stichproben mit einem Spiegelrelaskop durchgeführt wurden, welches die Neigung automatisch kompensiert.

**Tab. 2:** Mittlere Position und mittlere topographische Eigenschaften der Untersuchungsstätte in Saint Germain (Mittelwert und Standardabweichung von UTM-Koordinaten, Seehöhe in Meter; UTM- Koordinaten als Grad, Minuten und Sekunden-Koordinaten)

UTM			
	Rechtswert	Hochwert	Seehöhe [m]
Mittelwert	797247,25	102798,65	503,5
Standardabweichung	± 5113,21	± 79914,4	± 12,95

Mittlere Position
0°2'46,4" N
11°40'13,1" E

#### 2.1.1.2.1 Landnutzungsgeschichte

1970 machte das französische Forstunternehmen ROUGIER den Anfang der forstlichen Nutzung in Saint Germain ca. 50 km von Mitzié entfernt. Das Ausmaß der damaligen Konzession betrug in etwa 200.000-300.000 ha. Die Exploitation konzentrierte sich in erster Linie auf Okoumé. Lediglich beim Bau der Forststraßen wurde das Holz anfallender Arten wie zb.: Kevazingo (*Guibourtia demeusei*), Moabi (*Baillonella toxisperma*), Movingui (*Distemonanthus benthamianus*), Padouk, Pao Rosa (*Swartzia fistuloides*), und Wengé (*Millettia laurenti*), welche unter die Bezeichnung „bois divers“ fielen, zusätzlich genutzt.

Ab 1990-1996 erhielten CEB, FOREEX und SBO, alles französische Forstbetriebe mit Ausnahme von FOREEX, eines gabonesischem Unternehmens, Konzessionen über dieses Gebiet, welche bis heute andauern. Das Areal, über welches ROUGIER zuvor allein verfügte, wurde auf die drei Betriebe in unterschiedlichem Maße aufgeteilt (Bustier, 2011b).

Die Aufnahme der Daten erfolgte auf dem Gebiet von FOREEX, dessen Konzession aktuell 135.000 ha umfasst. Die Bewirtschaftungsform als „*aménagement durable*“ ist als eine Art Rotationswirtschaft zu verstehen, bei der in bestimmten Zeitintervallen bestimmte Flächen für eine bestimmte Zeit nacheinander genutzt werden. Letztendlich kehrt man

nach etwa 20-30 Jahren wieder zum Ausgangspunkt zurück und der Nutzungszyklus beginnt erneut. Die Rotationsdauer richtet sich nach dem Zeitraum, den die für die Nutzung gewünschte Baumart benötigt um wieder ein nutzbares Entwicklungsstadium zu erreichen (Bustier, 2011b; FOREXX, 2010; Rougier, 2007). Im Falle der Konzession von FOREEX richtet sich der Fokus auf Okoumé, und in geringen Mengen „*bois divers*“.

Die jahrzehntelange Nutzung und die Tatsache, dass CFAD- *Consession Forèstiere sous Aménagement Durable* erst seit der Novelle des *Code Forèstiere*, dem gabunesischem Forstgesetz, im Jahre 2001 verpflichtend ist (FAO, 2003), führte zu einer Baumartenentmischung und einer Zunahme an Pionierbaumarten. Der Wald des Untersuchungsgebietes kann aktuell als nachhaltig bewirtschaftet bezeichnet werden.

### **2.1.2 Bestandesalter**

Sowohl in Aboun als auch in Saint Germain- Mitzic gibt es keine Information über das Bestandesalter. Lediglich über die Bestandesentwicklungsphase lässt sich ein allgemeiner Eindruck verschaffen. So ist in Aboun der Anteil an Pionierbaumarten und Lianen sehr hoch. Dies ist ein Indiz für ein junges Entwicklungsstadium. Einige wenige Klimaxarten, welche die vorangegangenen Nutzungen aufgrund ihrer schlechten Konstitution überlebt haben gehören einer wesentlich fortgeschrittener Bestandesentwicklungsphase an. Sie sind jedoch gegenüber den Pionierarten in einem sehr geringem Verhältnis vertreten.

In Saint Germain sind zwar auch Pionierbaumarten vorhanden, jedoch nicht in diesem Ausmaß, wie es in Aboun der Fall ist. Dies lässt sich auf die Mindestdurchmessernutzung zurückführen, wodurch Bäume verschiedenster Durchmesser und Alter anzutreffen sind und im Gesamten plenterwaldartige Strukturen erkennen lassen. Allerdings handelt es sich um ein grobes Mosaik, da Einzelbaumentnahmen durch die mit Lianen verwachsenen Kronen ungewollt größere Lücken im Bestand schaffen, welche natürlich die Hotspots der Pioniere sind.

## **2.2 Methoden**

### **2.2.1 Messgeräte**

#### **Pi-Band**

Die Durchmesser der Bäume wurden mit einem Pi- Band erhoben.

## **Relaskop**

Zur Erhebung der allgemeinen Bestandessituation, wurde Stichproben, beruhend auf der Relaskoptechnik, angewendet (Bitterlich, 1949). Zum Einsatz kamen zwei Arten von Relaskopen:

- **Plättchenrelaskop:** Bei diesem Instrument müssen die aufgrund der Geländeneigung verzerrten Messergebnisse mit dem Cosinus- Wert des Neigungswinkels korrigiert werden.
- **Spiegelrelaskop:** In diesem Fall erlässt eine im Gerät bereits integrierte „Cosinus-Verjüngung“ eine nachträgliche Korrektur (Bitterlich, 1980).

## **Ultraschallhypsometer Vertex**

Um die Baumhöhen zu erfassen, wurde ein Vertex, welcher mittels Ultraschall Messungen mit einer Genauigkeit von -0,6 m und +0,8 m zulässt, verwendet (Rössler, 2000).

### **2.2.2 Auswertung der Landnutzungsaufzeichnungen**

Für die Darstellung der Problematik, welche sich bei der Rekonstruktion bereits vorangegangener Nutzungen ergibt, wurden Arbeitsaufzeichnungen des in Aboun zuletzt tätigen Betriebes verwendet. Diese konnten in einem der aufgelassenen Arbeitscamps sichergestellt werden. Beruhend auf diesen Unterlagen, welche sich auf *Sondage*-Stichproben, *Comptage*- Zählung, *Abattage*- Fällung und *Roulage*- Abtransport bezogen, wurde ein oberflächlicher Versuch unternommen, die mittlere Leistung pro Arbeiter bzw. pro Arbeitsteam bezogen auf einen Tag, ein Monat und ein Jahr zu bestimmen.

Hierfür wurden die Aufzeichnungen zunächst nach dem Jahr, dem Monat und dem Tag geordnet und danach nach den Namen der Arbeiter sortiert. In weiterer Folge wurden Summen über die Anzahl der gefälltten Bäume gebildet aus welchen anschließend Mittelwerte bezogen auf den jeweiligen Zeithorizont berechnet wurden.

### **2.2.3 Bestimmung der allgemeinen Bestandessituation**

Als Stichprobenverfahren, zur Erhebung der allgemeinen Bestandessituation, wurde die von Bitterlich (1948) erfundene Winkelzählprobe angewendet. Das Prinzip beruht darauf, dass nur jene Bäume gezählt werden, die breiter als ein bestimmter Sichtwinkel sind. Unabhängig von der Größe, repräsentiert jeder Baum, der in die Probe fällt, die gleiche

Kreisfläche pro Hektar. Das heißt, die repräsentierte Grundfläche  $G_{rep}$  jedes Probebaumes ist gleich dem Zählerfaktor  $k$ . Bei der Durchführung der Winkelzählprobe mittels dem Plättchenrelaskop, muss der Zählerfaktor berechnet werden. Dies geschieht mit folgender Formel:

$$k = (50 * B)^2 / L$$

$B$  ist die Plättchenbreite der Visureinrichtung,  $L$  steht für die Stablänge der Visureinrichtung.

Mit dem Spiegelrelaskop ist dieser Rechenschritt nicht erforderlich, da der Zählerfaktor gleich der wählbaren Zählbreite auf der Skala ist.

Die tatsächliche Kreisfläche  $g$  jedes einzelnen Baumes errechnet sich mit:

$$g [m^2] = BHD^2 * \pi / 4$$

Zu beachten ist jedoch, dass in dieser Formel der BHD in Meter einzusetzen ist.

Die repräsentierte Stammzahl  $N$  ergibt sich mit:

$$N = k / g$$

Um das Volumen zu bestimmen zu können, ist folgender Ansatz anzuwenden:

$$V [Vfm] = f * g * h$$

Wobei  $g$  die Kreisfläche in  $m^2$  und  $h$  die Höhe in m des jeweiligen Baumes ist. Für den in die Formel eingehenden Formfaktor  $f$  wurde ein Wert von 0,6 verwendet, welcher sich nach Cannell (1984) als Mittelwert über tropische Baumarten ergibt.

An den jeweiligen Plätzen der Untersuchungsgebiete wurden die Winkelzählproben auf folgende Weise durchgeführt:

- **Aboun:** In vier verschiedenen Arealen, in welchen in den letzten Jahrzehnten Nutzungen stattgefunden haben, wurde mittels Winkelzählproben der Vorrat erhoben. Jeweils fünf Stichproben pro Areal. Die Auswahl der Stichprobenpunkte erfolgte zufällig. Die insgesamt 20 durchgeführten Winkelzählproben erfolgten mit einem Plättchenrelaskop. Von den in die Probe fallenden Bäumen wurde der BHD mit Pi- Band, die Baumhöhe mit Vertex und soweit wie möglich die Baumart bestimmt. Die Zählbreite wurde jeweils so gewählt, dass mindestens 12 Bäume in die Probe fielen, wodurch eine gewisse statistische Aussagekraft gewährleistet ist.

- **Mitzić:** Für die Winkelzählproben wurden ebenfalls von Nutzungen geprägte Bestände aufgesucht und die Stichprobenpunkte zufällig gewählt. Auch hier wurden bei den insgesamt 20 Probepunkten für zählenden Bäume jeweils der BHD mit Pi-Band, die Baumhöhe mit Vertex und die Art bestimmt. Die Durchführung der Winkelzählproben erfolgte in Mitzić jedoch mit einem Spiegelrelaskop. Hierbei wurde die Zählbreite 4 gewählt.

## 2.2.4 Bestimmung des Kohlenstoffgehalts der oberirdischen Biomasse

### 2.2.4.1 Baumartenbestimmung

Vor Ort wurden die Baumarten mit Hilfe Einheimischer so weit wie möglich erfasst. Da jedoch größtenteils der Name auf Fang, einer Bantusprache, genannt wurde, mussten zur konkreten Bestimmung des wissenschaftlichen Namens Arbeiten von Dahms (1999), Raponda-Walker und Sillans (1995) sowie Wilks und Issembé (2000) herangezogen werden.

### 2.2.4.2 Holzdichte

Die Holzdichte ist definiert als die ofentrockene Masse einer Holzprobe dividiert durch ihr Volumen in frischem Zustand (Simpson und TenWolde, 1999; Panshin und deZeeuw, 1980). Als Quellen für die Holzdichten afrikanischer Holzarten, wurden Brown (1997), Gautam and Pietsch submitted (2011) sowie die Wood Density Database (2010) herangezogen. Alle Angaben der Dichte, mit Ausnahme von Brown (1997), welche auf ofentrockener Masse beruhen, beziehen sich auf einen Feuchtigkeitsgehalt von 12-15%. Um diese Dichten ebenfalls auf die Dichte bei 0% Feuchtigkeitsgehalt umzurechnen, wurde folgende Formel verwendet (Kollmann und Côté, 1968):

$$\text{Dry density}(WDO) = \text{wet density} * ((100 + \text{volumetric shrinkage}) / (100 + mc))$$

*Wet density* ist die Dichte bei gegebenen Feuchtigkeitsgehalt. *Volumetric shrinkage* ist das Schwindmaß pro Prozent Feuchtigkeitsgehaltsänderung. *Mc* steht für Feuchtigkeitsgehalt, welcher in Prozent in die Formel einzusetzen ist.

Das Schwindmaß wurde von Dahms (1999) übernommen. Wobei für all jene Baumarten, deren Schwindmaß nicht bekannt ist, der Mittelwert angewendet wurde.

Bei den Winkelzählproben wurde für nicht ermittelbare Holzdichten das gewichtete Mittel

über alle Probepunkte herangezogen.

### **2.2.4.3 Kohlenstoffgehalt**

Brown (1997) zufolge beträgt der Kohlenstoffgehalt 50% der Trockenmasse. Hierfür wurde der Kohlenstoffgehalt für jeden Baum anhand seines repräsentativen Volumens mit seiner spezifischen Holzdichte, bei 0% Feuchtigkeitsgehalt, berechnet. Für Bäume deren Art nicht bestimmt werden konnte, wurde das gewichtete Mittel der Dichte herangezogen. Anschließend wurde über die Kohlenstoffgehalte der Mittelwert gebildet.

### **2.2.4.4 CO<sub>2</sub>- Äquivalent**

Da Kohlenstoff eine Atommasse von 12 und Sauerstoff eine Atommasse von 16 hat, ergibt sich wie folgt für CO<sub>2</sub> eine Atommasse von 44:

$$CO_2 = 12 + (2 * 16) = 44$$

Dem zufolge ergibt sich das CO<sub>2</sub>- Äquivalent des Kohlenstoffgehalts pro Hektar nach folgendem Ansatz:

$$\text{Tonne } CO_2 = (\text{Tonne } C / 12) * 44$$

## **2.2.5 Bestimmung des Kohlenstoffgehalts in Streu und Boden**

### **2.2.5.1 Streu- und Bodenproben**

In Saint Germain- Mitzic wurden pro Stichprobenpunkt jeweils drei Streuproben und sechs Bodenproben genommen. In Aboun hingegen wurden aufgrund nicht ausreichend vieler Probensäckchen nur an jedem Dritten Punkt Proben entnommen.

Der genaue Vorgang erfolgte folgendermaßen:

- **Streuproben:** Die Stellen, an denen Proben genommen wurden, wurden zufällig gewählt. Erfasst wurde die Streu innerhalb eines Quadrats mit einer Seitenlänge von 20 cm, welche vom Stichprobenpunkt aus gesehen nach Norden ausgelegt war. Die entnommenen Streuproben wurden pro Probepunkt zu einer Mischprobe zusammengefügt.
- **Bodenproben:** Im Mittelpunkt der Quadrate wurde jeweils ein Schlagbohrer eingeschlagen. Anschließend wurde die dabei gezogene Bodenprobe in

Oberboden, Mischzone und Unterboden unterteilt und jeweils in der Mitte des Ober- und Unterbodens eine Probe entnommen.

- **Bodendichte:** Um die Bodendichte bestimmen zu können, wurden extra Proben genommen. Hierfür wurde an zwei zufällig gewählten Punkten eine Profilwand gegraben und mittels Stechzylinder jeweils eine Probe aus dem Ober- und dem Unterboden entnommen.

### **Aufbereitung und Auswertung der Proben**

Für die Auswertung wurden die Proben zunächst für 24 Stunden in einem Trockenschrank bei einer Temperatur von 70°C getrocknet und anschließend in einem Exsikkator abgekühlt und bis zur Bestimmung des Kohlen- und Stickstoffgehalts darin aufbewahrt. Um dies durchführen zu können, mussten die Proben zunächst mit einer Schwingmühle MM200 von Retsch gemahlen und abgewogen werden. Hierfür wurde für die Streuproben ein Gewichtsbereich von 5-7.mg, für die Proben des Oberbodens 20-25 mg und Proben des Unterbodens 30-35 mg gewählt. Die abgewogenen Proben wurden jeweils in Zinnkartuschen gefüllt, welche anschließend in einem CHNS/O Analyzer 2400 der Firma Perkin Elmer auf deren Kohlenstoff- und Stickstoffgehalt analysiert wurden.

#### ***2.2.5.2 Berechnung des Kohlen- und Stickstoffgehalts der Streu***

Da es sich um Streuproben, bestehend aus jeweils drei Proben, gehandelt hat, wurde es durch drei dividiert. Dadurch wurde das Gewicht einer einzelnen Probe ermittelt. In weiterer Folge wurde es auf das Gewicht der Streu eines Quadratmeters umgerechnet und mit dem prozentuellen Gehalt an Kohlenstoff multipliziert. Hierdurch wurde der Kohlenstoff in Kilogramm pro Quadratmeter gewonnen und weiter in Tonnen pro Hektar umgerechnet. Anschließend wurde der Mittelwert gebildet.

Genauso wurde für die Berechnung des Stickstoffgehalts pro Hektar vorgegangen.

#### ***2.2.5.3 Berechnung des Kohlen- und Stickstoffgehalt des Bodens***

##### **Bodendichte**

Zunächst wurden die Proben, welche mittels Stechzylinder den Profilwänden entnommen wurden, abgewogen. Im weiteren Verlauf wurde das Volumen des Stechzylinders bestimmt und mit dem Gewicht der Proben multipliziert. Hierdurch ergaben sich jeweils für den Ober- und den Unterboden zwei Dichten [kg/m<sup>3</sup>], welche gemittelt wurden, um

letztendlich die Bodendichte der beiden Bodenschichten zu gewinnen.

### **Oberboden**

Mit der zuvor gewonnenen Bodendichte und der Mächtigkeit der jeweiligen Probe des Oberbodens wurde das Gewicht in Kilogramm pro Quadrat ermittelt. Durch die Multiplikation mit dem gemessenen prozentuellen Kohlenstoffs wurde der Kohlenstoff in Kilogramm pro Quadratmeter ermittelt und weiter in Tonnen pro Hektar umgerechnet. Letztendlich wurden die insgesamt 60 für den Oberboden gewonnenen Werte gemittelt.

Das gleiche Prozedere wurde für den Stickstoff angewendet.

### **Unterboden**

Da der Schlagbohrer unterschiedlich tief in den Boden eingeschlagen wurde, wurde zur Generalisierung bei der Berechnung eine Tiefe von einem Meter gewählt. Hierfür wurde die Distanz vom Ende des Oberbodens bis 1 Meter Tiefe ermittelt und wieder mit der Bodendichte und dem prozentuellen Kohlenstoffgehalt multipliziert. Die somit gewonnenen Kilogramm Kohlenstoff pro Quadratmeter wurden danach auf Tonnen pro Hektar umgerechnet und über alle Werte des Unterbodens der Mittelwert gebildet.

Die gleiche Vorgangsweise gilt für den Stickstoff.

## **2.2.6 Bestandesdichte**

### **SDI- Stand Density Index**

Der Stand Density Index (SDI) ist ein von Reineke (1933) entwickeltes Maß für die Bestandesdichte und ist weitgehend alters- und bonitätsunabhängig. Das Konzept geht davon aus, dass vollbestockte geschlossene Bestände die gleiche Baumzahl pro Flächeneinheit erreichen, wenn sie den gleichen Mittendurchmesser haben. Als Bezugsbasis für den Mittendurchmesser werden 25 cm angenommen.

$$SDI = N * (25 / dg)^{-1,605}$$

$N$  ist die beobachtete Stammzahl pro Hektar und  $dg$  der Kreisflächenmittelstamm in Zentimeter.

## 2.2.7 Statistik

### 2.2.7.1 Standardabweichung und Standardfehler

Die Standardabweichung als Ausdruck der Messgenauigkeit errechnet sich nach folgendem Ansatz:

$$sx = \sqrt{\sum (x - \bar{x})^2 / (n - 1)}$$

,wobei  $x$  als der Messwert und  $\bar{x}$  als sein Mittelwert zu verstehen sind.  $n$  ist der Stichprobenumfang.

Der Standardfehler ergibt sich mit der Formel

$$s\bar{x} = sx / \sqrt{n}$$

### 2.2.7.2 Stichprobenumfang

Den notwendigen Stichprobenumfang für einen bestimmten Standardfehler erhält man durch die Umformung der Formel des Standardfehlers nach  $n$ .

$$n = (sx / s\bar{x})^2$$

### 2.2.7.3 Standardisierte Residuen

Standardisierte Residuen wurden einerseits dazu verwendet, einen Einfluss des BHD, der Baumhöhe, sowie der Seehöhe auf das mittels Winkelzählprobe ermittelte Volumen der jeweiligen Probepunkte festzustellen und andererseits die einzelnen Stichproben untereinander vergleichbar zu machen. Des Weiteren wurden standardisierte Residuen auch dazu verwendet, den Einfluss der Stammzahl, der Grundfläche und des Volumens auf den Kohlenstoff- und Stickstoffgehalt des Bodens und der Streu festzustellen.

Gebildet wurden sie für das repräsentative Volumen, den Kohlenstoff- und Stickstoffgehalt des Bodens und der Streu jedes einzelnen Punktes nach folgendem Ansatz:

$$R = (\bar{x} - x) / sx$$

$\bar{x}$  ist der Mittelwert über die repräsentativen Volumina der Probepunkte,  $x$  das repräsentative Volumen eines Punktes und  $sx$  steht für die Standardabweichung der repräsentativen Volumina aller durchgeführten Winkelzählproben.

Für den Kohlenstoff des Bodens und der Streu gilt:  $\bar{x}$  ist der Mittelwert über die ermittelten Kohlenstoffgehalte der Probepunkte,  $x$  der ermittelte Kohlenstoffgehalt eines Punktes und  $s_x$  steht für die Standardabweichung des mittleren Kohlenstoffgehaltes aller Probepunkte.

Für den Stickstoff des Bodens und der Streu gilt:  $\bar{x}$  ist der Mittelwert über die ermittelten Stickstoffgehalte der Probepunkte,  $x$  der ermittelte Stickstoffgehalt eines Punktes und  $s_x$  steht für die Standardabweichung des mittleren Stickstoffgehaltes aller Probepunkte.

#### **2.2.7.4 Lineare Regression**

Um Trends der Residuen bezüglich diverser Parameter mittlerer BHD, mittlere Höhe, repräsentative Stammzahl, repräsentative Grundfläche, Seehöhe und Neigung sowie den Verlauf des Kohlenstoff- und Stickstoffgehalts im Boden darzustellen und zu überprüfen, wurden jeweils lineare Regressionen gebildet. Hierfür wurde folgende lineare Funktion angewendet:

$$\hat{y}_i = b + a * x_i$$

Bei  $x_i$  handelt es sich um die unabhängige Variable, bei  $\hat{y}_i$  hingegen um die abhängige, also die geschätzte, Variable. Während  $b$  das Absolutglied darstellt, ist  $a$  der Anstieg der Ausgleichsgeraden.  $a$  ist errechnet sich aus:

$$a = SPA / SQX$$

$SPA$  ist die Summe der Produkte der Abweichungen und  $SQX$  die Summe der Abweichungsquadrate.

$b$  ergibt sich aus der Umformung der Funktionsgleichung nach:

$$b = \bar{y} - a * \bar{x}$$

Jedoch werden anstelle der geschätzten Variablen  $\hat{y}_i$  und dem  $x$ - Wert der  $i$ . Beobachtung die Mittelwerte der  $x$ - und  $y$ - Werte der Beobachtungen eingesetzt.

#### **2.2.7.5 Logarithmische Regression**

Die logarithmische Regression wurde verwendet um ein Höhenkurve für Aboun und Saint Germain- Mitzic zu erstellen. Die Regression beruht auf folgender logarithmischer Funktion (Brown et al., 1989):

$$\hat{H} = a * \ln(BHD) + b$$

$\hat{H}$  steht für die ausgeglichene Höhe und ist wieder die abhängige Variable, also die, die es zu berechnen gilt, während *BHD*, der Brusthöhendurchmesser, die unabhängige Variable darstellt und den erhobenen Daten entspricht. *a* und *b* sind die Koeffizienten, welche aus der Regressionsanalyse zu ermitteln sind.

### 2.2.7.6 Bestimmtheitsmaß

Als Maß für die Genauigkeit der Ausgleichsfunktion wurde das Bestimmtheitsmaß herangezogen. Die Bestimmtheit ist der Anteil der Abweichungsquadratsumme der Regression vom Mittelwert an der Abweichungsquadratsumme der Beobachtung vom Mittelwert.

$$B = \frac{\sum(\hat{y} - \bar{y})}{\sum(y - \bar{y})}$$

$\hat{y}$  ist die abhängige Variable, welche mittels der Regressionsfunktion ermittelt wurde, *y* der Beobachtete Wert und  $\bar{y}$  der Mittelwert der Beobachtung.

### 2.2.7.7 t-Test

Um zwei unabhängige Mittelwerte miteinander vergleichen zu können, wurde ein t-Test gewählt. Hierfür müssen aus den Stichproben die Mittelwerte  $\bar{x}_1$  und  $\bar{x}_2$ , die Standardabweichungen  $s_1$  und  $s_2$  und die Stichprobenumfänge  $n_1$  und  $n_2$  bekannt sein. Zunächst wird die mittlere Standardabweichung *sx* bestimmt.

$$sx = \sqrt{[s_1^2 * (n_1 - 1) + s_2^2 * (n_2 - 1)] / (n_1 + n_2 - 2)}$$

Um den t- Wert zu berechnen, wird dann in folgende Formel eingesetzt:

$$t = [(\bar{x}_1 - \bar{x}_2) / sx] * \sqrt{(n_1 * n_2) / (n_1 + n_2)}$$

Die Freiheitsgrade ergeben sich mit:

$$FG = n_1 + n_2 - 2$$

, wobei *n* die Summe der Umfänge beider Stichproben ist.

Der t- Wert wurde für eine zweiseitige Fragestellung mit einer 5%- igen Irrtumswahrscheinlichkeit der Tabelle entnommen.

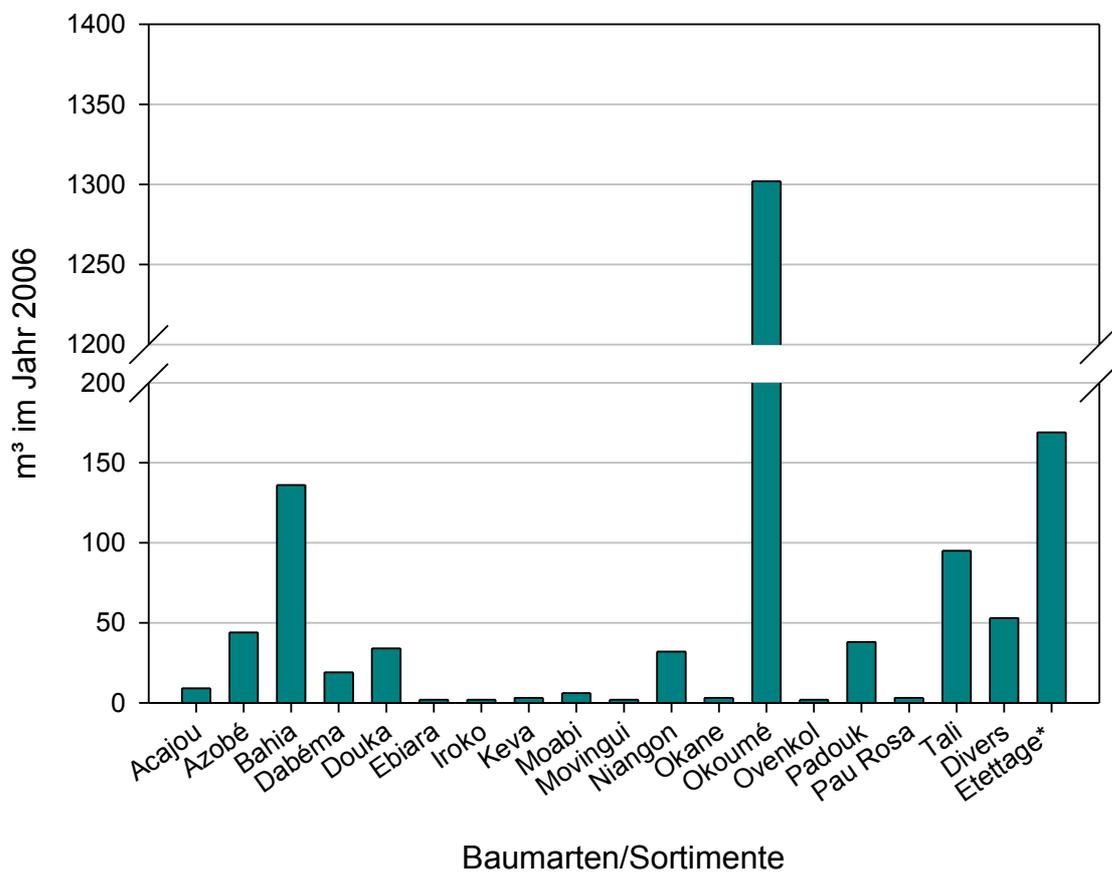
## 3 Ergebnisse und Analyse

### 3.1 Rekonstruktion der Holznutzung 2006 und 2007 in Aboun

#### 3.1.1 Einschlag

Kapitel 3.1.1 zeigt gemäß den Aufzeichnungen des in Aboun zuletzt tätig gewesenem Forstbetriebes, welche Baumarten in welchem Ausmaß in den Jahren 2006 und 2007 genutzt wurden.

##### 3.1.1.1 Einschlag 2006



**Abb. 3:** Holznutzung in Aboun im Jahr 2006 (Einschlag in m<sup>3</sup> von 5 Monaten)

Die Daten entstammen den Aufzeichnungen der Monate August, September, Oktober, November und Dezember. Die Anzahl der Tage, von welchen die Daten stammen variieren. Im August waren es 8, im September 5, im Oktober 9, im November 11 und im

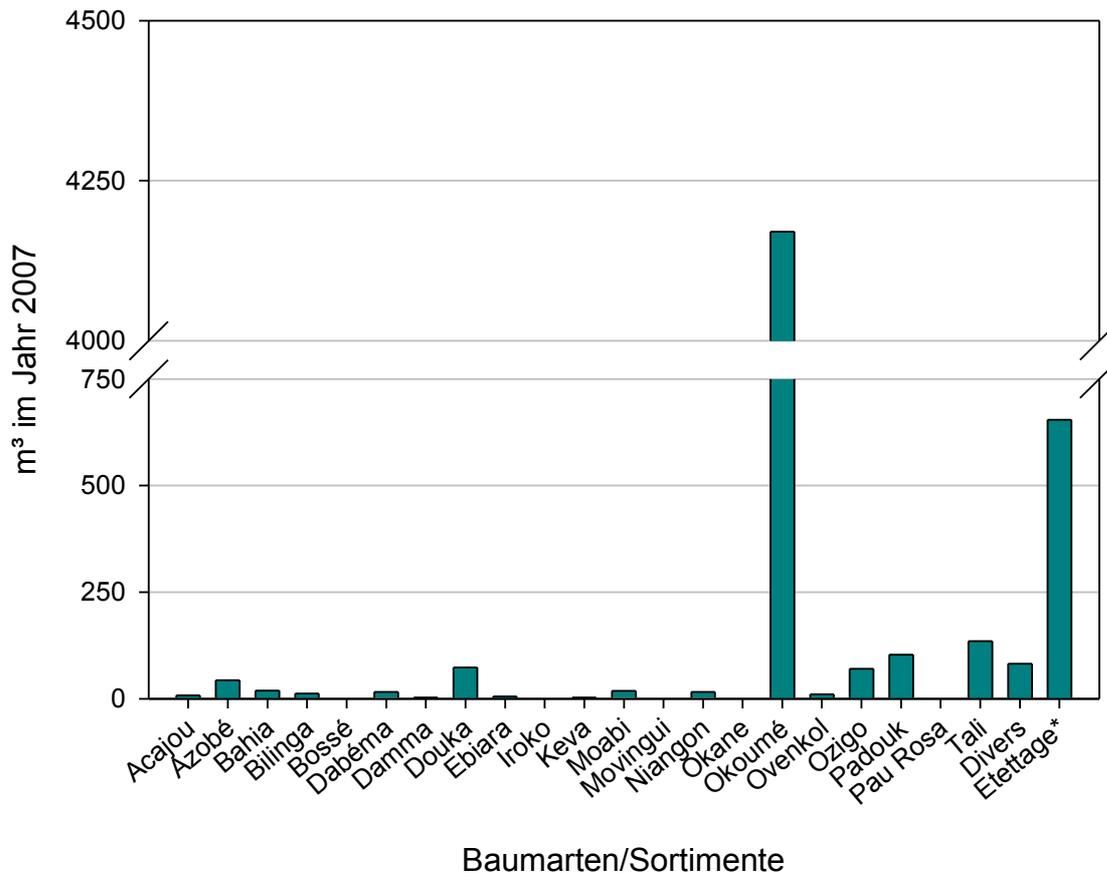
Dezember 18 Tage. Ebenso schwankt die Anzahl der in den Monaten tätig gewesenen Arbeitsteams, auf welchen die Daten beruhen. Ein Team besteht jeweils aus zwei Arbeitern. So waren im August 4 Teams, im September 5, im Oktober 6, im November 5 und im Dezember 6.

In einigen Aufzeichnungen wurden genutzte Baumarten gemäß ihrer Verwendung bzw. ihrer Entstehung zusammengefasst. So ist sind unter *Etettage* vermutlich Hölzer und Sträucher zu verstehen, welche im Zuge des Forststraßenbaus und deren Instandhaltung anfallen.

Anhand der lückenhaft zur Verfügung stehenden Daten zeigt sich wie schwer es ist das Ausmaß an bereits durchgeführten Nutzungen zu rekonstruieren als sich auch einen Überblick über aktuelle Nutzungen zu verschaffen. Die Aufzeichnungen sind händisch und von Arbeiter zu Arbeiter verschieden gestaltet und unterliegen keiner einheitlichen Regelung. Hinzu kommt, dass in den Aufzeichnungen keine Einheiten angeführt wurden und der Flächenbezug fehlt. Richtet man sich nach dem Erfahrungswert, dass pro Hektar höchstens 15-20 m<sup>3</sup> an Okoumé zu nutzen sind (Blasco, 2011), so leitet sich, unter der Annahme von 15 m<sup>3</sup>/ha, eine Fläche von rund 87 Hektar ab.

Es ist deutlich zu erkennen, dass sich die Nutzung in erster Linie auf Okoumé (*Aucoumea klaineana*) konzentriert hat. Im Jahr 2006 wurden in Aboun 1302 m<sup>3</sup> Okoumé eingeschlagen gefolgt von Bahia (*Hallea sp*) mit 136 m<sup>3</sup> und Tali (*Erythropieum ivorense*) mit 95 m<sup>3</sup>. Die Anzahl der Zusammenfassung *Etettage* umfasst 169 m<sup>3</sup>.

### 3.1.1.2 Einschlag 2007



**Abb. 4:** Holznutzung in Aboun im Jahr 2007

Die Daten im Jahr 2007 stammen von den Monaten Jänner, Februar, März, April, Mai, Juni, Juli, August, September und November. Auch in diesem Jahr ist die Anzahl von Tagen von denen die Daten stammen pro Monat verschieden. So sind es im Jänner 11, im Februar 18, im März 28, im April 17, im Mai 26, im Juni 11, im Juli 25, im August 15, im September 10 und im November 1 Tag. Das Ausmaß der tätig gewesenen Teams beträgt im Jänner 5, im Februar 5, im März 6, im April 7, im Mai 6, im Juni 3, im Juli 6, im August 6, im September 4 und im November 1.

Geht man wieder von der Annahme aus, dass 15 m<sup>3</sup>/ha an Okoumé zu nutzen sind, so leitet sich aus dem Ergebnis der Auswertung eine Fläche von 278 Hektar ab.

Es zeigt sich, dass auch 2007 Okoumé mit 4170 m<sup>3</sup> am intensivsten genutzt wurde. Gefolgt wird Okoumé von Tali mit 135 m<sup>3</sup> und Padouk (*Pterocarpus souyauxii*) mit 103 m<sup>3</sup>. Die Zusammenfassung des Biomasseanfalls, bedingt durch den Straßenbau, unter der

Bezeichnung *Ettetage*, beträgt 654 m<sup>3</sup>. Es ist allerdings zu beachten, dass die Ergebnisse von 2007 auf den Aufzeichnungen von insgesamt 10 Monaten beruhen.

### 3.1.2 Arbeitsleistung

Da die sichergestellten tagesbezogenen Aufzeichnungen über die Einschläge jeweils auf zwei bis drei Arbeiter zurückzuführen sind, wurden diese zu Teams zusammengefasst. Nachfolgend werden die Tages-, Monats- und Jahresleistung der einzelnen Teams als auch der Mittelwert der Tages-, Monats- und Jahresleistung über alle Teams für die Jahre 2006 und 2007 dargestellt.

#### 3.1.2.1 Teams 2006

**Tab. 3:** Leistung der Teams 1-5 im Jahr 2006 (mittlere Tages-, Monats- und Jahresleistung in m<sup>3</sup>)

	Team									
	1		2		3		4		5	
	m <sup>3</sup> / Monat	m <sup>3</sup> /Tag	m <sup>3</sup> / Monat	m <sup>3</sup> /Tag	m <sup>3</sup> / Monat	m <sup>3</sup> /Tag	m <sup>3</sup> / Monat	m <sup>3</sup> /Tag	m <sup>3</sup> / Monat	m <sup>3</sup> /Tag
August	102	15	-	-	98	16	-	-	72	18
September	103	15	33	17	62	16	-	-	62	16
Oktober	49	12	45	6	18	6	-	-	146	73
November	53	9	74	9	71	12	-	-	127	16
Dezember	79	11	16	8	104	9	-	-	218	17
	m <sup>3</sup> /Jahr	m <sup>3</sup> /Monat Im Mittel	m <sup>3</sup> /Jahr	m <sup>3</sup> /Monat Im Mittel	m <sup>3</sup> /Jahr	m <sup>3</sup> /Monat Im Mittel	m <sup>3</sup> /Jahr	m <sup>3</sup> /Monat Im Mittel	m <sup>3</sup> /Jahr	m <sup>3</sup> /Monat Im Mittel
Mittlere Tagesleistung 2006 [m <sup>3</sup> ]	386	64	168	34	353	59	-	-	625	104
	12		9		14		-		20	

**Tab. 4:** Leistung der Teams 6-10 im Jahr 2006 (mittlere Tages-, Monats- und Jahresleistung in m<sup>3</sup>)

	Team									
	6		7		8		9		10	
	m <sup>3</sup> / Monat	m <sup>3</sup> /Tag	m <sup>3</sup> / Monat	m <sup>3</sup> /Tag	m <sup>3</sup> / Monat	m <sup>3</sup> /Tag	m <sup>3</sup> / Monat	m <sup>3</sup> /Tag	m <sup>3</sup> / Monat	m <sup>3</sup> /Tag
August	-	-	42	14	-	-	-	-		
September	-	-	-	-	-	-	33	17		
Oktober	-	-	23	12	-	-	66	13		
November	-	-	-	-	-	-	47	16		
Dezember	-	-	77	11	-	-	126	21		
	m <sup>3</sup> /Jahr	m <sup>3</sup> / Monat Im Mittel	m <sup>3</sup> /Jahr	m <sup>3</sup> / Monat Im Mittel	m <sup>3</sup> /Jahr	m <sup>3</sup> / Monat Im Mittel	m <sup>3</sup> /Jahr	m <sup>3</sup> / Monat Im Mittel	m <sup>3</sup> /Jahr	m <sup>3</sup> / Monat Im Mittel
Mittlere Tagesleistung 2006 [m <sup>3</sup> ]	-	-	142	47	-	-	272	54		
	-		12		-		17			

Die Tabellen 3 und 4 zeigen die Leistung als auch die mittlere Tagesleistung jedes einzelnen Teams, bezogen auf jeweils ein Monat. Des weiteren bildet die Tabelle die mittlere Tagesleistung als auch Monatsleistung sowie die Gesamtleistung über die Monate August, September, Oktober, November und Dezember ab. Dass die Teams 4, 6, 8 und 10 keine Leistung erbracht haben liegt daran, dass in den Tabellen 3 und 4 alle Teams angeführt sind , welche in den Jahren 2006 und 2007 in Aboun gearbeitet haben. Die Teams 4, 6, 8 und 10 waren 2006 nicht nachweisbar tätig.

Es zeigt sich, dass die Leistung innerhalb als auch zwischen den Teams stark variiert, was auf eine unterschiedliche Anzahl an aufgezeichneten Arbeitstagen zurück zuführen ist.

Die durchschnittliche Tages-, Monats- und Jahresleistung über alle sechs aufgezeichneten Monate des Jahres 2006 aller Teams, ist der Tabelle 5 zu entnehmen.

**Tab. 5:** Durchschnittliche Leistung eines Teams 2006 beruhend auf den vorhandenen Aufzeichnungen (mittlere Tages-, Monats- und Jahresleistung in m<sup>3</sup> über alle Teams)

	m <sup>3</sup>
pro Jahr	324
pro Monat	67
pro Tag	14

### 3.1.2.2 Teams 2007

**Tab. 6:** Leistung der Teams 1-5 im Jahr 2007 (mittlere Tages-, Monats- und Jahresleistung in m<sup>3</sup>)

	Teams									
	1		2		3		4		5	
	m <sup>3</sup> / Monat	m <sup>3</sup> /Tag	m <sup>3</sup> / Monat	m <sup>3</sup> /Tag	m <sup>3</sup> / Monat	m <sup>3</sup> /Tag	m <sup>3</sup> / Monat	m <sup>3</sup> /Tag	m <sup>3</sup> / Monat	m <sup>3</sup> /Tag
Jänner	29	10	-	-	63	11	-	-	121	15
Februar	68	14	-	-	152	17	-	-	121	17
März	98	11	-	-	69	14	210	12	52	13
April	132	11	23	23	101	11	76	13	150	15
Mai	165	14	-	-	162	12	177	15	302	18
Juni	-	-	-	-	87	5	35	12	168	24
Juli	150	13	-	-	164	16	98	20	557	29
August	153	15	-	-	-	-	13	13	333	24
September	76	19	-	-	-	-	-	-	160	23
November	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
	m <sup>3</sup> /Jahr	m <sup>3</sup> / Monat Im Mittel	m <sup>3</sup> /Jahr	m <sup>3</sup> / Monat Im Mittel	m <sup>3</sup> /Jahr	m <sup>3</sup> / Monat Im Mittel	m <sup>3</sup> /Jahr	m <sup>3</sup> / Monat Im Mittel	m <sup>3</sup> /Jahr	m <sup>3</sup> / Monat Im Mittel
	871	109	23	23	798	114	609	102	1964	218
Mittlere Tagesleistung 2007 [m <sup>3</sup> ]	13		23		11		14		21	

**Tab. 7:** Leistung der Teams 6-10 im Jahr 2007 (mittlere Tages-, Monats- und Jahresleistung in m<sup>3</sup>)

	Team									
	6		7		8		9		10	
	m <sup>3</sup> / Monat	m <sup>3</sup> /Tag								
Jänner	-	-	97	14	-	-	62	16	-	-
Februar	-	-	68	14	-	-	75	13	-	-
März	-	-	61	12	105	12	-	-	-	-
April	36	18	23	12	-	-	-	-	-	-
Mai	-	-	106	12	-	-	-	-	11	6
Juni	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Juli	87	17	162	32	-	-	-	-	-	-
August	68	17	76	7	10	10	-	-	-	-
September	55	11	7	7	-	-	-	-	-	-
November	-	-	-	-	-	-	21	21	-	-
	m <sup>3</sup> /Jahr	m <sup>3</sup> / Monat Im Mittel	m <sup>3</sup> /Jahr	m <sup>3</sup> / Monat Im Mittel	m <sup>3</sup> /Jahr	m <sup>3</sup> / Monat Im Mittel	m <sup>3</sup> /Jahr	m <sup>3</sup> / Monat Im Mittel	m <sup>3</sup> /Jahr	m <sup>3</sup> / Monat Im Mittel
Mittlere Tagesleistung 2007 [m <sup>3</sup> ]	246	246	600	75	115	58	158	53	11	11
	16		13		12		14		6	

Die Tabellen 6 und 7 zeigen ebenfalls die Leistung und die mittlere Leistung jedes einzelnen Teams pro Monat als auch die durchschnittliche Leistung pro Tag, Monat und Jahr über alle angeführten Monate. Auch 2007 kommt es aufgrund der Unregelmäßigkeit der Aufzeichnungen zu starken Schwankungen innerhalb als auch zwischen den Teams. Im Vergleich zu 2006 waren im Jahr 2007, 10 verschiedene Teams tätig. Auch die Anzahl der Monate über welche Aufzeichnungen zur Verfügung stehen, ist gegenüber dem Vorjahr größer. 2007 sind es 10 Monate.

Der Mittelwert der Tages-, Monats- als auch Jahresleistung über alle Teams führt zu folgenden Ergebnis für das Jahr 2007:

**Tab. 8:** Durchschnittliche Leistung eines Teams 2007 beruhend auf den vorhandenen Aufzeichnungen (mittlere Tages-, Monats- und Jahresleistung in m<sup>3</sup> über alle Teams)

	m <sup>3</sup>
pro Jahr	470
pro Monat	106
pro Tag	13

Die mittlere Tagesleistung eines Teams, bestehend aus einem Holzfäller und einem Helfer, ist annähernd gleich der, des Vorjahres. Waren es 2006 14 m<sup>3</sup>, so sind es 2007 hingegen 13 m<sup>3</sup>.

## **3.2 Allgemeine Bestandessituation**

### **3.2.1 Aboun**

In Aboun wurden insgesamt 20 Winkelzählproben durchgeführt. Die Probepunkte wurden zufällig gewählt. Jeweils fünf in vier verschiedenen Bereichen des Untersuchungsgebietes. Da sich diese vier Bereiche räumlich getrennt waren und topographisch voneinander unterschieden, wurden sie unter der Annahme daraus resultierender bedeutsamer Unterschiede, welche das Volumen und den Kohlenstoffgehalt beeinflussen, in vier einzelne Straten unterteilt. Als Stratum kann ein Bereich des Waldes verstanden werden, der sich aufgrund des Volumens, der Stammzahl und des Bestockungsgrades sowie durch sein Entwicklungsstadium und der Baumartenzusammensetzung von anderen abhebt. Stratum 1 zeichnete sich durch ein geschlossenes Kronendach, mit einem einschichtigen homogenem Bewuchs an größten Teils schwachem Stammholz aus. Das Stratum 2 war das höchstgelegenste mit zweischichtiger vertikaler Struktur mit vereinzelt Althölzern. Stratum 3 war durch relativ ungleichmäßiges Gelände mit vielen Kuppen und sumpfigen Mulden charakterisiert. Der Bewuchs dieses Stratums, wies nicht nur einem großen Teil an stark dimensionierten Bäumen, sondern auch einen hohen Anteil an Harthölzern auf. Stratum 4 lag am tiefsten und war durchzogen von Wasserläufen. Zudem verfügte Stratum 4 über den größten Teil an stark dimensionierten Althölzern und Hartholzarten. Die Ergebnisse der Winkelzählproben sind der Tabelle 9 zu entnehmen.

Es zeigt sich deutlich, dass das Stratum 1 den geringsten Vorrat pro Hektar aufweist, das auf den schwächsten mittleren BHD, die kleinste mittlere Höhe als auch auf die geringste

Stammzahl und Kreisfläche zurück zu führen ist. Über den größten Vorrat pro Hektar verfügt Stratum 4. Dies ergibt sich daraus, dass in diesem Stratum die größte mittlere Kreisfläche zu finden ist. Auch die mittlere Stammzahl mit 2211 Bäumen ist über verhältnismäßig hoch und lässt sich damit erklären, dass bei der Durchführung der Winkelzählproben keine Kluppschwelle angewendet wurde. Allerdings zeigt sich anhand des Medians, dass 50% der sich ergebenden Stammzahlen zwischen 213 und 573 liegen und somit nur wenige Probepunkte mit sehr großen repräsentativen Stammzahlen den hohen Mittelwert bewirken. Diese Verzerrung zeigt sich auch in Stratum 2. Möchte man Aufschluss über die Stammzahlen erhalten, so erweist es sich als sinnvoller den Median zu betrachten.

Anhand der Mittelwerte des Volumens zeigt sich, dass die Stratifizierung, trotz vier verschiedener Standorte, von geringer Bedeutung ist. Die Vorräte sind annähernd gleich. Lediglich Stratum 1 lässt deutliche Abweichungen des Volumens als auch dem BHD und der Grundfläche erkennen und rechtfertigt somit die Unterteilung in ein eigenes Stratum. Aufgrund der geringen Differenzen, welche sich aus der Stratifizierung ergeben, wurde eine solche Vorgangsweise für die Auswertung der Daten von Saint Germain- Mitzić unterlassen.

**Tab. 9:** Ergebnisse der Winkelzählproben in Aboun (Mittelwert, Minimum, Median und Maximum des BHD, der Höhe, Stammzahl, Grundfläche und des Volumens der Straten 1-4) und Genauigkeit des mittleren Vorrats der Straten in Aboun (Standardabweichung, Standardfehler und Stichprobenumfang)

		<b>Stratum 1</b>	<b>Stratum 2</b>	<b>Stratum 3</b>	<b>Stratum 4</b>
<i>Stichprobenumfang</i>		5	5	5	5
		<b>BHD [cm]</b>	<b>BHD [cm]</b>	<b>BHD [cm]</b>	<b>BHD [cm]</b>
	<i>Mittel</i>	43,5	63,6	63,8	63,4
	<i>Min</i>	8,0	5,4	5,0	2,0
	<i>Median</i>	37,4	51,4	56,0	55,0
	<i>Max</i>	115,9	142,6	208,0	187,0
		<b>Höhe [m]</b>	<b>Höhe [m]</b>	<b>Höhe [m]</b>	<b>Höhe [m]</b>
	<i>Mittel</i>	22,5	26,4	24,3	22,9
	<i>Min</i>	3,5	4,8	3,2	3,5
	<i>Median</i>	22,4	25,6	24,3	21,5
	<i>Max</i>	38,9	48,2	41,2	52,6
		<b>N/ha</b>	<b>N/ha</b>	<b>N/ha</b>	<b>N/ha</b>
	<i>Mittel</i>	384	627	493	2211
	<i>Min</i>	268	69	286	213
	<i>Median</i>	346	327	349	573
<i>Max</i>	559	1786	796	8140	
	<b>G [m<sup>2</sup>/ha]</b>	<b>G [m<sup>2</sup>/ha]</b>	<b>G [m<sup>2</sup>/ha]</b>	<b>G [m<sup>2</sup>/ha]</b>	
<i>Mittel</i>	17,7	29,9	35,6	40,4	
<i>Min</i>	13,0	12,0	17,0	16,0	
<i>Median</i>	16,0	28,4	37,9	40,2	
<i>Max</i>	27,0	47,3	47,3	60,3	
	<b>Vfm/ha</b>	<b>Vfm/ha</b>	<b>Vfm/ha</b>	<b>Vfm/ha</b>	
<i>Mittel</i>	240	480	530	540	
<i>Min</i>	180	180	190	220	
<i>Median</i>	230	450	520	440	
<i>Max</i>	350	850	780	1000	
	<b>Vfm/ha</b>	<b>Vfm/ha</b>	<b>Vfm/ha</b>	<b>Vfm/ha</b>	
<i>Standardabweichung</i>	± 70	± 240	± 220	± 310	
<i>Standardfehler</i>	± 30	± 110	± 100	± 140	

Welcher Stichprobenumfang in den Straten 1-4 notwendig wäre, um einen Standardfehler im Ausmaß von 15% des Mittelwerts des Volumens zu erlangen, zeigt die nachstehende Tabelle 10.

**Tab. 10:** Stichprobenumfang bei einem Standardfehler von 15% des mittleren Volumens der Straten 1-4 (Standardfehler und Stichprobenumfang)

	<b>Stratum 1</b>	<b>Stratum 2</b>	<b>Stratum 3</b>	<b>Stratum 4</b>
	Vfm/ha	Vfm/ha	Vfm/ha	Vfm/ha
Standardfehler	± 36,4	± 71,6	± 80,3	± 81,6
Stichprobenumfang	4	12	8	15

Für das Stratum 1 zeigt sich, dass für sich für 15% des Mittelwerts ein größerer Standardfehler ergibt als der tatsächliche und somit ein geringerer Stichprobenumfang daraus resultiert. Die übrigen Straten würden für diese Genauigkeit hingegen einen größeren Stichprobenumfang benötigen. Im Fall von Stratum 4 wären das dreimal so viele Winkelzählproben.

### **3.2.1.1 Grenzstammkontrolle**

Eine nachträgliche Grenzstammkontrolle hat ergeben, dass in Aboun von insgesamt 20 durchgeführten Winkelzählproben, 15 Bäume nicht in die Stichproben fallen würden. Das sind 4,64% aller 323 Probebäume. Es ist allerdings zu bemerken, sich einerseits die Arbeit im tropischen Sekundärwald aufgrund des dichten Bewuchses an Lianen und sonstigen Pflanzen kompliziert gestaltet und andererseits für die Durchführung einer Winkelzählprobe Helfer für die Messung des BHDs benötigt werden. In vielen Fällen handelt es sich dabei um ungeschultes Personal. Aufgrund dessen wurden bei der Durchführung der Winkelzählproben alle Grenzbäume in geradzahlige und ungeradzahlige unterteilt. Die geradzahligen wurden in die Probe hineingenommen, die ungeradzahligen ausgeschlossen. Daraus ergibt sich, dass die Anzahl der nicht zählenden Bäume gleich der Bäume ist, die hineinfallen würden. Unter Beachtung dieser Tatsache kann man davon ausgehen, dass sich der Anteil an nicht zählenden Bäumen von rund 4,6% dadurch kompensiert. In Saint Germain- Mitzic wurden keine Distanzen vom Probekreiszentrum zu den Bäumen gemessen, da nach dem selben Verfahren vorgegangen wurde und sich

bereits in Aboun erwiesen hat, dass sich die Anzahl der Bäume die zählen würden mit der Anzahl der Bäume die nicht zählen würden kompensiert.

Ein weiteres Problem ergibt sich dadurch, dass der BHD über dem Ansatz der Brettwurzel gemessen werden muss und sich somit keine einheitlich festgelegte Messhöhe ergibt.

Betrachtet man die Ergebnisse der Grenzstammkontrolle auf der Ebene der einzelnen Straten, so würden im Stratum 3 vier Bäume nicht in die Winkelzählproben fallen. Das sind 4,71% von insgesamt 85 Probebäumen.

Im Stratum 4 beträgt der Anteil 13,41% von insgesamt 82 Probebäumen. Das sind 11 Bäume, welche nicht zählen würden.

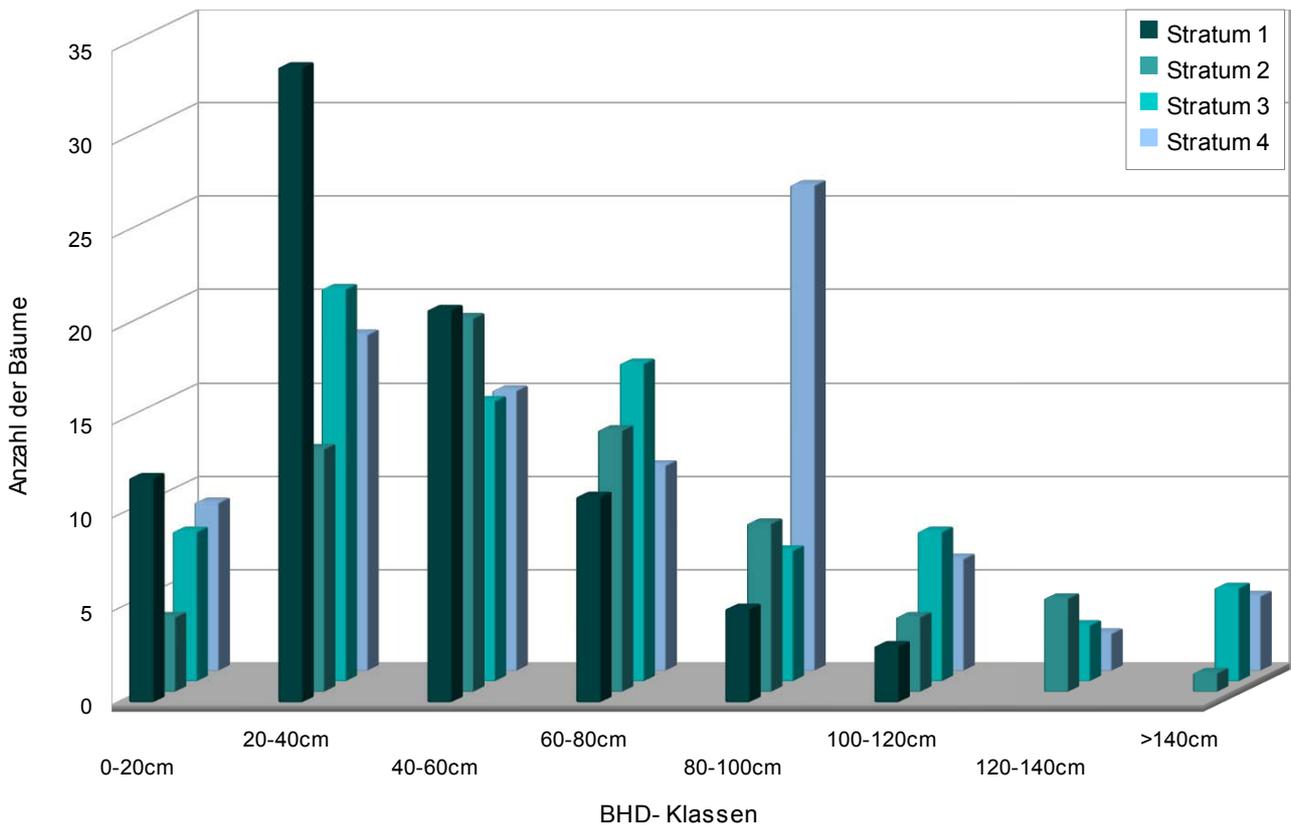
### **3.2.1.2 Deskriptive Datenanalyse**

Um einen detaillierten Eindruck über die allgemeine Bestandessituation zu erhalten, wurde eine deskriptive Datenanalyse durchgeführt.

#### **3.2.1.2.1 BHD- Häufigkeitsverteilung**

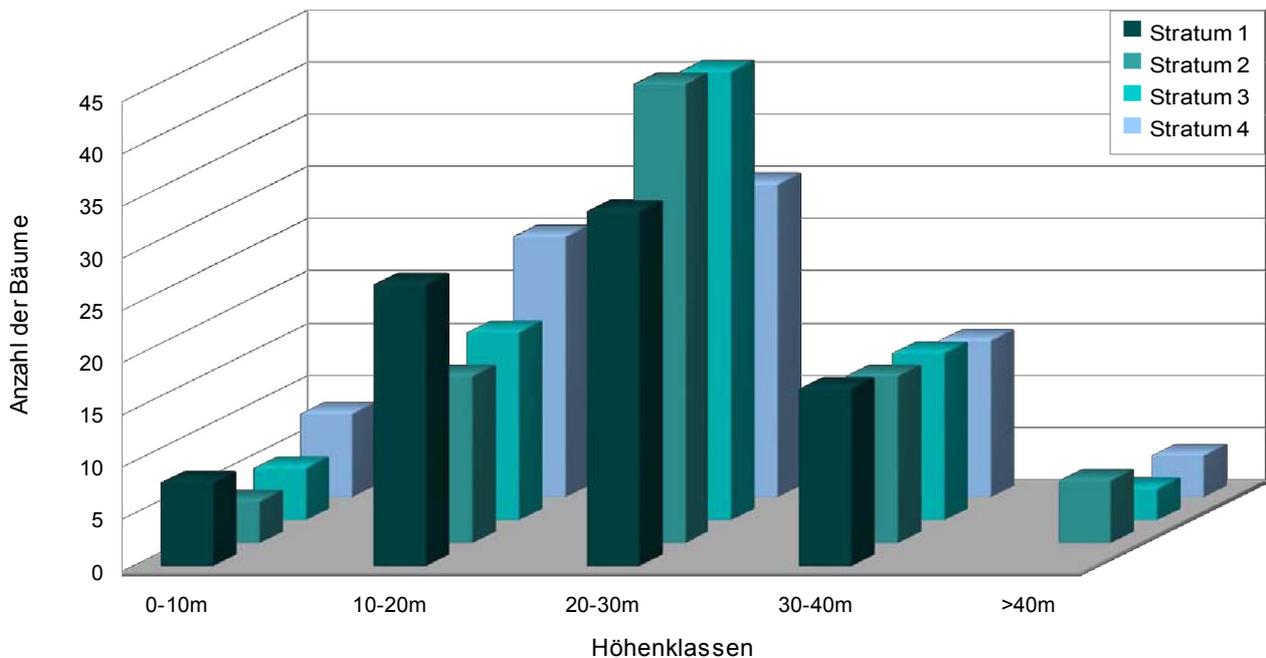
Die nachfolgende Abbildung 5 zeigt die BHD- Verteilung der Straten 1-4 bei einer Durchmesserklassenbreite von 20 cm. In den Straten 1-3 ist die Häufigkeit links- asymmetrisch verteilt. Am deutlichsten ist dies dem Stratum 1 zu entnehmen. Weiters zeigt sich in den Straten 1 und 2 eine eingipfelige Verteilung, während es in den Straten 3 und 4 zu einer zweigipfeligen Verteilung kommt.

Dass die größte Anzahl der Bäume über alle Straten hinweg in den Durchmesserklassen 20-40 cm, 40-60 cm als auch 60-80 cm zu finden sind, weist darauf hin, dass diese Bäume zum Zeitpunkt der Nutzung noch nicht die für die Nutzung erlaubte Dimension erreicht hatten. Am deutlichsten widerspiegelt sich das in Stratum 4, wo der größte Anteil der Bäume in der BHD- Klasse 80-100 cm zu finden ist. Dass das Stratum 1 im Vergleich zu den restlichen Straten in den Durchmesserklassen 120-140 cm und >140 cm keine Bäume aufweist, lässt darauf schließen, dass hier die nutzungswürdigsten Bäume vorzufinden waren.



**Abb. 5:** BHD-Häufigkeitsverteilung der Straten 1-4 (Durchmesserklassenbreite: 20 cm)

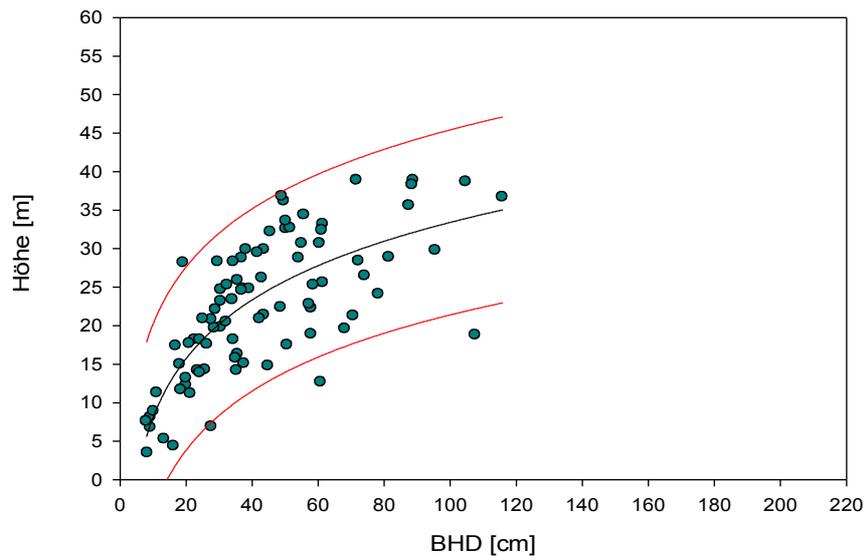
### 3.2.1.2.2 Höhen-Häufigkeitsverteilung



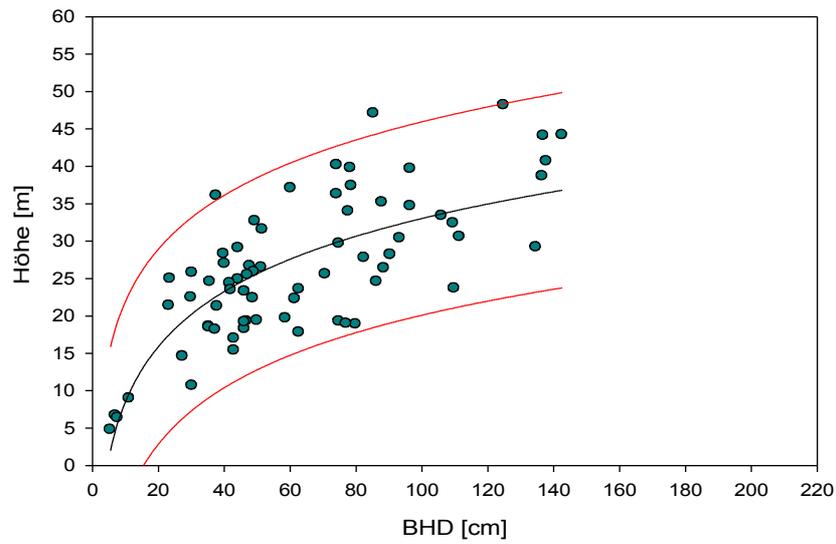
**Abb. 6:** Höhen-Häufigkeitsverteilung der Straten 1-4 (Höhenklassenbreite: 10 m)

Generell betrachtet sind die Höhen annähernd normal verteilt. Es zeigt sich deutlich, dass über alle vier Straten gesehen, die meisten Bäume der Höhenklasse 20-30 m angehören. Dass im Stratum 1 wenig stark dimensionierte Bäume vorhanden sind, zeichnet sich auch in der Baumhöhenverteilung ab. So sind in diesem Stratum keine Bäume mit einer Höhe von größer 40 m zu finden.

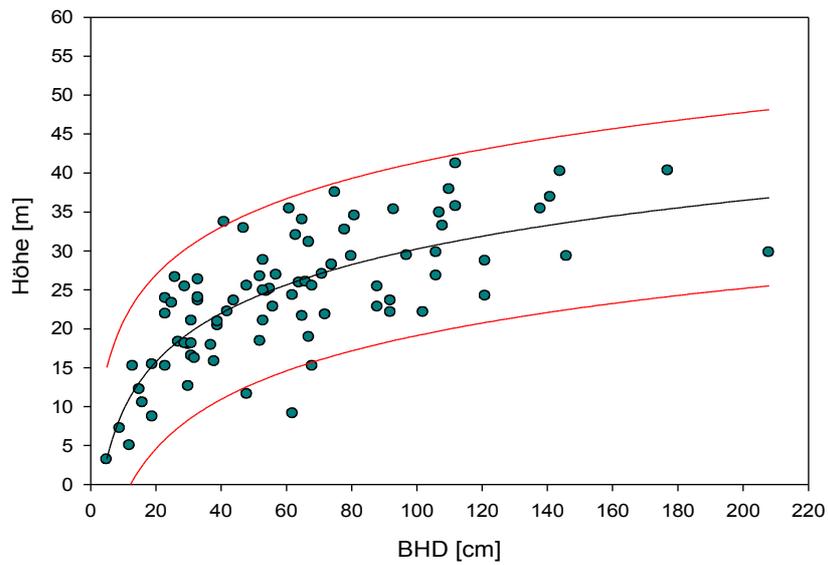
### 3.2.1.2.3 BHD-Höhenverteilung



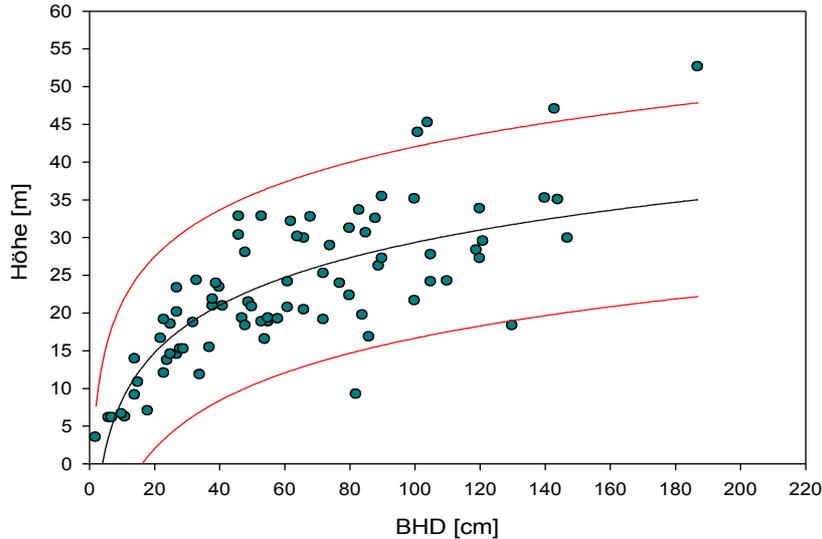
**Abb. 7a:** BHD-Höhenverteilung Stratum 1 in Aboun (logarithmische Regressionsfunktion und Bereich in dem 95% der Werte vorhergesagt werden)



**Abb. 7b:** BHD-Höhenverteilung Stratum 2 in Abou (logarithmische Regressionsfunktion und Bereich in dem 95% der Werte vorhergesagt werden)



**Abb. 7c:** BHD-Höhenverteilung Stratum 3 in Abou (logarithmische Regressionsfunktion und Bereich in dem 95% der Werte vorhergesagt werden)



**Abb. 7d:** BHD-Höhenverteilung Stratum 4 in Aboun (logarithmische Regressionsfunktion und Bereich in dem 95% der Werte vorhergesagt werden)

Die Abbildungen 7a-7d zeigen die Verteilung der Höhen bezogen auf die Brusthöhendurchmesser. Es handelt sich hierbei um eine logarithmische Regression, folgenden Typs:

$$\hat{H} = a * \ln(BHD) + b$$

Die roten Linien stellen den Bereich dar, in dem 95% der Werte vorhergesagt werden.

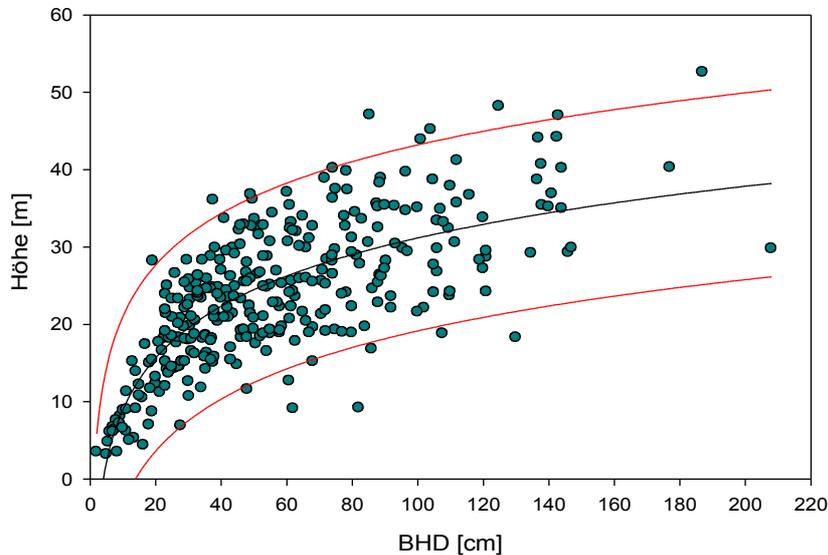
Bei genauerer Betrachtung sind Bäume zu erkennen, deren Höhe im Bezug zum BHD relativ niedrig ist. In den meisten Fällen handelt es hierbei um Wipfelbrüche, die die Regression insofern beeinflussen, dass die Regressionslinie niedriger verläuft.

Die Koeffizienten und deren Wahrscheinlichkeit der jeweiligen Regressionen sind der Tabelle 11 zu entnehmen.

**Tab. 11:** Koeffizienten der logarithmischen Regressionen der BHD-Höhenverteilung der Straten 1-4 (Wahrscheinlichkeit der Koeffizienten und das Bestimmtheitsmaß)

	a	P	b	P	r <sup>2</sup>
Stratum 1	10,9900	<0,0001	-17,1987	<0,0001	0,5666
Stratum 2	10,6432	<0,0001	-15,9939	0,0010	0,5575
Stratum 3	8,9974	<0,0001	-11,1961	0,0017	0,5687
Stratum 4	9,0782	<0,0001	-12,4576	0,0005	0,5808

Die Verteilung der BHDs und Höhen aller Probestämme ohne Stratifizierung der insgesamt 20 durchgeführten Winkelzählproben, zeigt die Abbildung 9. Hierfür wurde der selbe Funktionstyp verwendet.



**Abb. 8:** BHD-Höhenverteilung ohne Stratifizierung in Aboun (logarithmische Regression mit Bereich in dem 95% der Werte vorausgesagt werden)

**Tab. 12:** Koeffizienten der logarithmischen Regression der BHD-Höhenverteilung ohne Stratifizierung in Aboun (Koeffizienten, Wahrscheinlichkeit der Koeffizienten und Bestimmtheitsmaß)

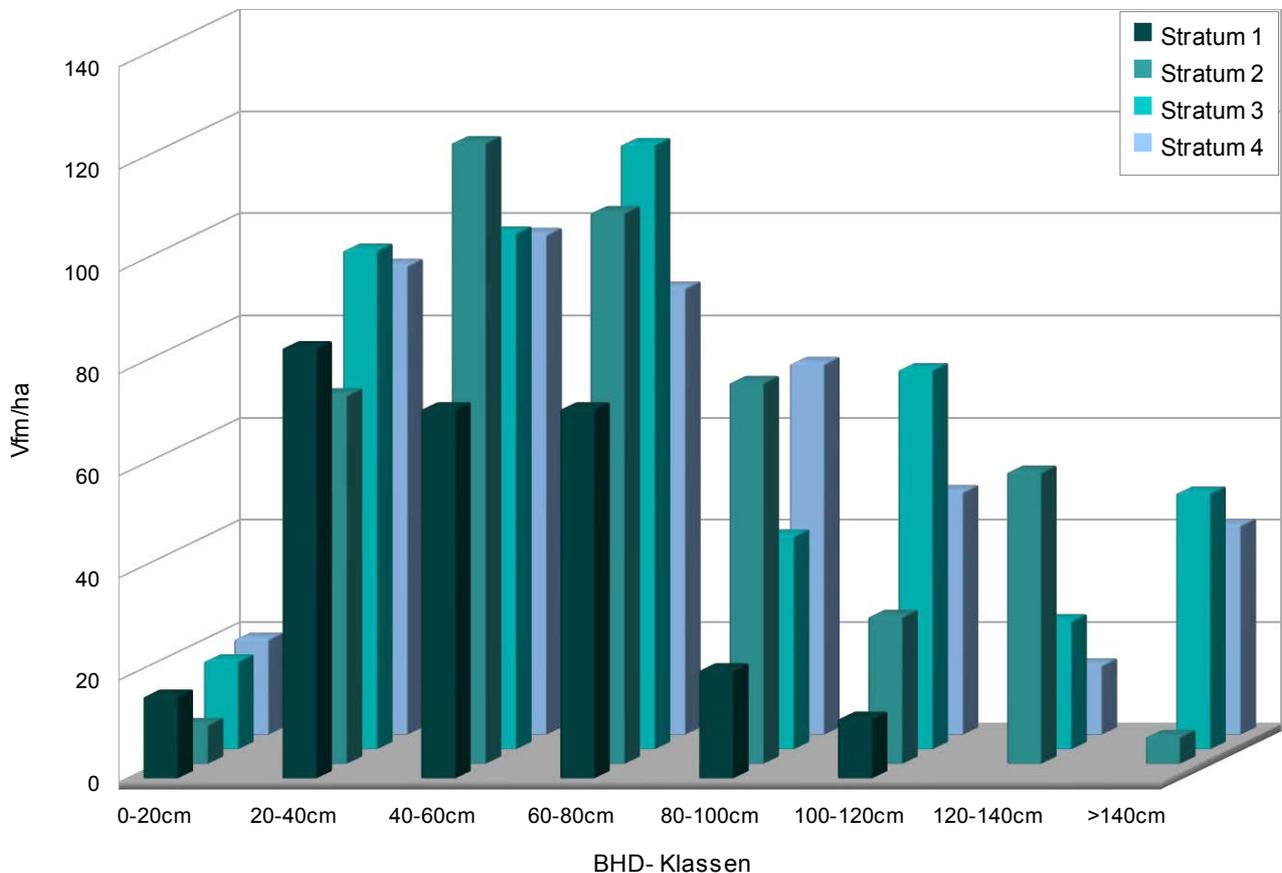
	a	P	b	P	r <sup>2</sup>
Stratum 1-4	9,6391	<0,0001	-13,2123	<0,0001	0,5621

### 3.2.1.2.4 BHD-Volumsverteilung

Um zu sehen wie das repräsentative Volumen über die BHDs verteilt ist, wurden 20 cm breite Durchmesserklassen gebildet und stratenweise die repräsentativen Volumina aller Probestämme mit der repräsentativen Stammzahl der jeweiligen Bäume multipliziert, den entsprechenden BHD- Klassen zugeordnet und durch die Anzahl der Stichproben pro Stratum dividiert. Zur Berechnung der Volumina wurde die Formel

$$V[V_{fm}] = f * g * h$$

verwendet. Als Formzahl wurde der Wert 0,6 angenommen, welcher sich als Mittelwert über tropische Baumarten nach Berechnungen von Cannell (1984) ergibt.



**Abb. 9:** Verteilung des repräsentativen Volumens über Durchmesserklassen im Stratum 1 (Klassenbreite: 20 cm)

Es zeigt sich über alle Straten hinweg, dass der größte Teil des repräsentativen Volumens in den Durchmesserklassen 20-40 cm, 40-60 cm und 60-80 cm zu finden ist. In den Straten 2 und 4 ist das Volumen zweigipfelig verteilt. Im Stratum 3 bildet die Verteilung sogar drei Gipfel.

### 3.2.1.2.5 Baumartenanteile

Betrachtet man die Stichproben bezüglich der Baumartenzusammensetzung und deren Anteile, so lassen sich deutliche Unterschiede der einzelnen Straten erkennen. In den folgenden Tabellen sind die Baumarten bezüglich ihrer Anteile absteigend sortiert.

**Tab. 13:** Baumartenanteile des Stratums 1 (Summe der Probebäume, Baumarten nach deren Handelsnamen und wissenschaftlichen Namen, Baumartenanteile in Prozent der Summe der Probebäume, artspezifische Holzdichte [t/m<sup>3</sup>] bei 0% Feuchtigkeitsgehalt, mittlerer Kohlenstoffgehalt [t/ha] des Stratums 1 und der prozentuelle Anteil der Baumarten am mittleren Kohlenstoffgehalt des Stratums)

<b>Stratum 1</b>				
<i>N</i>	86			
Baumarten	Anteil in %	Holzdicke t/m <sup>3</sup>	C [t/ha] mittel 65,187	Anteil an C %
<i>unbekannt</i>	37,21	0,532		24,26
Assonga- <i>Anthostema aubryanum</i>	10,47	0,320		6,83
Atom- <i>Dacryodes macrophylla</i>	5,81	0,610		3,79
Tali- <i>Erythrophieum ivorense</i>	5,81	0,720		3,79
Okes- <i>Garcinia kola</i>	4,65	0,740		3,03
Andok- <i>Irvingia gabonensis</i>	3,49	0,710		2,28
Ebap- <i>Santiria trimera</i>	3,49	0,530		2,28
Okoumé- <i>Aucoumea klaineana</i>	3,49	0,370		2,28
Sorro- <i>Scyphocephallum ochocoa</i>	3,49	0,480		2,28
Ebiara- <i>Berlinia sp.</i>	2,33	0,580		1,52
Ekoune- <i>Coelocaryon preussii</i>	2,33	0,560		1,52
Ilomba- <i>Pycnanthus angolensis</i>	2,33	0,400		1,52
Niove- <i>Staudtia stipitata</i>	2,33	0,750		1,52
Okala- <i>Xylopia aethiopica</i>	2,33	0,500		1,52
Alep- <i>Desbordesia glaucescens</i>	1,16	0,870		0,76
Bahia- <i>Hallea sp.</i>	1,16	0,501		0,76
Bilinga- <i>Naucleadiderrichii</i>	1,16	0,630		0,76
Bosse- <i>Guarea cedrata</i>	1,16	0,480		0,76
Dabema- <i>Piptadeniastrum africanum</i>	1,16	0,560		0,76
Ekouk- <i>Alstonia sp.</i>	1,16	0,330		0,76
Ewom/Noisetier- <i>Coula edulis</i>	1,16	0,780		0,76
Ntom- <i>Duguetia sp.</i>	1,16	0,580		0,76
Ovengkol- <i>Guibourtia ehie</i>	1,16	0,670		0,76
<b>Summe</b>	<b>100</b>			<b>65,187</b>

Der Anteil an den 86 Probebäumen im Stratum1 unbekannter Baumarten beträgt 37,21%. Die Holzdicke die den unbekanntem Baumarten zugeordnet wurde, ergibt sich als Mittelwert der Holzdichten bei 0% Feuchtigkeitsgehalt aller identifizierter Probebäume von insgesamt 20 durchgeführten Winkelzählproben in Aboun. Der größte Anteil an identifizierten Baumarten hat Assonga (*Anthostema aubryanum*) mit 10,47%. Es handelt sich hierbei um eine Weichholzart mit einer Dichte von 0,320 t/m<sup>3</sup>. Anteilsmäßig gefolgt wird Assonga von einer Reihe an Baumarten deren Holzdicke als intermediär bis hoch einzustufen ist.

Trotz des Anteils von 37,21% unbekannter Baumarten ist verfügt das Stratum 1 über eine relativ hohe Baumartenvielfalt.

**Tab. 14:** Baumartenanteile des Stratums 2 (Summe der Probebäume, Baumarten nach deren Handelsnamen und wissenschaftlichen Namen, Baumartenanteile in Prozent der Summe der Probebäume, artspezifische Holzdichte [t/m<sup>3</sup>] bei 0% Feuchtigkeitsgehalt, mittlerer Kohlenstoffgehalt [t/ha] des Stratums 2 und der prozentuelle Anteil der Baumarten am mittleren Kohlenstoffgehalt des Stratums)

Stratum 2				
N	70			
Baumarten	Anteil in %	Holzdichte t/m <sup>3</sup>	C [t/ha] mittel 114,196	Anteil an C %
<i>Okoumé-Aucoumea klaineana</i>	31,43	0,370		35,89
<i>unbekannt</i>	18,57	0,532		21,21
Dabema- <i>Piptadeniastrum africanum</i>	10	0,560		11,42
Asonga- <i>Anthostema aubryanum</i>	5,71	0,320		6,52
Sorro- <i>Scyphocephallum ochocoa</i>	5,71	0,480		6,52
Atom- <i>Dacryodes macrophylla</i>	4,29	0,610		4,9
Alep- <i>Desbordesia glaucescens</i>	2,86	0,870		3,27
Ebap- <i>Santiria trimera</i>	2,86	0,530		3,27
Igaganga- <i>Dacryodes igaganga</i>	2,86	0,530		3,27
Tali- <i>Erythrophieum ivorense</i>	2,86	0,720		3,27
Aiele- <i>Canarium schweinfurthii</i>	1,43	0,400		1,63
Afo- <i>Poga oleosa</i>	1,43	0,360		1,63
Ayinbe- <i>Anthocleista sp.</i>	1,43	0,500		1,63
Bilinga- <i>Naucleadiderrichii</i>	1,43	0,630		1,63
Ekoune- <i>Coelocaryon preussii</i>	1,43	0,560		1,63
Ewom/Noisetier- <i>Coula edulis</i>	1,43	0,780		1,63
Eves- <i>Klainedoxa sp.</i>	1,43	0,870		1,63
Okala- <i>Xylopi aethiopica</i>	1,43	0,500		1,63
Olong- <i>Zanthoxylum heitzii</i>	1,43	0,620		1,63
<b>Summe</b>	<b>100,02</b>			<b>114,219</b>

Stratum 2 weist im Vergleich zu allen anderen Straten den größten Anteil an Okoumé auf. Mit einer Dichte von 0,370 t/ha zählt Okoumé zu den Weichholzarten. Weiters hat das Stratum 2 mit 18,57% den geringsten Anteil an unbekanntem Baumarten aller vier Straten. Harthölzer sind in diesem Stratum anteilmäßig weniger stark vertreten.

Die Differenz zwischen den aufsummierten Anteilen am Kohlenstoffgehalt und dem Mittelwert des Kohlenstoffs sowie der über 100% liegenden Summe der Baumartenanteile ist auf Rundungsfehler zurückzuführen, welche sich bei der Berechnung mit dem Programm ergeben.

**Tab 15:** Baumartenanteile des Stratums 3 (Summe der Probebäume, Baumarten nach deren Handelsnamen und wissenschaftlichen Namen, Baumartenanteile in Prozent der Summe der Probebäume, artspezifische Holzdichte [t/m<sup>3</sup>] bei 0% Feuchtigkeitsgehalt, mittlerer Kohlenstoffgehalt [t/ha] des Stratums 3 und der prozentuelle Anteil der Baumarten am mittleren Kohlenstoffgehalt des Stratums)

<b>Stratum 3</b>				
<i>N</i>	85			
Baumarten	Anteil in %	Holzdichte t/m <sup>3</sup>	C [t/ha] mittel 148,138	Anteil an C %
<i>unbekannt</i>	65,88	0,532		97,594
Ebap- <i>Santiria trimera</i>	10,59	0,530		15,688
Sorro- <i>Scyphocephallum ochocoa</i>	9,41	0,480		13,940
Alep- <i>Desbordesia glaucescens</i>	3,53	0,870		5,229
Dabema- <i>Piptadeniastrum africanum</i>	3,53	0,560		5,229
Okala- <i>Xylopi aethiopica</i>	3,53	0,500		5,229
Tali- <i>Erythrophieum ivorense</i>	3,53	0,720		5,229
<b>Summe</b>	<b>100</b>			<b>148,138</b>

Dass der Anteil an unbekanntem Baumarten mit 65,88% dermaßen hoch ausfällt, ist darauf zurückzuführen, dass die Winkelzählproben in diesem Stratum mit Hilfe eines anderen Helfers durchgeführt wurden, dessen Kenntnis über Baumarten äußerst mangelhaft waren. Dem entsprechend wenig lässt sich bezüglich der Baumarten über dieses Stratum aussagen.

**Tab. 16:** Baumartenanteile des Stratums 4 (Summe der Probebäume, Baumarten nach deren Handelsnamen und wissenschaftlichen Namen, Baumartenanteile in Prozent der Summe der Probebäume, artspezifische Holzdichte [t/m<sup>3</sup>] bei 0% Feuchtigkeitsgehalt, mittlerer Kohlenstoffgehalt [t/ha] des Stratums 4 und der prozentuelle Anteil der Baumarten am mittleren Kohlenstoffgehalt des Stratums)

Stratum 4				
N	82			
Baumarten	Anteil in %	Holzdichte t/m <sup>3</sup>	C [t/ha] mittel 146,477	Anteil an C %
<i>unbekannt</i>	41,46	0,532		60,73
Asonga- <i>Anthostema aubryanum</i>	7,32	0,320		10,72
Ebap- <i>Santiria trimera</i>	7,32	0,530		10,72
Okoumé- <i>Aucoumea klaineana</i>	6,1	0,370		8,94
Dabema- <i>Piptadeniastrum africanum</i>	4,88	0,560		7,15
Ebiara- <i>Berlinia sp.</i>	4,88	0,580		7,15
Njok/Nyek- <i>Filiaeopsis discophora</i>	3,66	0,532		5,36
Atom- <i>Dacryodes macrophylla</i>	2,44	0,610		3,57
Ewom/Noisetier- <i>Coula edulis</i>	2,44	0,780		3,57
Niove- <i>Staudtia stipitata</i>	2,44	0,750		3,57
Ozigo- <i>Dacryodes buettneri</i>	2,44	0,530		3,57
Padouk- <i>Pterocarpus soyauxii</i>	2,44	0,610		3,57
Tali- <i>Erythrophieum ivorense</i>	2,44	0,720		3,57
Elomba- <i>Maesopsis eminii</i>	1,22	0,410		1,79
Eves- <i>Klainedoxa sp.</i>	1,22	0,870		1,79
Landoung*	1,22	0,532		1,79
Ngorangoran- <i>Oncoba glauca</i>	1,22	0,532		1,79
Okala- <i>Xylopi aethiopica</i>	1,22	0,500		1,79
Oleng- <i>Irvingia grandifolia</i>	1,22	0,780		1,79
Ovengkol- <i>Guibourtia ehie</i>	1,22	0,670		1,79
Ozuan/Ozouga- <i>Sacoglottis gabonensis</i>	1,22	0,740		1,79
<b>Summe</b>	<b>100,02</b>			<b>146,506</b>

Das Stratum 4 verhält sich bezüglich des Artenreichtums ähnlich dem Stratum 1 (Tab. 13). auch hier ist der Anteil an unbekanntem Baumarten mit 41,46% hoch. Bei *Landoung\** handelt es sich um die Bezeichnung eines Baumes, der kein wissenschaftlicher Name zugeordnet werden konnte. Darauf beruhend wurde für diese Baumart die mittlere Holzdichte verwendet. Auffällig ist, dass in diesem Stratum Harthölzer anteilmäßig keine tragende Rolle spielen. Die Abweichungen in den Summen sind auch hier auf Rundungsfehler zurückzuführen.

Die Zuordnung der wissenschaftlichen Namen zu den von den Helfern genannten Bezeichnungen für die Bäume, gestaltet sich teilweise recht kompliziert. Je nach

ethnischer Abstammung des Helfers variieren die Namen der Bäume. Die meisten Nachschlagewerke stützen sich auf die Bezeichnungen der Fang, da dies die am stärksten vertretene Volksgruppe ist. Jedoch sind in Gabun 43 ethnische Gruppen angesiedelt und oftmals ist nicht bekannt, welcher Sprache dieser 43 Volksgruppen die Bezeichnung für den jeweiligen Baum entstammt.

Dass es zu einem dermaßen hohen Anteil an unbekanntem Baumarten kommt, ist einerseits darauf zurückzuführen, dass es über 300 allein forstwirtschaftlich nutzbare Baumarten gibt. Andererseits ist die Krone oftmals aufgrund des Dichtwuchses und der Lianen nur sehr schwer einsehbar. Dadurch lassen sich die Blätter vielfach nur mühevoll erkennen.

### 3.2.1.2.6 Familienanteile

Weiters wurden die einzelnen Baumarten zu ihren Familien zusammengefasst.

**Tab. 17:** Baumfamilienanteile der Straten 1-4 (prozentueller Anteil der Familien an der stratenspezifischen Anzahl der Probebäume)

N	Straten			
	1	2	3	4
N	86	70	85	82
Familie	Anteil in %	Anteil in %	Anteil in %	Anteil in %
<i>Anonaceae</i>	3,49	1,43	3,53	1,22
<i>Apocynaceae</i>	1,16			
<i>Burseraceae</i>	12,79	41,43	10,59	18,29
<i>Caesalpinaceae</i>	9,3	2,86	3,53	8,54
<i>Euphorbiaceae</i>	10,47	5,71		7,32
<i>Flacourtiaceae</i>				1,22
<i>Guttiferaceae</i>	4,65			
<i>Humiriaceae</i>				1,22
<i>Irvingiaceae</i>	4,65	4,29	3,53	1,22
<i>Loganiaceae</i>		1,43		
<i>Meliaceae</i>	1,16			
<i>Mimosaceae</i>	1,16	10	3,53	8,54
<i>Myristicaceae</i>	10,47	7,14	9,41	2,44
<i>Olaceae</i>	1,16	1,43		2,44
<i>Papilionaceae</i>				2,44
<i>Rhamnaceae</i>		2,86		1,22
<i>Rubiaceae</i>	1,16			
<i>Rubiacaceae</i>	1,16	1,43		
<i>Rutaceae</i>		1,43		
<i>Simaroubaceae</i>				1,22
unbekannt	37,21	18,57	65,88	42,68
<b>Summe %</b>	<b>100</b>	<b>100</b>	<b>100</b>	<b>100</b>

Die Tabelle 17 zeigt die Anteile der Familien in Prozent der Anzahl der Probestämme des jeweiligen Stratum. Es zeigt sich, dass einige Baumfamilien lediglich in einem Stratum vorkommen, während andere omnipräsent sind. Die generell am stärksten vertretene Familie ist *Burseraceae*. Der Grund warum der Anteil an Unbekannten im Stratum 4 der Tabelle 17 größer ist als in Tabelle 16 ist darauf zurückzuführen, dass die Baumart *Landoung*, auch wenn es sich hierbei um eine Bezeichnung in einer Bantusprache handelt, als identifiziert gilt. Da aber dieser Bezeichnung kein wissenschaftlicher Name zugeordnet werden kann, lässt sich somit auch die Familie nicht ermitteln und gilt deshalb als unbekannt.

### **3.2.2 Saint Germain- Mitzic**

Auch in Saint Germain- Mitzic wurden 20 Winkelzählproben durchgeführt., welche zufällig gesetzt wurden. Jedoch war das Terrain und die Bestockung ziemlich homogen und aufgrund der Ergebnisse der Stratifizierung in Aboun, wurde keine Unterteilung in verschiedene Straten vorgenommen. Die Auswertung der Stichproben zeigt folgende Ergebnisse:

**Tab. 18:** Ergebnisse der Winkelzählproben in Saint Germain- Mitzic (Mittelwert, Minimum, Median und Maximum des BHD, der Höhe, Stammzahl, Grundfläche und des Volumens von 20 Stichproben) und Genauigkeit des Vorrats in Saint Germain- Mitzic (Standardabweichung, Standardfehler und Stichprobenumfang)

	<b>BHD [cm]</b>	<b>Höhen [m]</b>
<i>Mittel</i>	58,8	24,3
<i>Min</i>	4,0	3,1
<i>Median</i>	50,0	23,9
<i>Max</i>	183,0	46,7
	<b>G [m<sup>2</sup>/ha]</b>	<b>N/ha</b>
<i>Mittel</i>	49	1176
<i>Min</i>	32	152
<i>Median</i>	48	725
<i>Max</i>	64	4438
	<b>Vfm/ha</b>	
<i>Mittel</i>	710	
<i>Min</i>	500	
<i>Median</i>	710	
<i>Max</i>	1000	
	<b>Vfm/ha</b>	
<i>Standardabweichung</i>	± 140	
<i>Standardfehler</i>	± 30	
<i>Stichprobenumfang</i>	20	

Die Auswertung ergibt mit 49 m<sup>2</sup>/ha eine hohe mittlere Grundfläche. Auffällig ist auch der überaus hohe mittlere Vorrat von 710 Vfm/ha der gleich dem Median ist. Als Begründung für die große mittlere repräsentative Stammzahl von 1176 ist die gleiche wie in Aboun zu nennen, nämlich die Durchführung der Winkelzählproben ohne einer Kluppschwelle. Es zeigt sich jedoch anhand des Medians, dass 50% der sich aus den einzelnen Stichproben ergebenden Stammzahlen zwischen 152 und 725 liegen, woraus sich erkennen lässt, dass es sich um einzelne Probepunkte handelt, welche mit besonders hohen repräsentativen Stammzahlen zur Anhebung des arithmetischen Mittels führen.

Bei einem Stichprobenumfang von 20 ergibt sich eine Standardabweichung von  $\pm 140$  Vfm/ha und ein Standardfehler mit  $\pm 30$  Vfm/ha. Es zeigt sich, dass für einen Standardfehler von 15% des Mittelwerts des Volumens lediglich 2 Stichproben notwendig wären.

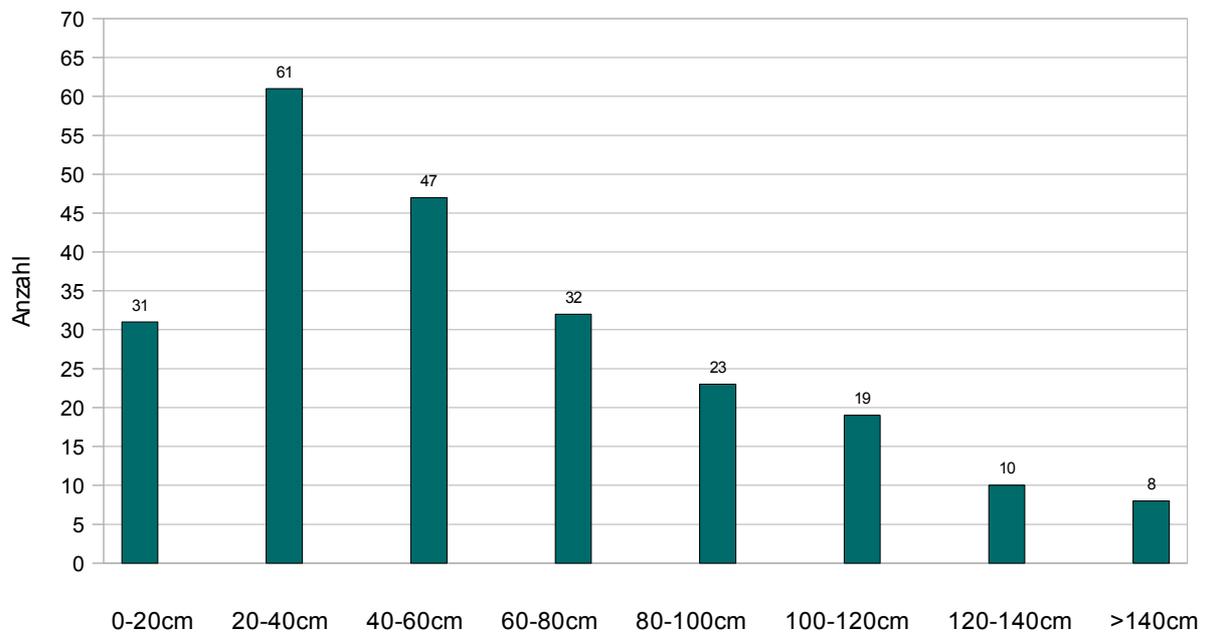
**Tab. 19:** Stichprobenumfang bei einem Standardfehler von 15% des mittleren Volumens in Saint Germain- Mitzic (Standardfehler und Stichprobenumfang)

	Vfm/ha
Standardfehler	$\pm 107,1$
Stichprobenumfang	2

### 3.2.2.1 Deskriptive Datenanalyse

Um einen detaillierten Eindruck zu erhalten, wurde auch für die Daten von Saint Germain eine deskriptive Datenanalyse vorgenommen.

#### 3.2.2.1.1 BHD- Häufigkeitsverteilung

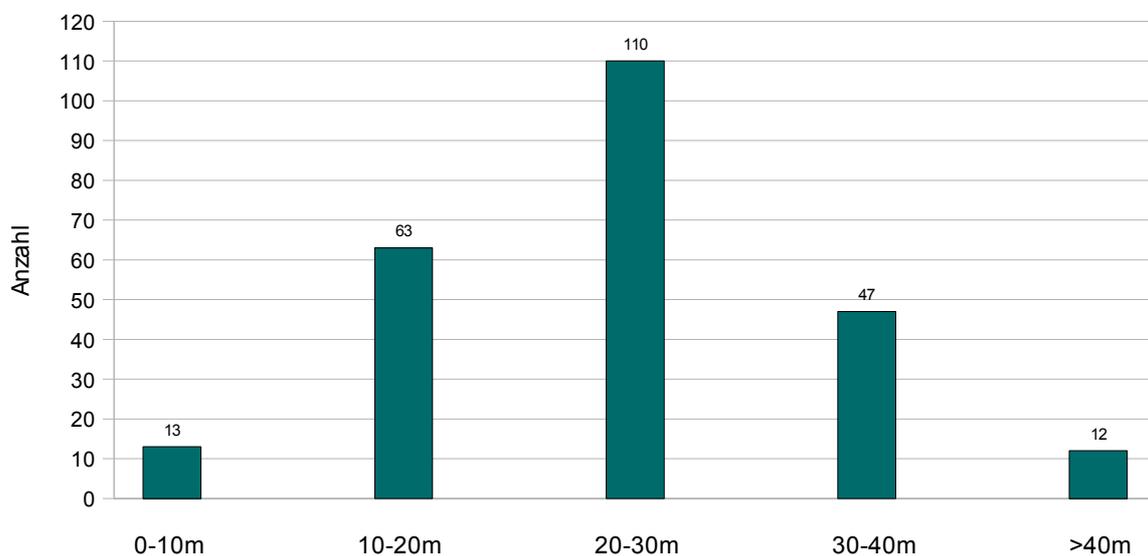


**Abb. 10:** BHD-Häufigkeitsverteilung in Saint Germain- Mitzic (Durchmesserklassenbreite:

20 cm)

Die BHDs aller Probebäume der insgesamt 20 Winkelzählproben wurden in Durchmesserklassen mit einer Klassenbreite von 20 cm unterteilt. Die Sortierung ergibt eine links-asymetrische Verteilung. Es zeigt sich, dass es sich in Saint Germain um ein *Aménagement durable* handelt, da in den schwächeren Durchmesserklassen genügend Bäume vorhanden sind, welche im Laufe der Zeit den zur Nutzung erlaubten Durchmesser erreichen werden. Aufgrund des für die Nutzung vorgesehenen Mindestdurchmesser lässt sich eine plenterwaldartige Verteilung der BHD erkennen.

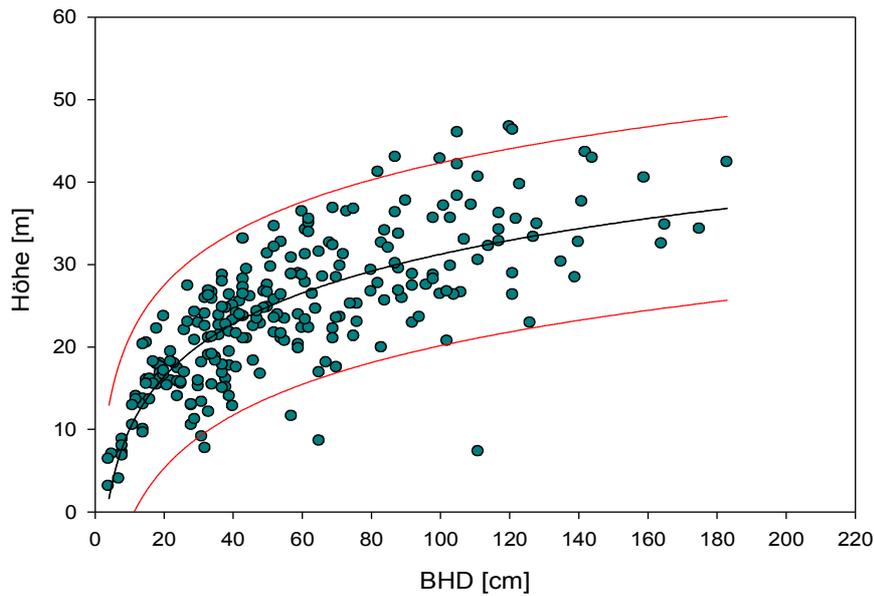
### 3.2.2.1.2 Höhen-Häufigkeitsverteilung



**Abb. 11:** Höhen-Häufigkeitsverteilung in Saint Germain- Mitzić (Höhenklassenbreite: 10 m)

Sortiert man die Probebäume nach deren Höhe mittels 10 m breiter Höhenklassen, so zeigt sich, dass auch in Saint Germain Mitzić die Baumhöhen annähernd normal verteilt sind. Der größte Teil der Probebäume ist der Höhenklasse 20-30 m zu zuteilen. Von insgesamt 245 Probebäumen sind 12 Bäume größer als 40 m.

### 3.2.2.1.3 BHD-Höhenverteilung



**Abb. 12:** BHD-Höhenverteilung in Saint Germain- Mitzic (logarithmische Regression mit Bereich in dem 95% der Werte vorausgesagt werden)

Die BHD- Höhenverteilung wurde ebenfalls wie in Aboun, mittels einer logarithmischen Regressionsfunktion folgenden Typs dargestellt:

$$\hat{H} = a * \ln(BHD) + b$$

Die Koeffizienten der Funktion sind der Tabelle 20 zu entnehmen.

**Tab. 20:** Koeffizienten der logarithmischen Regression der BHD-Höhenverteilung ohne Stratifizierung in Saint Germain- Mitzic (Wahrscheinlichkeit der Koeffizienten und Bestimmtheitsmaß)

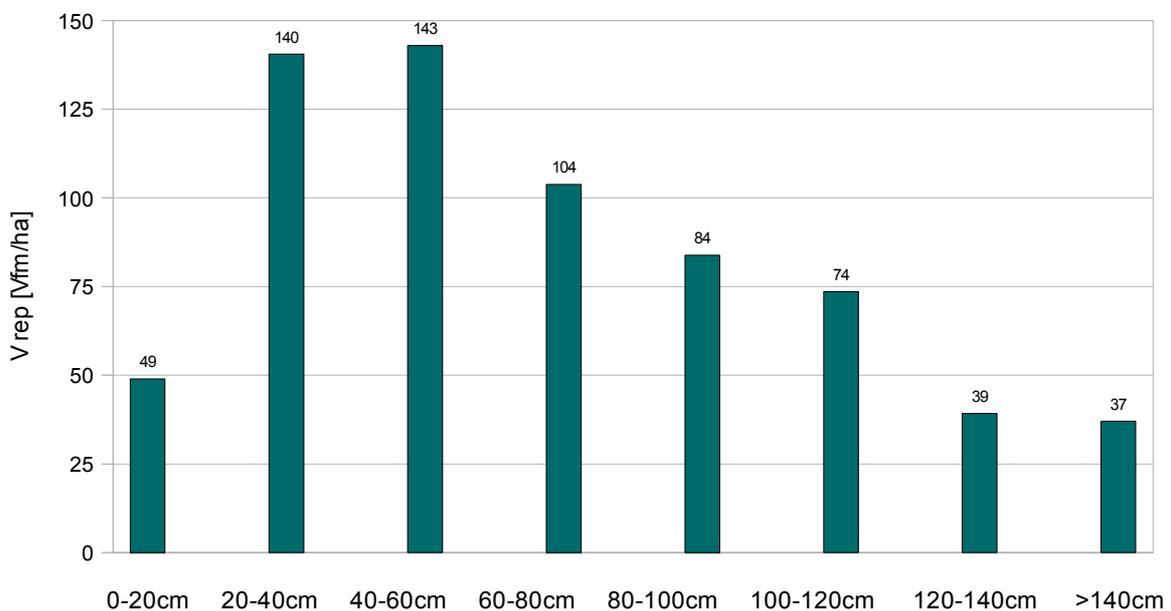
a	P	b	P	r <sup>2</sup>
9,2183	<0,0001	-11,2057	<0,0001	0,5905

In der Abbildung 12 sind die Baumhöhen den BHDs gegenüber gestellt. Die roten Linien markieren den Bereich in dem 95% der Werte voraus gesagt werden. Für die Berechnung der Regression wurde eine logarithmische Funktion mit den Koeffizienten a=9,2183 und b=-11,2057 angewendet. Mit einem Bestimmtheitsmaß von R<sup>2</sup>=0,5905 gilt die Regression

als gesichert. Bei vier Bäumen sind im Bezug zu deren BHD die Höhen, welche zwischen 6 und 12 m liegen, eindeutig zu nieder. Bei diesen Bäumen handelt es sich um Wipfelbrüche, die einen starken Einfluss auf die Regression haben. Somit verläuft die Regressionslinie niedriger als sie es ohne tun würde.

### 3.2.2.1.4 BHD-Volumsverteilung

Die nachstehende Abbildung soll zeigen, wie das repräsentative Volumen aller Probestämme der in Saint Germain insgesamt 20 durchgeführten Winkelzählproben über die BHD verteilt ist. Hierfür wurden 20 cm breite Durchmesserklassen gebildet.



**Abb. 13:** BHD-Volumsverteilung in Saint Germain- Mitzic (Durchmesserklassenbreite: 20 cm)

Vergleicht man die Verteilung mit Aboun so ist sie in Saint Germain eingipfelig. Es ist zwar das meiste Volumen ebenfalls in den Durchmesserklassen 20-40 cm, 40-60 cm und 60-80 cm zu finden, jedoch ist es gleichmäßiger über die Klassen verteilt. Es zeigt sich eindeutig, dass es sich hier um einen Bestand, welcher unter nachhaltiger Nutzung steht, handelt. Während die Vorratsfestmeter für die nächste Nutzung, abhängig von der Baumart, teilweise in der BHD- Klasse 40-60 cm und vor allem in der Klasse 60-80 cm stockt, hält die schwächere Durchmesserklasse 20-40 cm bereits genug Vorrat für den übernächsten Eingriff zur Verfügung.

### 3.2.2.1.5 Baumartenanteile

**Tab. 21:** Baumartenanteile in Saint Germain- Mitzic (Summe der Probebäume, Baumarten nach deren Handelsnamen und wissenschaftlichen Namen, Baumartenanteile in Prozent der Summe der Probebäume, artspezifische Holzdichte [t/m<sup>3</sup>] bei 0% Feuchtigkeitsgehalt, mittlerer Kohlenstoffgehalt [t/ha] in Saint Germain und der prozentuelle Anteil der Baumarten am mittleren Kohlenstoffgehalt)

N Baumarten	246		
	Gesamt %	Holzdichte t/m <sup>3</sup>	C [t/ha] mittel 193,661 Anteil an C %
unbekannt	69,11	0,544	133,839
Sorro- <i>Scyphocephallum ochocoa</i>	11,38	0,480	22,039
Okoumé- <i>Aucoumea klaineana</i>	4,07	0,370	7,882
Dabema- <i>Piptadeniastrum africanum</i>	2,85	0,560	5,519
Ewom/Noisetier- <i>Coula edulis</i>	2,85	0,780	5,519
Ilomba- <i>Pycnanthus angolensis</i>	1,63	0,400	3,157
Padouk- <i>Pterocarpus soyauxii</i>	1,63	0,610	3,157
Olong- <i>Zanthoxylum heitzii</i>	1,22	0,621	2,363
Alep- <i>Desbordesia glaucescens</i>	0,81	0,870	1,569
Niove- <i>Staudtia stipitata</i>	0,81	0,750	1,569
Azobé- <i>Lophira alata</i>	0,41	0,870	0,794
Engona- <i>Pentaclethra eetveleana</i>	0,41	0,630	0,794
Izombe- <i>Testulea gabonensis</i>	0,41	0,600	0,794
Moabi- <i>Baillonella toxisperma</i>	0,41	0,710	0,794
Mfo- <i>Enantia chlorantha</i>	0,41	0,420	0,794
Mukulungo- <i>Austranella congolensis</i>	0,41	0,780	0,794
Muiba*	0,41	0,544	0,794
Okan- <i>Cyclicodiskus gabunensis</i>	0,41	0,800	0,794
Ozigo- <i>Dacryodes buettneri</i>	0,41	0,530	0,794
<b>Summe</b>	<b>100,05</b>		<b>193,758</b>

In der Tabelle 21 sind die Baumarten nach ihren Anteilen absteigend sortiert. Jeder Art ist ihre spezifische Holzdichte bei einem Feuchtigkeitsgehalt von 0% sowie ihr prozentueller Anteil am Mittelwert des Kohlenstoffgehalts über alle 20 Probepunkte. Betrachtet man die Baumartenanteile in Saint Germain, so zeigt sich, dass von insgesamt 246 Probebäumen 69,11% nicht zu identifizieren waren. Dieser sehr hohe Anteil an unbekanntem Arten ist auf die mangelnden Kenntnisse der Helfer zurück zu führen. Ein weiterer Aspekt ist, dass es sich bei den Helfern in Saint Germain um Arbeiter des Betriebes FOREEX gehandelt hat, welche darauf trainiert sind jene Baumarten zu erkennen, welche dem Betriebsziel entsprechen. Auch handelt es sich bei den Arbeitern oftmals um Menschen, die aufgrund ihrer Anstellung im Forstbetrieb, sich im Wald angesiedelt haben und ursprünglich nicht

aus ruralen Gegenden stammen. Dies bezüglich zeigt sich ein großer Unterschied zu Aboun, da es sich in diesem Fall um ein abgelegenes kleines Dorf mitten im Wald handelt. Daraus ergibt sich für die Menschen auch ein wesentlich innigerer Bezug zum Wald und somit auch Kenntnisse über Baumarten die nicht direkt zur forstwirtschaftlichen Nutzung geeignet sind.

Die Dichte für die unbekannt Arten ergibt sich als Mittelwert über die Holzdichten aller identifizierter Probebäume. Es zeigt sich, dass in Saint Germain- Mitzic der Anteil an Baumarten mit einer hohen Dichte gering ist. Bei Muiba\* handelt es sich um eine Bezeichnung für einen Baum der kein wissenschaftlicher Name zugeordnet werden konnte. Als Dichte wurde für Muiba der Mittelwert verwendet.

Die Abweichung der Anteilsumme von 100 sowie die Differenz zwischen dem Mittelwert des Kohlenstoffgehalts und der Summe der Anteile am Kohlenstoffgehalt sind auf Rundungsfehler zurück zuführen.

#### **3.2.2.1.6 Familienanteile**

Betrachtet man die Probebäume bezüglich ihrer Familien, so zeigt sich, dass die Familie der *Myristicaceae* mit 13,82% mit Abstand den größten Anteil ausmacht. Die zweit- und dritthäufigsten Familien sind *Burseraceae* mit 4,47% und *Mimosaceae* mit 3,66%. Der Grund weshalb der Anteil an Unbekannt bei den Familien größer ist als bei den Arten, geht auf Muiba zurück. Da dieser Art kein wissenschaftlicher Name zugeordnet werden konnte, war es auch nicht möglich die Familie zu bestimmen.

**Tab. 22:** Baumfamilienanteile in Saint Germain- Mitzic (prozentueller Anteil der Familien der Probebäume)

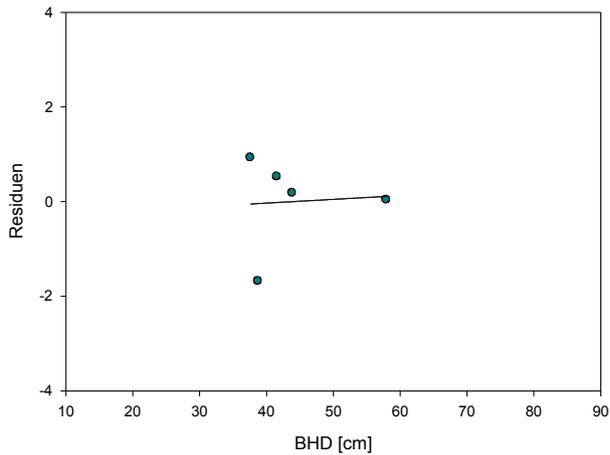
<i>N</i>	246
Familie	Anteil in %
<i>Anonaceae</i>	0,41
<i>Burseraceae</i>	4,47
<i>Irvingiaceaea</i>	0,81
<i>Mimosaceae</i>	3,66
<i>Myristicaceae</i>	13,82
<i>Ochnaceae</i>	0,81
<i>Olaceae</i>	2,85
<i>Papilionaceae</i>	1,63
<i>Rutaceaea</i>	1,22
<i>Sapotaceae</i>	0,81
<i>unbekannt</i>	69,51
<b>Summe</b>	<b>100</b>

### **3.3 Einflüsse auf das ermittelte Volumen**

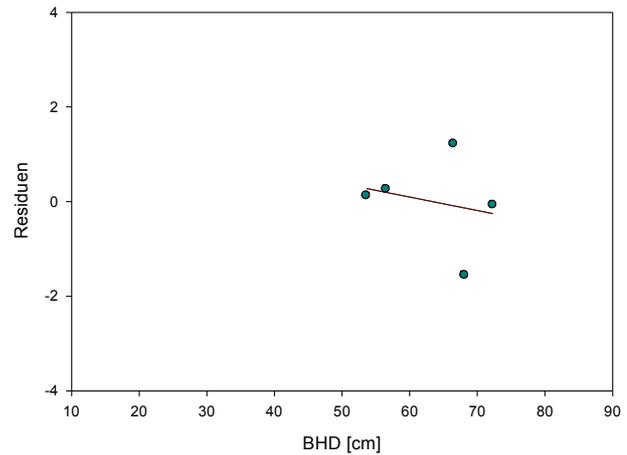
Zur Klärung der Frage, ob es einen Einfluss auf das mittels Winkelzählprobe ermittelte Volumen der beiden Untersuchungsgebiete, seitens des BHDs, der Baumhöhe und der Seehöhe gibt, wurde eine Residuenanalyse angewendet. Hierfür wurden standardisierte Residuen gebildet, mit welchen es zudem möglich ist, die einzelnen Punkte des jeweiligen Stratum untereinander vergleichbar zu machen.

#### **3.3.1 Aboun mit Stratifizierung**

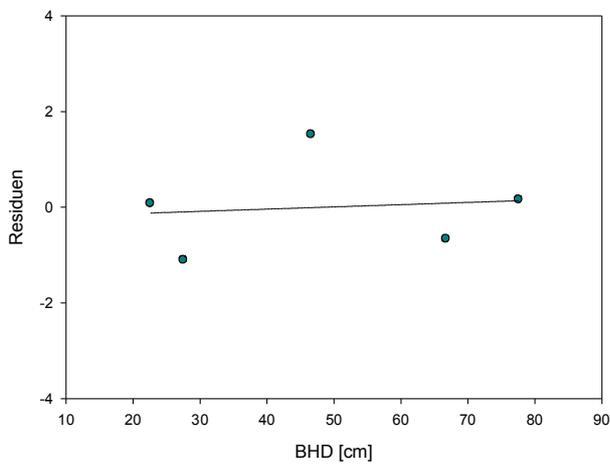
Die Abbildungen 14- 19 zeigen die Gegenüberstellung der standardisierten Residuen der Volumina der jeweiligen Winkelzählproben mit dem mittleren BHD, der mittleren Höhe und der Seehöhe des jeweiligen Stichprobepunktes.



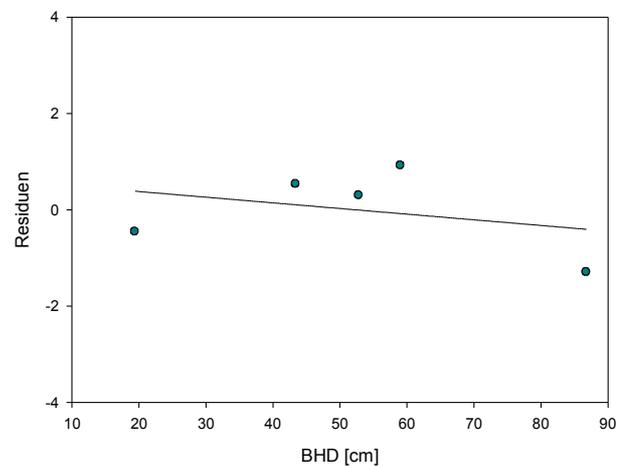
a) Stratum 1



b) Stratum 2



c) Stratum 3



d) Stratum 4

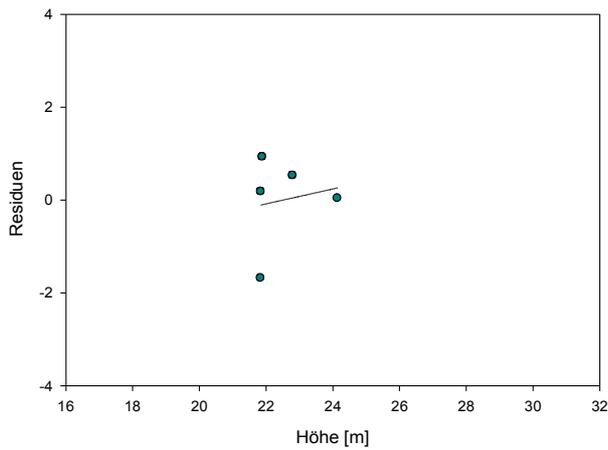
**Abb. 14a-d:** Residuen des Volumens gegenübergestellt dem mittleren BHD der Stichprobenpunkte in den Straten 1-4 (lineare Regression)

**Tab. 23:** Koeffizienten der linearen Regressionen der Residuen des Volumens und den mittleren BHDs der Straten 1-4 (Koeffizienten, Wahrscheinlichkeit der Koeffizienten und Bestimmtheitsmaß)

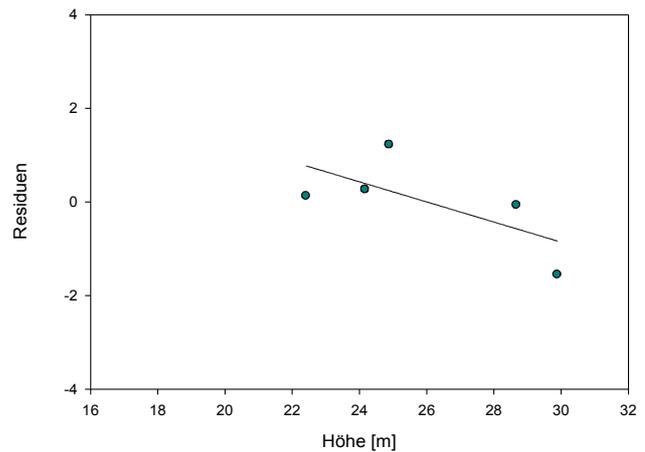
	a	P	b	P	r <sup>2</sup>
Stratum 1	0,0079	0,9181	-0,3455	0,9192	0,0041
Stratum 2	-0,0284	0,7141	1,8006	0,7158	0,0513
Stratum 3	0,0047	0,8583	-0,2245	0,8704	0,0124
Stratum 4	-0,0118	0,5923	0,6146	0,6200	0,1063

Bezüglich des BHDs sind die Residuen in den Straten 1-4 (Abb. 14a-d) gleichmäßig

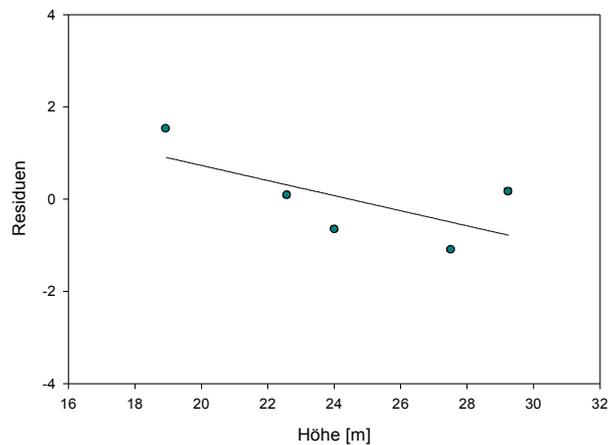
gestreut und lassen keine Trends erkennen.



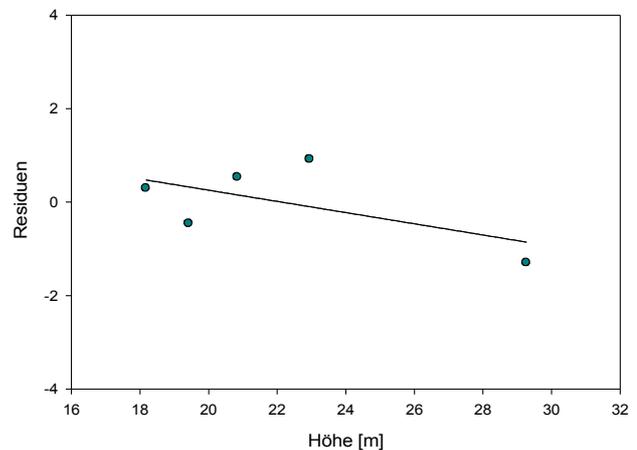
a) Stratum 1



b) Stratum 2



c) Stratum 3



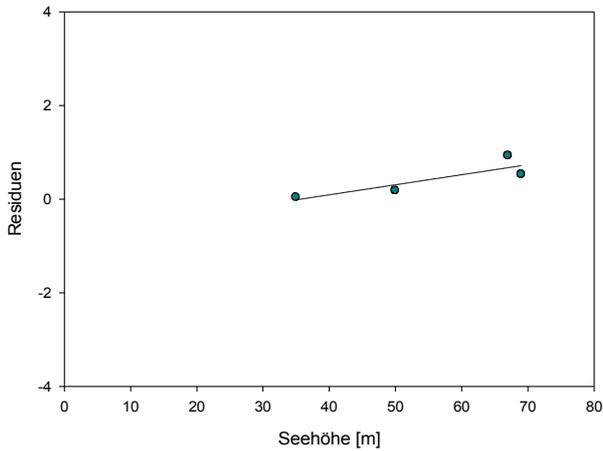
d) Stratum 4

**Abb. 15a-d:** Residuen des Volumens gegenübergestellt der mittleren Höhe der Stichprobenpunkte der Straten 1-4 (lineare Regression)

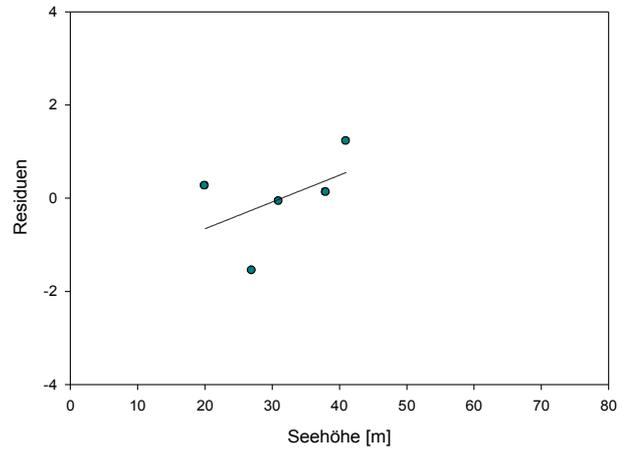
**Tab. 24:** Koeffizienten der linearen Regressionen der Residuen des Volumens und den mittleren Höhen der Straten 1-4 (Koeffizienten, Wahrscheinlichkeit der Koeffizienten und Bestimmtheitsmaß)

	a	P	b	P	r <sup>2</sup>
Stratum 1	0,1603	0,7962	-3,6082	0,7963	0,0259
Stratum 2	-0,2148	0,2100	5,5874	0,2120	0,4574
Stratum 3	-0,1636	0,2187	4,0025	0,2226	0,4450
Stratum 4	-0,1199	0,2915	2,6531	0,2976	0,3521

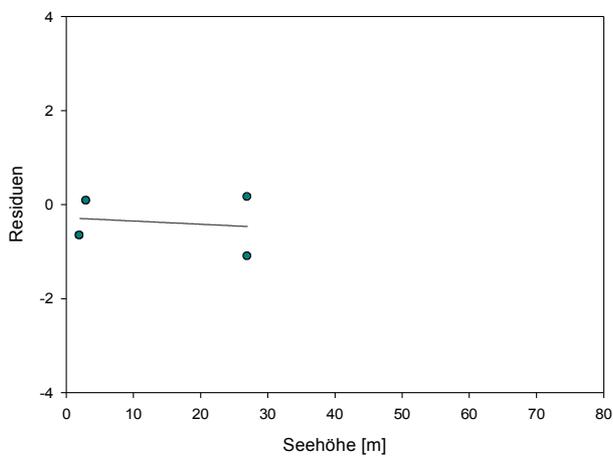
Auch im Fall der Höhe zeichnen sich in Stratum 2 und 3 (Abb. 15b und 15c) leichte Trends ab, sodass bei niedrigen Höhen der Mittelwert des Volumen überschätzt und bei zunehmenden unterschätzt wird. Jedoch bräuchte man auch hier mehr Stichprobenpunkte um eine präzise Aussage tätigen zu können.



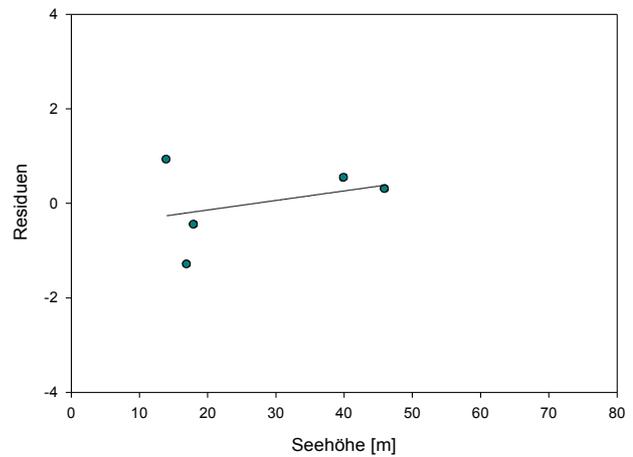
a) Stratum 1



b) Stratum 2



c) Stratum 3



d) Stratum 4

**Abb. 16a-d:** Residuen des Volumens gegenübergestellt der Seehöhe der Stichprobenpunkte der Straten 1-4

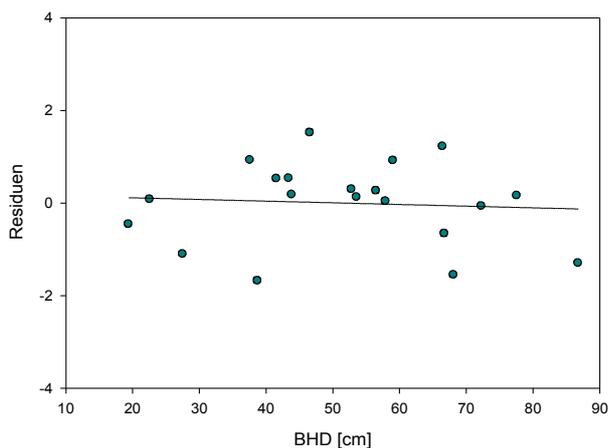
**Tab. 25:** Koeffizienten der linearen Regressionen der Residuen des Volumens und den Seehöhen der Probepunkte der Straten 1-4 (Koeffizienten, Wahrscheinlichkeit der Koeffizienten und Bestimmtheitsmaß)

	a	P	b	P	r <sup>2</sup>
Stratum 1	0,0215	0,1362	-0,7671	0,2679	0,7461
Stratum 2	0,0575	0,4066	-1,8069	0,4182	0,2361
Stratum 3	-0,0068	0,8406	-0,2796	0,6745	0,0254
Stratum 4	0,0202	0,5765	-0,5446	0,6142	0,1151

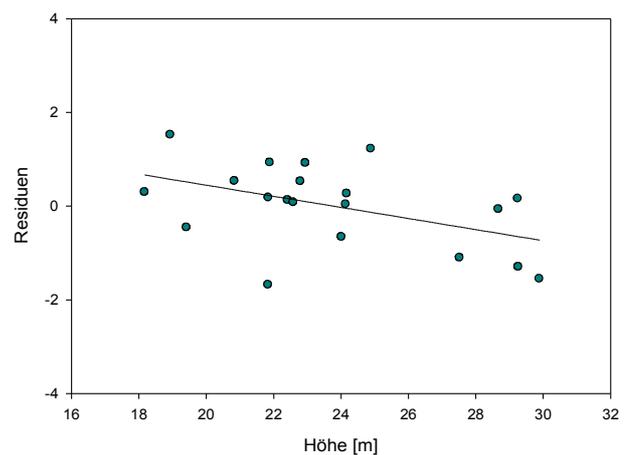
Das GPS konnte nicht an allen Standorten Satelliten orten. So stehen im Stratum 1 und 3 (Abb. 16a und 16c) von jeweils insgesamt fünf Stichprobenpunkten nur für vier die dazugehörige Seehöhe zur Verfügung. Trotz dieser Umstände lässt sich jedoch in Stratum 1 ein leichter Trend hin zur Überschätzung des Mittelwertes des Volumens bei steigender Seehöhe erkennen. Allerdings gilt auch hier, dass für eine präzisere Aussage mehr Probepunkte heran zu ziehen sind. In den restlichen Straten lässt die Streuung der Residuen keine Schlüsse über Trends zu.

### 3.3.1.1 Aboun ohne Stratifizierung

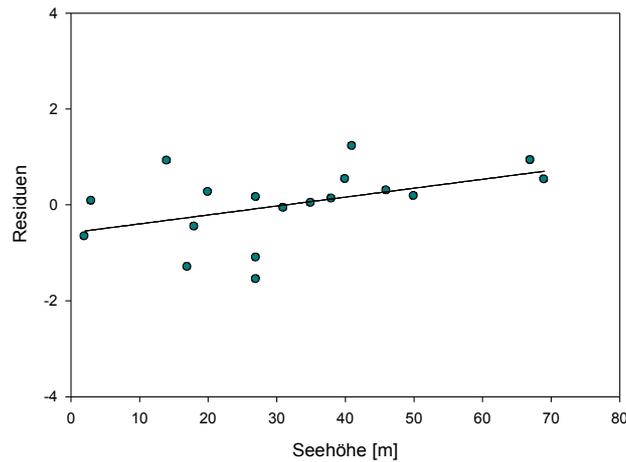
Für die Abbildung 17a-c wurde die Stratifizierung aufgehoben Dies führt zu folgendem Ergebnis führt dies zu folgendem Ergebnis:



a)



b)



c)

**Abb. 17a-c:** Residuen der Straten 1-4 gegenübergestellt dem mittleren BHDs, der mittleren Höhen und der Seehöhe der Stichprobenpunkte aller Straten

**Tab. 26:** Koeffizienten der linearen Regressionen der Residuen des Volumens und dem mittleren BHD, der mittleren Höhe und den Seehöhen der Stichprobenpunkte ohne Stratifizierung in Aboun (Koeffizienten, Wahrscheinlichkeit der Koeffizienten und Bestimmtheitsmaß)

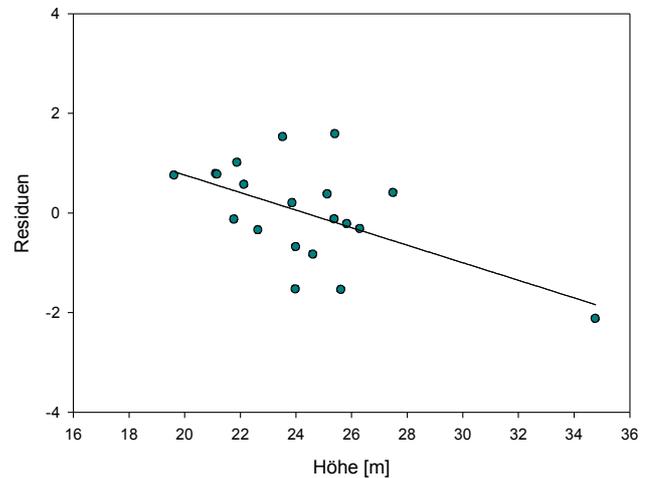
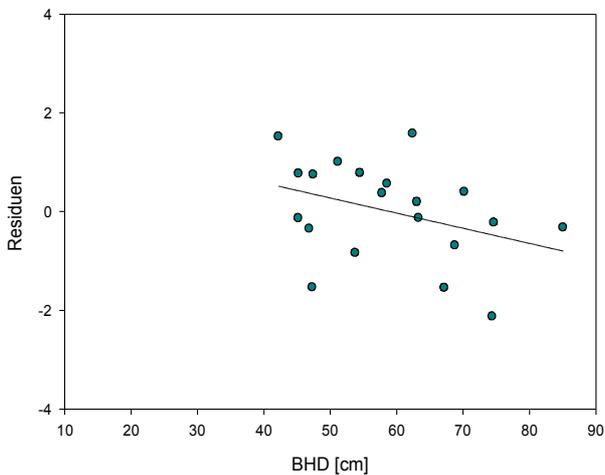
Aboun					
	a	P	b	P	r <sup>2</sup>
BHD	-0,0036	0,7583	0,1875	0,7708	0,0054
Höhe	-0,1185	0,3776	2,8179	0,0394	0,2187
Seehöhe	0,0186	0,0567	-0,5826	0,0985	0,2087

Auch unter der Betrachtung der Residuen ohne Stratifizierung, kann kein Trend festgestellt werden, dass der BHD und die Seehöhe einen Einfluss auf die Ermittlung des Volumens ausüben. Bezüglich der Baumhöhe zeigt sich jedoch unter Aufhebung der Stratifizierung ein leichter Trend, dass bei geringen Baumhöhen der Mittelwert des Volumens überschätzt und mit zunehmender Baumhöhe unterschätzt wird. Allerdings weist die Regression ein geringes Bestimmtheitsmaß auf.

Generell lässt sich sagen, dass die teilweise hohen Bestimmtheitsmaße in den einzelnen Straten mit Skepsis zu betrachten sind, da sie jeweils auf nur fünf Stichproben beruhen. Dies bestätigt sich sobald man die Stratifizierung aufhebt und die Residuen ganzheitlich betrachtet.

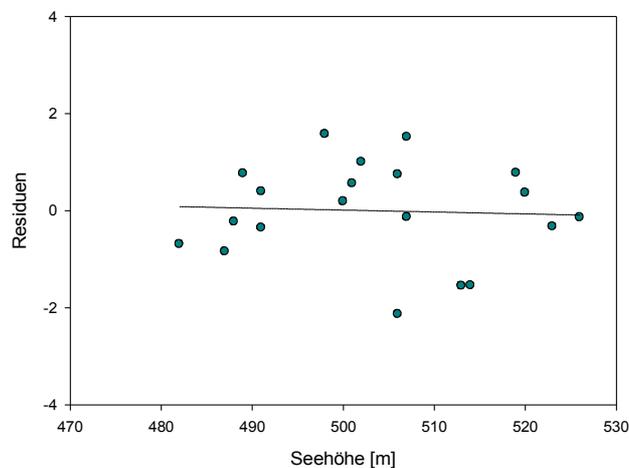
### 3.3.2 Saint Germain

Auch für die Daten von Saint Germain wurde untersucht, wie sich die Residuen der Volumina der einzelnen Winkelzählproben gegenüber dem mittleren BHD, der mittleren Baumhöhe sowie der Seehöhe des jeweiligen Stichprobenpunktes verhalten.



a) Residuen und mittlerer BHDs

b) Residuen und mittlere Höhen



c) Residuen und Seehöhen

**Abb. 18a-c:** Residuen des Volumens gegenübergestellt dem mittleren BHD, der mittleren Höhe, repräsentativen Stammzahlen, repräsentativen Grundfläche und den Seehöhen der Stichprobenpunkte in Saint Germain- Mitzic (lineare Regression)

**Tab. 27:** Koeffizienten der logarithmischen Regressionen der Gegenüberstellung der Residuen mit dem mittleren BHD, der mittleren Höhe und den Seehöhen der Stichprobenpunkte in Saint Germain- Mitzic (Koeffizienten, Wahrscheinlichkeit der Koeffizienten und Bestimmtheitsmaß)

	a	P	b	P	r <sup>2</sup>
BHD	-0,0307	0,1138	1,8088	0,1203	0,1331
Höhe	-0,1762	0,0099	4,2860	0,0104	0,3161
Seehöhe	-0,0039	0,8319	1,9718	0,8319	0,0026

Bezüglich des BHD und der Seehöhe lässt die Streuung der Residuen keine Aussage über mögliche Trends zu. Die Signifikanz des Anstiegs der Regression der Höhe, erweist sich als nicht vertrauenswürdig, da die Residue der Höhe von rund 35 m einen starken Einfluss ausübt.

### **3.4 Kohlenstoffgehalt und CO<sub>2</sub>-Äquivalent**

Dem Kapitel 3.4 zeigt den in der oberirdischen Biomasse gebunden Kohlenstoffgehalt, welcher aus den unterschiedlichen Bewirtschaftungsmethoden der beiden Untersuchungsgebiete resultiert.

#### **3.4.1 Aboun**

Nach Brown (1997) ergibt sich der Kohlenstoffgehalt eines Baumes aus seinem Volumen und 50% seiner Trockenmasse bei einem Feuchtigkeitsgehalt von 0%. Die in Tabelle 28 angeführten Kohlenstoffgehalte pro Hektar stellen die Mittelwerte der Kohlenstoffgehalte aller in die Stichproben gefallenen Bäume der jeweiligen Straten dar. Welcher Menge an CO<sub>2</sub> der jeweilige Mittelwert entspricht, zeigt das CO<sub>2</sub>-Äquivalent. Stratum 3 und 4 haben den gleichen Kohlenstoffgehalt, obwohl das Stratum 4 sowohl eine höhere Stammzahl als auch eine größere Kreisfläche aufweist. Dies lässt sich dadurch erklären, dass im Stratum 3 eine größere mittlere Höhe zu finden ist.

Die angeführten Kohlenstoffgehalte beziehen sich auf den ganzen Baum, das heißt den Stamm einschließlich der Krone.

**Tab. 28:** Kohlenstoffgehalt der Biomasse in Aboun (Tonnen Kohlenstoff pro Hektar der Straten 1-4, Mittelwert, Minimum, Median und Maximum) und CO<sub>2</sub>-Äquivalent des Mittelwerts

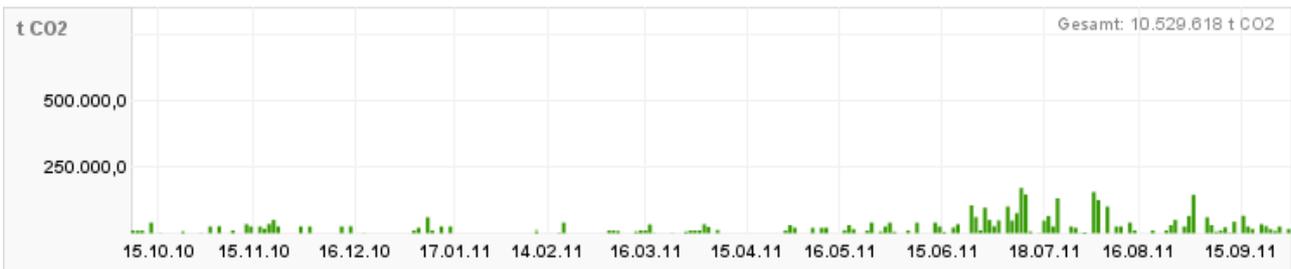
	<b>Stratum 1</b>	<b>Stratum 2</b>	<b>Stratum 3</b>	<b>Stratum 4</b>
	<b>Kohlenstoff [t/ha]</b>	<b>Kohlenstoff [t/ha]</b>	<b>Kohlenstoff [t/ha]</b>	<b>Kohlenstoff [t/ha]</b>
<i>Mittel</i>	65	114	148	146
<i>Min</i>	55	49	50	55
<i>Median</i>	62	115	144	116
<i>Max</i>	83	185	216	298
	<b>CO<sub>2</sub>- Äquivalent [t/ha]</b>	<b>CO<sub>2</sub>- Äquivalent [t/ha]</b>	<b>CO<sub>2</sub>- Äquivalent [t/ha]</b>	<b>CO<sub>2</sub>- Äquivalent [t/ha]</b>
	239	419	543	537

Um das CO<sub>2</sub>-Äquivalent monetär aus zu drücken bietet sich die Möglichkeit des Clean Development Mechanism- CDM. Der Wert mit dem eine Tonne CO<sub>2</sub> gehandelt wird schwankt. Die Abbildung 19 zeigt nach Angaben der European Energy Exchange- EEX AG (2011) den Verlauf des Preises einer Tonne CO<sub>2</sub> im Zeitraum von Oktober 2010 bis Oktober 2011. Das Volumen in der Abbildung gibt an, welche Menge an CO<sub>2</sub> bei den Auktionen verkauft wurden.

**Preis**



**Volumen**



**Abb. 19:** Verlauf des Handelspreises einer Tonne CO<sub>2</sub> und an den Auktionen abgesetztes Volumen im Zeitraum Oktober 2010 bis Oktober 2011 (European Energy Exchange- EEX AG, 2011)

Beruhend auf dem Verlauf des CO<sub>2</sub>-Preises welcher von fast 10 EUR bis hin zu 17 EUR reicht, wurde ein beispielhafter Wert von 13 EUR/t CO<sub>2</sub> angenommen, um zu zeigen welche Erträge sich pro Hektar bei einer Auktion mit diesem fiktiven Wert erzielen lassen könnten.

**Tab. 29:** Monetäre Bewertung des CO<sub>2</sub>-Äquivalent in Aboun (Bewertung der Tonnen CO<sub>2</sub> pro Hektar der Straten 1-4 mit einem angenommenen Wert von 13 EUR/t CO<sub>2</sub>)

<b>Stratum 1</b>	<b>Stratum 2</b>	<b>Stratum 3</b>	<b>Stratum 4</b>
<b>CO<sub>2</sub> Äquivalent [t/ha]</b>	<b>CO<sub>2</sub> Äquivalent [t/ha]</b>	<b>CO<sub>2</sub> Äquivalent [t/ha]</b>	<b>CO<sub>2</sub> Äquivalent [t/ha]</b>
239	419	543	537
<b>CDM EUR/ha</b>	<b>CDM EUR/ha</b>	<b>CDM EUR/ha</b>	<b>CDM EUR/ha</b>
3107	5443	7061	6982

Demnach hätten die, aufgrund des in der oberirdischen Biomasse sequestrierten Kohlenstoffs, vermiedenen Tonnen an emittierten CO<sub>2</sub> pro Hektar, je nach Stratum einen Wert von 3107 EUR bis hin zu 6982 EUR.

### 3.4.2 Saint Germain

Auch in Saint Germain beruht der ermittelte Kohlenstoffgehalt auf dem Ansatz von Brown (1997). Demnach ergibt sich für den ermittelten Vorrat ein mittlerer Kohlenstoffgehalt von 194 t/ha. Auch in diesem Untersuchungsgebiet bezieht sich dieser Wert auf ganze Bäume. Also der Stamm einschließlich der Krone. Der Mittelwert des Kohlenstoffgehalts entspricht dem Median und weist auf eine gleichmäßige Verteilung über alle 20 Probepunkte hin. Betrachtet man das CO<sub>2</sub>-Äquivalent so zeigt sich, dass 194 Tonnen Kohlenstoff pro Hektar in etwa 710 Tonnen Kohlendioxid pro Hektar entsprechen.

**Tab. 30:** Kohlenstoffgehalt der Biomasse in Saint Germain- Mitzic (Tonnen Kohlenstoff pro Hektar, Mittelwert, Minimum, Median und Maximum) und CO<sub>2</sub>-Äquivalent des Mittelwertes

	<b>Kohlenstoff t/ha</b>
<i>Mittel</i>	194
<i>Min</i>	139
<i>Median</i>	192
<i>Max</i>	262
	<b>CO<sub>2</sub> Äquivalent [t/ha]</b>
	710

Bewertet man nun das CO<sub>2</sub>- Äquivalent, welches die Menge an nicht emittierten CO<sub>2</sub> darstellt mit dem angenommenen Wert von 13 EUR/Tonne CO<sub>2</sub> so zeigt sich, dass der in der oberirdischen Biomasse gebundene Kohlenstoff pro Hektar 9231 EUR/ha entspricht.

**Tab. 31:** Monetäre Bewertung des CO<sub>2</sub>-Äquivalent in Saint Germain- Mitzic (Bewertung der Tonnen CO<sub>2</sub> pro Hektar nach dem Clean Development Mechanism- CDM mit einem beispielhaften Wert von 13 EUR)

<i>CO<sub>2</sub>- Äquivalent [t/ha]</i>	<i>CDM Euro/ha</i>
710	9231

### **3.5. Kohlenstoff und -stickstoffgehalt des Bodens und der Streu**

Kapitel 3.5 gibt den Kohlenstoff- und Stickstoffgehalt der Streu und des Bodens wieder, der sich aufgrund der unterschiedlichen Bewirtschaftungsmethoden ergibt. Des weiteren wird geprüft, ob es einen Einfluss der Stammzahl, der Grundfläche und des Volumens auf den Kohlenstoff- und Stickstoffgehalt der Streu und des Bodens gibt.

#### **3.5.1 Aboun**

##### **3.5.1.1 Streuproben**

Die Analyse von insgesamt sieben Sammelstreuproben, welche jeweils aus drei einzelnen Proben bestehen, führt zu dem Ergebnis, dass auf einem Hektar 1,8 Tonnen Kohlenstoff und 0,05 Tonnen Stickstoff in der Streu gebunden sind.

**Tab. 32:** Analyseergebnisse der Streuproben in Aboun (7 Sammelstreuproben bestehend jeweils aus drei 20x20 cm großen Probenflächen)

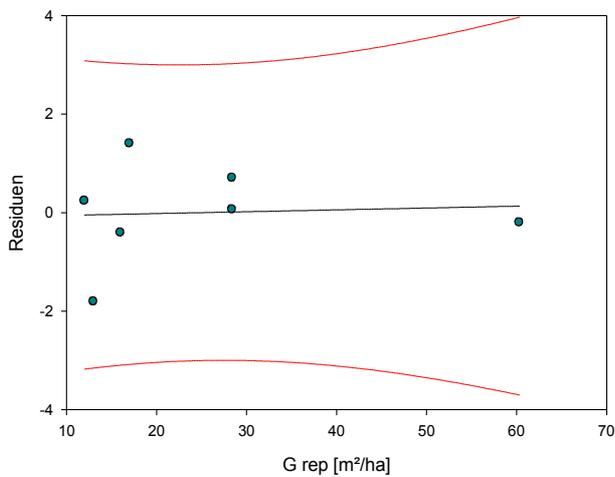
	<i>C [t/ha]</i>	<i>N [t/ha]</i>
<i>Mittel</i>	1,8	0,05
<i>Min</i>	1,0	0,03
<i>Median</i>	1,7	0,05
<i>Max</i>	2,7	0,09
Standardabweichung	± 0,5	± 0,02
Standardfehler	± 0,2	± 0,01

### 3.5.1.1.1 Einflüsse auf den Kohlenstoff- und Stickstoffgehalt der Streu

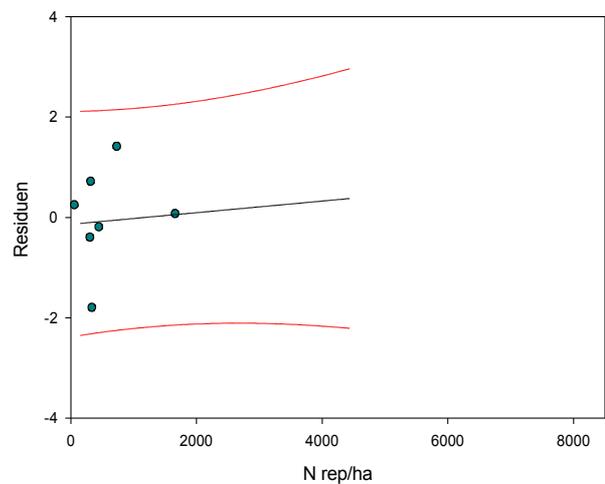
Ob es Einflüsse auf den Kohlenstoff- und Stickstoffgehalt der Streu gibt, wurde mittels standardisierter Residuen überprüft.

#### 3.5.1.1.1.1 Kohlenstoff

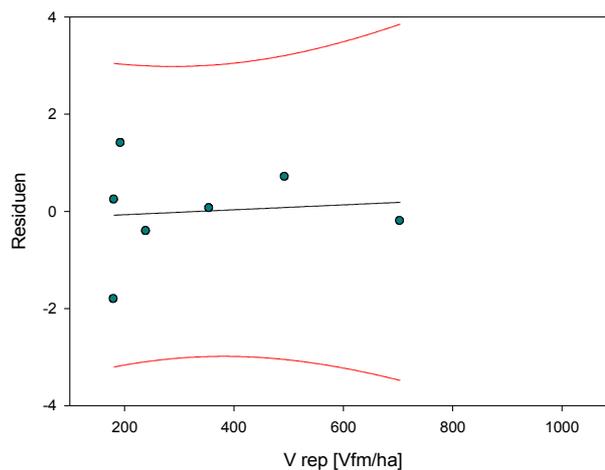
Stellt man die standardisierten Residuen des Kohlenstoffs der Streu der repräsentativen Grundfläche, der Stammzahl und dem Volumen gegenüber, so zeigt sich in keinem der drei Fälle ein Trend.



a) Residuen C- G rep, Streu



b) Residuen C- N rep, Streu



c) Residuen C- V rep, Streu

**Abb. 20a-c:** Standardisierte Residuen des Kohlenstoffgehalts der Streu

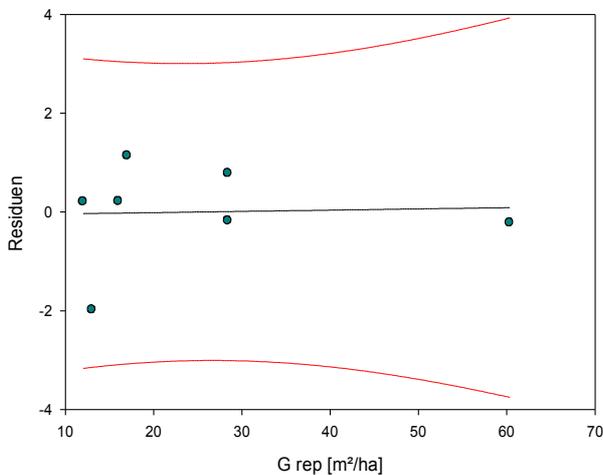
gegenübergestellt der repräsentativen Grundfläche, Stammzahl und dem Volumen der einzelnen Stichprobenpunkte in Aboun (lineare Regression und Bereich in dem 95% der Werte vorhergesagt werden)

**Tab. 33:** Koeffizienten und deren Wahrscheinlichkeit sowie das Bestimmtheitsmaß der linearen Regression der standardisierten Residuen des Kohlenstoffgehalts der Streu in Aboun

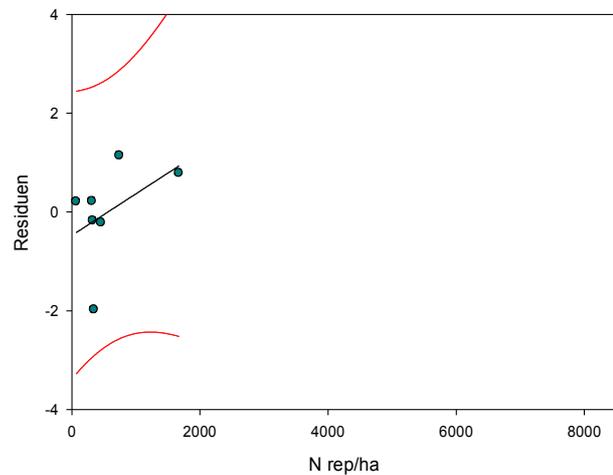
	a	P	b	P	r <sup>2</sup>
G rep	0,0037	0,8923	-0,0937	0,9087	0,0040
N rep	0,0001	0,5708	-0,1359	0,6830	0,0182
V rep	0,0005	0,8294	-0,1700	0,8502	0,0102

### 3.5.1.1.1.2 Stickstoff

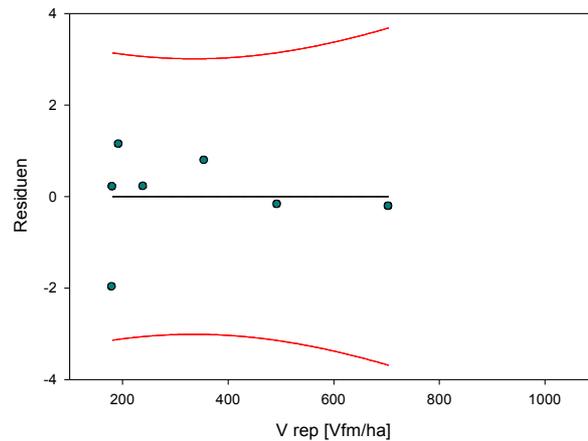
Auch die Streuungen der standardisierten Residuen des Stickstoff lassen bezüglich der repräsentativen Grundfläche, der Stammzahl und dem Volumen keine Trends erkennen und geben somit keinen Aufschluss über etwaige Einflüsse.



a) Residuen N- G rep, Streu



b) Residuen N- N rep, Streu



c) Residuen N- N rep, Streu

**Abb. 21a-c:** Standardisierte Residuen des Stickstoffgehalts der Streu gegenübergestellt der repräsentativen Grundfläche, Stammzahl und dem Volumen der einzelnen Stichprobenpunkte in Aboun (lineare Regression und Bereich in dem 95% der Werte vorhergesagt werden)

**Tab. 34:** Koeffizienten und deren Wahrscheinlichkeit sowie das Bestimmtheitsmaß der linearen Regression der standardisierten Residuen des Stickstoffgehalts der Streu in Aboun

	a	P	b	P	r <sup>2</sup>
G rep	0,0025	0,9276	-0,0630	0,9386	0,0018
N rep	0,0008	0,3170	-0,4718	0,4407	0,1981
V rep	0,0000	0,9988	0,0012	0,9989	0,0000

### 3.5.1.2 Bodenproben

Der nachstehenden Tabelle 35 können die Analyseergebnisse von insgesamt 20 Proben des Ober- und des Unterbodens entnommen werden.

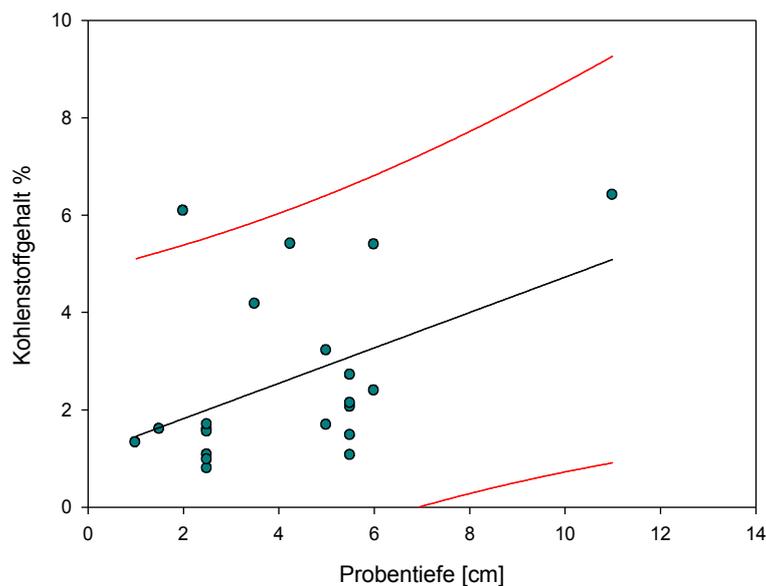


### 3.5.1.2.1 Verlauf des Kohlenstoff- und Stickstoffgehalts mit der Bodentiefe

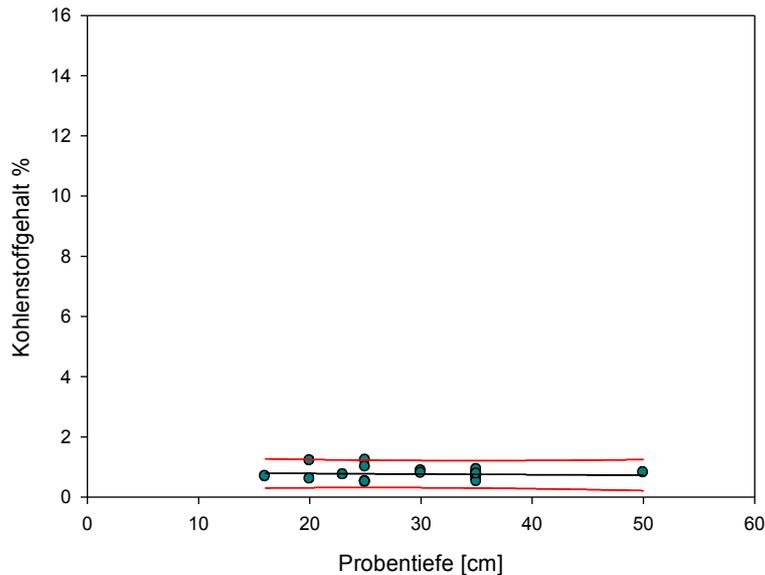
Um einen Eindruck zu erhalten, wie sich der Kohlenstoff- und Stickstoffgehalt mit zunehmender Bodentiefe verhalten, wurde der Verlauf untersucht.

#### 3.5.1.2.1.1 Kohlenstoff

Stellt man den prozentuellen Kohlenstoffgehalt jeder Probe der jeweiligen Probentiefe gegenüber, so lässt sich im Oberboden mit einer signifikanten Steigung der Regressionslinie eine Zunahme des Kohlenstoffgehalts mit der Tiefe erkennen. Allerdings übt die am tiefsten gelegene Probe einen starken Einfluss auf die Steigung aus. Ebenso ist das Bestimmtheitsmaß relativ klein, wodurch nicht davon auszugehen ist, dass im Oberboden ein Trend vorliegt. Im Unterboden zeigt sich eine Signifikanz für das Absolutglied der Regressionsgleichung, jedoch liegt ebenfalls kein Trend vor.



a) Oberboden



b) Unterboden

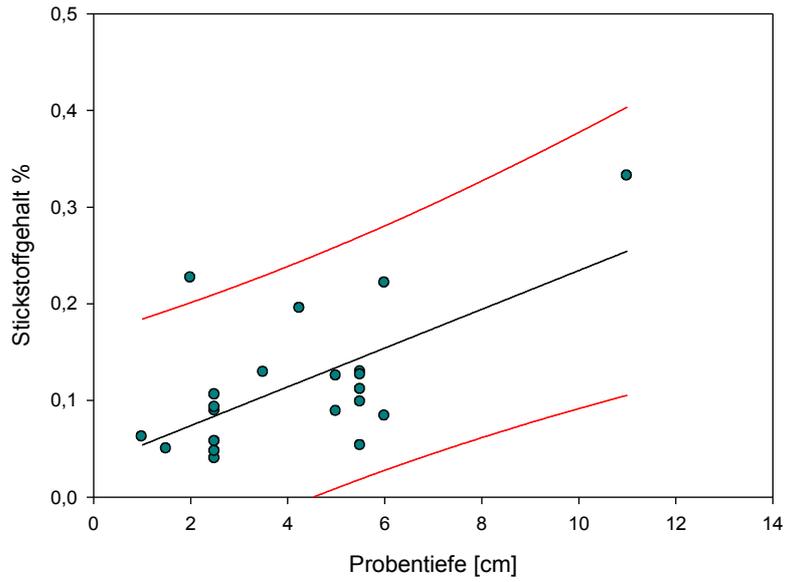
**Abb. 22a-b:** Verteilung des Kohlenstoffgehalts im a) Oberboden und b) Unterboden im Bezug zur der Probtiefe in Aboun (lineare Regression und Bereich in dem 95% der Werte vorhergesagt werden)

**Tab. 36:** Koeffizienten und deren Wahrscheinlichkeit sowie das Bestimmtheitsmaß der linearen Regression für den Kohlenstoffgehalt im Ober- und Unterboden in Aboun

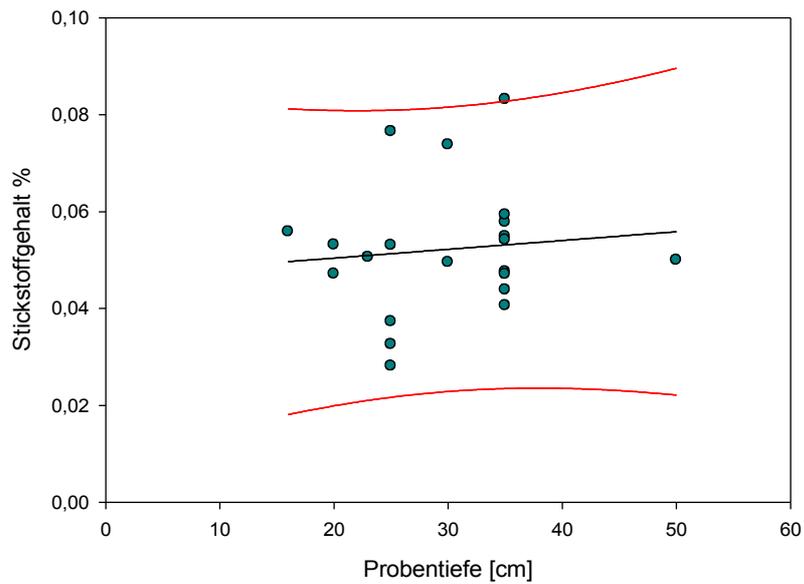
	a	P	b	P	r <sup>2</sup>
Oberboden	0,3635	0,0357	1,0910	0,1675	0,2100
Unterboden	-0,0017	0,7862	0,8110	0,0004	0,0040

**3.5.1.2.1.2 Stickstoffgehalt**

Bezüglich des Stickstoffs zeigt im Oberboden ebenfalls eine signifikante Steigung der Regressionslinie eine Zunahme des Stickstoffgehalt mit der Tiefe an (Tab. 37). Allerdings gilt es zu berücksichtigen, dass die Regressionsgerade von der tiefst gelegenen Probe mit höchstem Stickstoffgehalt beeinflusst wird (Abb. 23a). Dadurch liegt nicht eindeutig vor, dass der Gehalt an Stickstoff mit der Tiefe zu nimmt. Im Unterboden liegt im Bezug zur Steigung keine Signifikanz vor (Tab. 37). Allerdings für das Absolutglied. Doch weist auch hier das geringe Bestimmtheitsmaß auf keinen Trend hin.



a) Oberboden



b) Unterboden

**Abb. 23a-b:** Verteilung des Stickstoffgehalts im a) Oberboden und b) Unterboden im Bezug zur der Probentiefe in Aboun (lineare Regression und Bereich in dem 95% der Werte vorhergesagt werden)

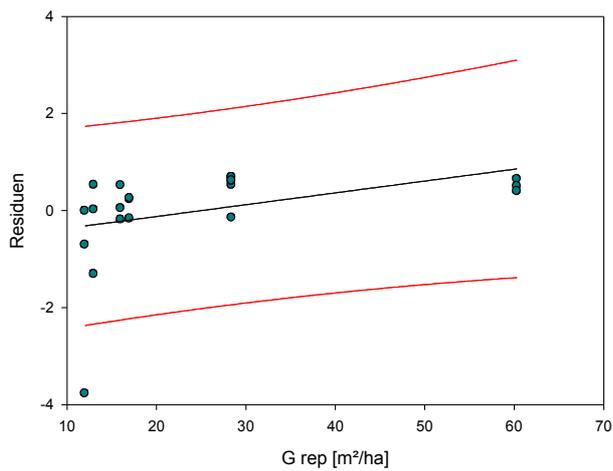
**Tab. 37:** Koeffizienten und deren Wahrscheinlichkeit sowie das Bestimmtheitsmaß der linearen Regression für den Kohlenstoffgehalt im Ober- und Unterboden in Aboun

	a	P	b	P	r <sup>2</sup>
Oberboden	0,0201	0,0024	0,0338	0,2279	0,3914
Unterboden	0,0002	0,6514	0,0468	0,0012	0,0110

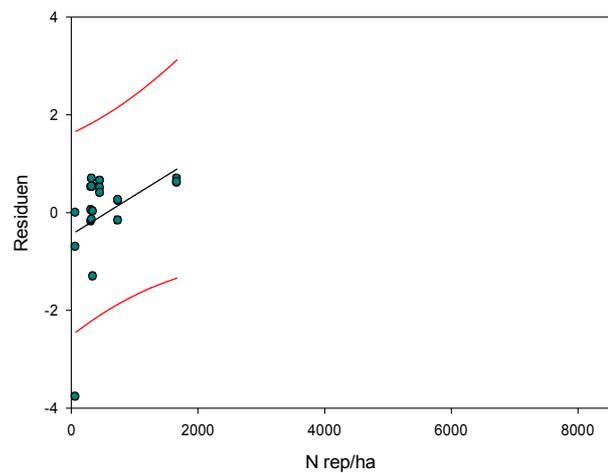
### 3.5.1.2.2 Einflüsse auf den Kohlenstoffgehalt des Bodens

#### 3.5.1.2.2.1 Oberboden

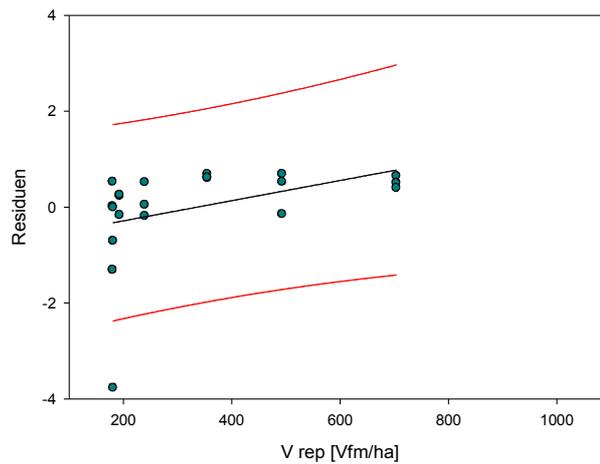
Den Abbildungen 24a-c kann die Streuung der standardisierten Residuen des Kohlenstoffgehalts im Oberboden bezüglich der repräsentativen Grundfläche, Stammzahl und Volumens des jeweiligen Stichprobenpunktes entnommen werden.



a) Residuen C- G rep, Oberboden



b) Residuen C- N rep, Oberboden



c) Residuen C- V rep, Oberboden

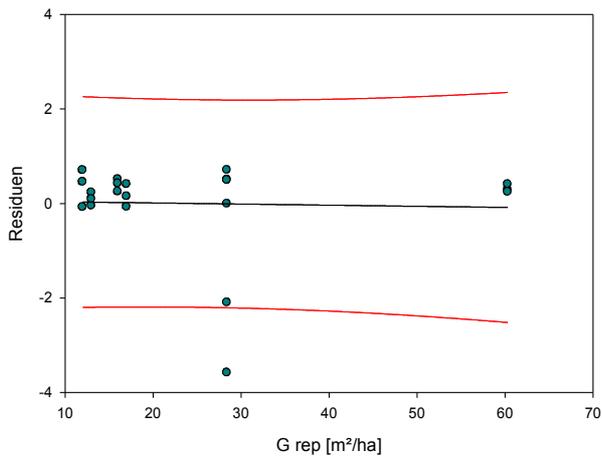
**Abb. 24a-c:** Standardisierte Residuen des Kohlenstoffgehalts des Oberbodens gegenübergestellt der repräsentativen Grundfläche, Stammzahl und dem Volumen der einzelnen Stichprobenpunkte in Aboun (lineare Regression und Bereich in dem 95% der Werte vorhergesagt werden)

Die Streuung der Residuen lässt weder bei der Grundfläche noch bei der Stammzahl und dem Volumen Trends erkennen. Auch die Wahrscheinlichkeit der Steigung der linearen Regressionen zeigt keine Signifikanz.

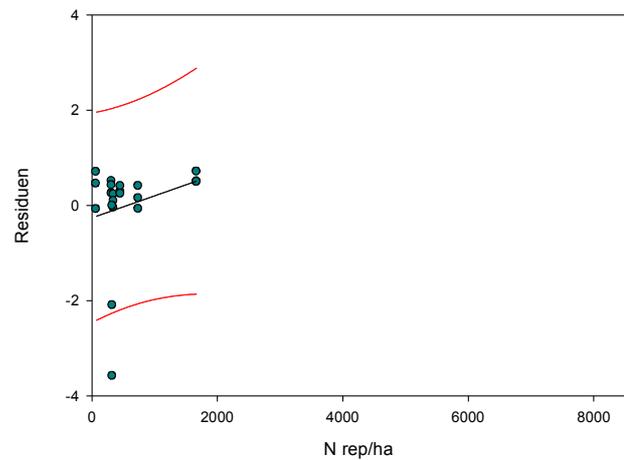
**Tab. 38:** Koeffizienten und deren Wahrscheinlichkeit sowie das Bestimmtheitsmaß der linearen Regression der standardisierten Residuen des Kohlenstoffgehalts im Oberboden in Aboun

	a	P	b	P	r <sup>2</sup>
G rep	0,0244	0,0785	-0,6097	0,1318	0,1540
N rep	0,0008	0,0695	-0,4510	0,1638	0,1629
V rep	0,0021	0,0740	-0,7060	0,1140	0,1584

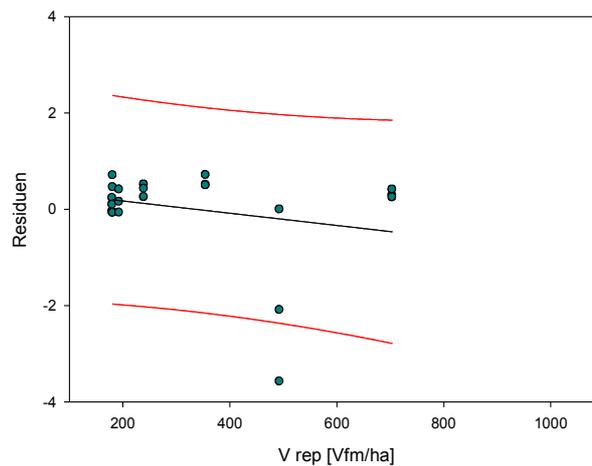
### 3.5.1.2.2 Unterboden



a) Residuen C- G rep, Unterboden



b) Residuen C- N rep, Unterboden



c) Residuen C- V rep, Unterboden

**Abb. 25a-c:** Standardisierte Residuen des Kohlenstoffgehalts des Unterbodens gegenübergestellt der repräsentativen Grundfläche, Stammzahl und dem Volumen der einzelnen Stichprobenpunkte in Aboun (lineare Regression und Bereich in dem 95% der Werte vorhergesagt werden)

Auch im Unterboden zeigen sich bezüglich der Grundfläche, der Stammzahl und dem Volumen keine Trends.

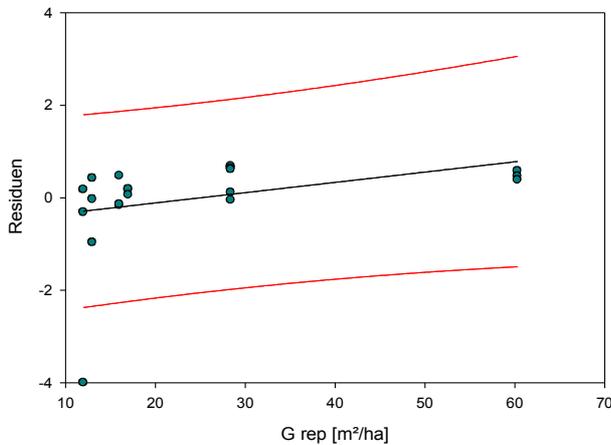
**Tab. 39:** Koeffizienten und deren Wahrscheinlichkeit sowie das Bestimmtheitsmaß der linearen Regression der standardisierten Residuen des Kohlenstoffgehalts im Unterboden

	a	P	b	P	r <sup>2</sup>
G rep	-0,0024	0,8697	0,0592	0,8895	0,0015
N rep	0,0005	0,3107	-0,2597	0,4425	0,0540
V rep	-0,0013	0,2940	0,4263	0,3363	0,0578

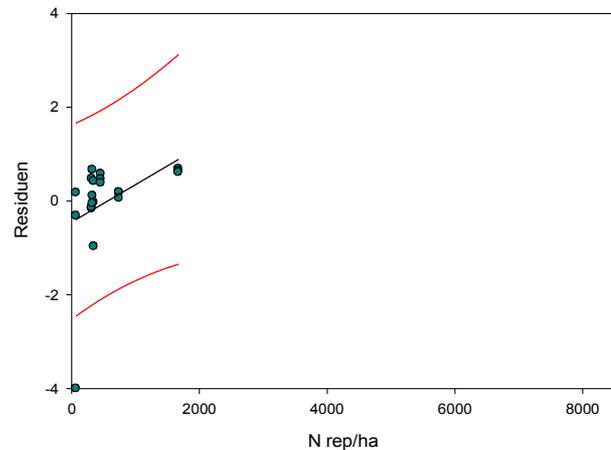
### 3.5.1.2.3 Einflüsse auf den Stickstoffgehalt des Bodens

#### 3.5.1.2.3.1 Oberboden

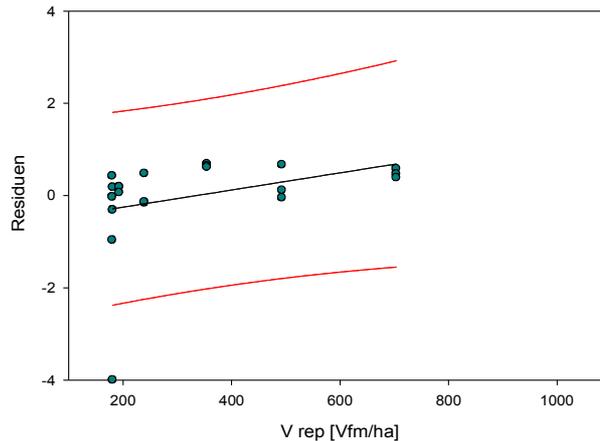
Ebenso die Residuen des Stickstoffs im Oberboden lassen im Bezug zur repräsentativen Grundfläche, Stammzahl und zum Volumen der jeweiligen Stichprobenpunkte keinen Rückschlüsse über Trends zu. Dies zeigen sowohl die Bestimmtheitsmaße der Regressionen als auch die Wahrscheinlichkeiten der Koeffizienten der jeweiligen Funktion (Tab. 40).



a) Residuen N- G rep, Oberboden



b) Residuen N- N rep, Oberboden



c) Residuen N- V rep, Oberboden

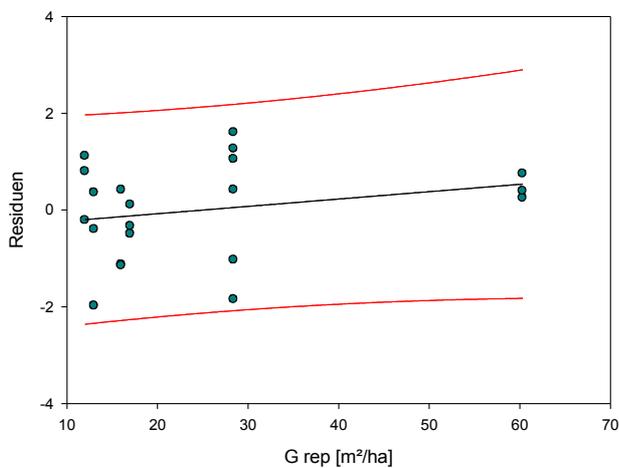
**Abb. 26a-c:** Standardisierte Residuen des Stickstoffgehalts des Oberbodens gegenübergestellt der repräsentativen Grundfläche, Stammzahl und dem Volumen der einzelnen Stichprobenpunkte in Aboun (lineare Regression und Bereich in dem 95% der Werte vorhergesagt werden)

**Tab. 40:** Koeffizienten und deren Wahrscheinlichkeit sowie das Bestimmtheitsmaß der linearen Regression der standardisierten Residuen des Stickstoffgehalts im Oberboden in Aboun

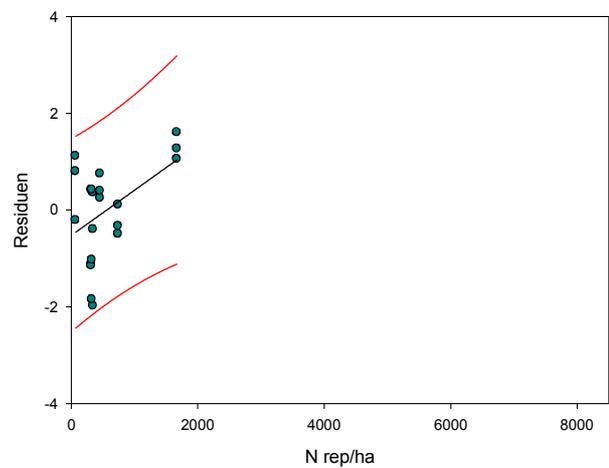
	a	P	b	P	r <sup>2</sup>
G rep	0,0222	0,1110	-0,5563	0,1731	0,1282
N rep	0,0008	0,0712	-0,4486	0,1664	0,1612
V rep	0,0019	0,1181	-0,6237	0,1677	0,1236

### 3.5.1.2.3.2 Unterboden

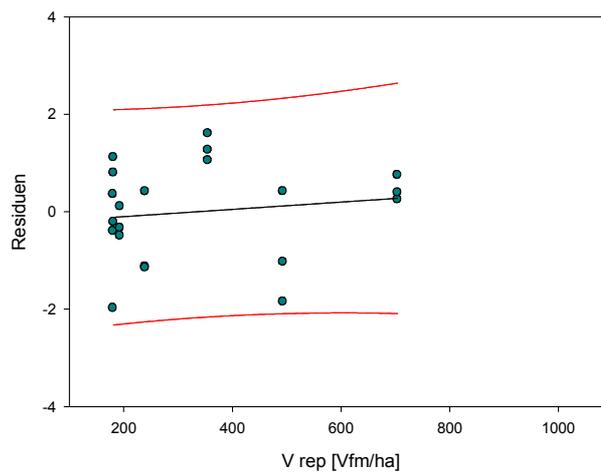
Auch im Unterboden weist die Streuung der standardisierten Residuen im Bezug zur Grundfläche und dem Volumen (Abb. 27a-c und Tab. 41) keine Trends auf. Dies zeigen sowohl die Bestimmtheitsmaße als auch die Anstiege der Regressionslinien. Hinsichtlich der Stammzahl ist die Wahrscheinlichkeit des Anstiegskoeffizienten allerdings signifikant. Dies deutet darauf hin, dass mit zunehmender Stammzahl der Mittelwert des Volumens überschätzt wird.



a) Residuen N- G rep, Unterboden



b) Residuen N- N rep, Unterboden



c) Residuen N- V rep, Unterboden

**Abb. 27a-c:** Standardisierte Residuen des Stickstoffgehalts des Unterbodens gegenübergestellt der repräsentativen Grundfläche, Stammzahl und dem Volumen der einzelnen Stichprobenpunkte in Aboun (lineare Regression und Bereich in dem 95% der Werte vorhergesagt werden)

**Tab. 41:** Koeffizienten und deren Wahrscheinlichkeit sowie das Bestimmtheitsmaß der linearen Regression der standardisierten Residuen des Stickstoffgehalts im Unterboden in Aboun

	a	P	b	P	r <sup>2</sup>
G rep	0,0152	0,2851	-0,3802	0,3633	0,0599
N rep	0,0009	0,0319	-0,5243	0,0972	0,2202
V rep	0,0007	0,5416	-0,2502	0,5923	0,0199

### 3.5.2 Saint Germain

#### 3.5.2.1 Streuproben

Die Analyse von 20 Sammelstreuproben, welche jeweils aus der Streu von drei 20x20 cm großen Probeflächen bestehen, hat ergeben, dass pro Hektar rund 2 Tonnen Kohlenstoff und 0,08 Tonnen Stickstoff in der Streu gebunden sind.

**Tab. 42:** Analyseergebnisse der Streuproben in Saint Germain- Mitzić (20 Sammelstreuproben bestehend jeweils aus drei 20x20 cm großen Probenflächen)

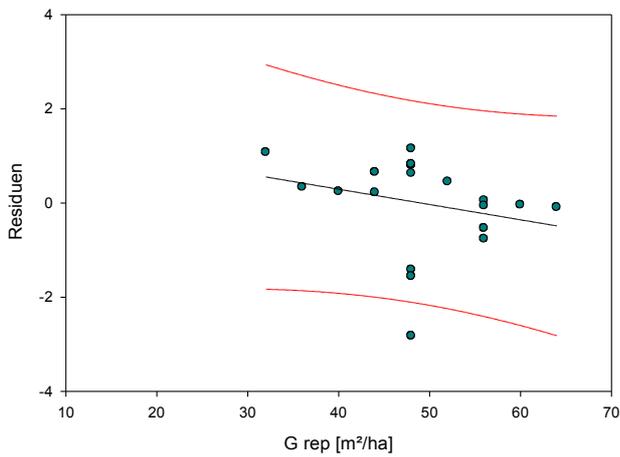
	<b>C [t/ha]</b>	<b>N [t/ha]</b>
<i>Mittel</i>	2,0	0,08
<i>Min</i>	0,9	0,04
<i>Median</i>	1,8	0,07
<i>Max</i>	4,5	0,20
Standardabweichung	± 0,9	± 0,03
Standardfehler	± 0,2	± 0,01

#### 3.5.2.1.1 Einflüsse auf den Kohlenstoff- und Stickstoffgehalt der Streu

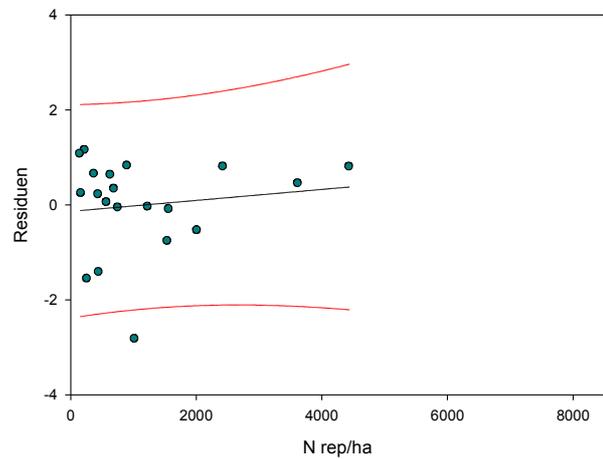
Auch der Kohlenstoff- und Stickstoffgehalt der Streu von Saint Germain wurde auf etwaige Einflüsse untersucht.

### 3.5.2.1.1.1 Kohlenstoff

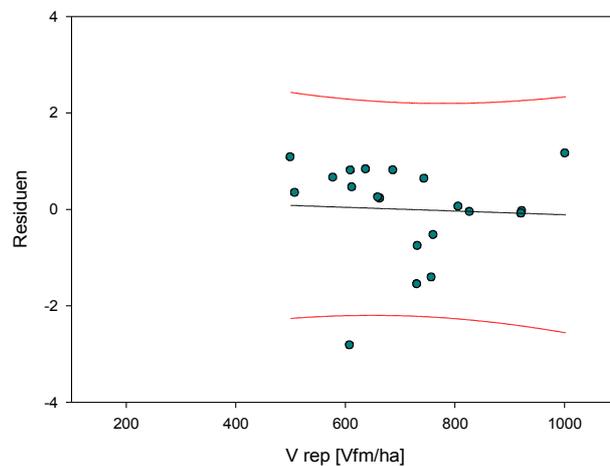
Die Residuen des Kohlenstoffgehalts der Streuproben wurden bezüglich ihres Streuverhaltens gegenüber der repräsentativen Grundfläche, Stammzahl und des Volumens der einzelnen Stichprobenpunkte untersucht. Hierbei wurden keine Trends beobachtet.



a) Residuen C-  $G_{rep}$ , Streu



b) Residuen C-  $N_{rep}$ , Streu



c) Residuen C-  $V_{rep}$ , Streu

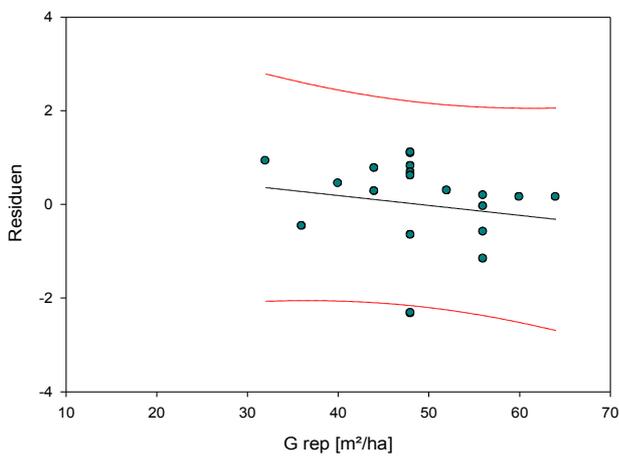
**Abb. 28a-c:** Standardisierte Residuen des Kohlenstoffgehalts der Streu gegenübergestellt der repräsentativen Grundfläche, Stammzahl und dem Volumen der einzelnen Stichprobenpunkte in Saint Germain- Mitzic (lineare Regression und Bereich in dem 95% der Werte vorhergesagt werden)

**Tab. 43:** Koeffizienten und deren Wahrscheinlichkeit sowie das Bestimmtheitsmaß der linearen Regression der standardisierten Residuen des Kohlenstoffgehalts der Streu in Saint Germain. Mitzić

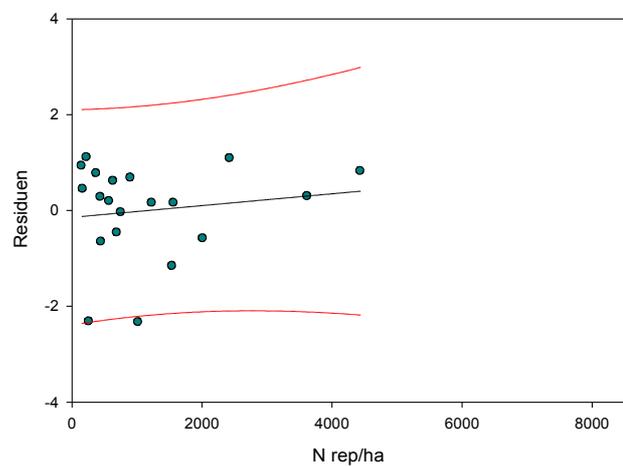
	a	P	b	P	r <sup>2</sup>
G rep	-0,0325	0,2833	1,5902	0,2888	0,0636
N rep	0,0001	0,5708	-0,1359	0,6830	0,0182
V rep	-0,0004	0,8267	0,2761	0,8295	0,0027

### 3.5.2.1.1.2 Stickstoff

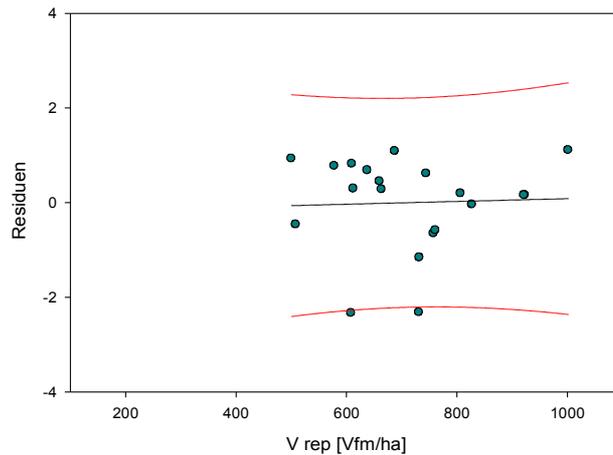
Auch die Streuung der Residuen des Stickstoffgehalts der Streu zeigt keine Trends.



a) Residuen N- G rep, Streu



b) Residuen N- N rep, Streu



c) Residuen N- V rep, Streu

**Abb. 29a-c:** Standardisierte Residuen des Stickstoffgehalts der Streu gegenübergestellt der repräsentativen Grundfläche, Stammzahl und dem Volumen der einzelnen Stichprobenpunkte in Saint Germain- Mitzic (lineare Regression und Bereich in dem 95% der Werte vorhergesagt werden)

**Tab. 44:** Koeffizienten und deren Wahrscheinlichkeit sowie das Bestimmtheitsmaß der linearen Regression der standardisierten Residuen des Stickstoffgehalts der Streu in Saint Germain. Mitzic

	a	P	b	P	r <sup>2</sup>
G rep	-0,0212	0,4883	1,0369	0,4934	0,0271
N rep	0,0001	0,5460	-0,1446	0,6635	0,0206
V rep	0,0003	0,8677	-0,2102	0,8699	0,0016

### 3.5.2.2 Bodenproben

In Saint Germain- Mitzic wurden insgesamt 60 Proben des Ober- und 60 Proben des Unterbodens entnommen. Die Ergebnisse der Analyse bezüglich des Kohlenstoff- und des Stickstoffgehalts zeigt die nachfolgende Tabelle 45.

**Tab. 45:** Ergebnisse der Bodenanalyse bezüglich Kohlenstoff- und Stickstoffgehalts des Ober- und Unterbodens in Saint Germain- Mitzic (mittlere Probentiefe, Bodendichte, Mittelwert, Minimum, Median, Maximum und Standardabweichung des Kohlen- und Stickstoffgehalts von jeweils 60 Proben des Ober- und Unterbodens) und Gesamtgehalt des Bodens an Kohlenstoff und Stickstoff bis 1m Tiefe in Saint Germain. Mitzic

mittlere Probentiefe [cm]:	5,46				
Bodendichte [kg/m <sup>3</sup> ]:	952,8				
		<i>Mittel</i>	<b>C Oberboden</b>	<b>N Oberboden</b>	
		<i>Min</i>	35,5	2,4	
		<i>Median</i>	1,4	0,1	
		<i>Max</i>	27,4	1,8	
			143,4	7,6	
		Standardabweichung	± 28,6	± 1,7	
		Standardfehler	± 3,7	± 0,2	
mittlere Probentiefe [cm]:	56,11				
Bodendichte [kg/m <sup>3</sup> ]:	1026,1				
		<i>Mittel</i>	<b>C Unterboden</b>	<b>N Unterboden</b>	
		<i>Min</i>	113,7	9,3	
		<i>Median</i>	39,4	3,3	
		<i>Max</i>	110,7	9,0	
			196,6	14,4	
		Standardabweichung	± 36,5	± 2,6	
		Standardfehler	± 4,7	± 0,3	
			<b>C gesamt bis</b>	<b>N gesamt bis</b>	
			<b>1m Tiefe</b>	<b>1m Tiefe</b>	
			<b>[t/ha]</b>	<b>[t/ha]</b>	
			149,3	11,7	
		Standardabweichung	± 51,1	± 4,1	
		Standardfehler	± 4,7	± 0,4	

Im Mittel ergeben sich für den Oberboden bei einer Bodendichte von 953 kg/m<sup>3</sup> ein Kohlenstoffgehalt von rund 36 t/ha und 2 t/ha Stickstoff. Der Unterboden verfügt bei einer Dichte von 1026 kg/m<sup>3</sup> über 114 t/ha Kohlenstoff und 9 t/ha Stickstoff. Gesamt ergeben sich bis 1 m Tiefe 149 Tonnen Kohlenstoff und 12 Tonnen Stickstoff pro Hektar.

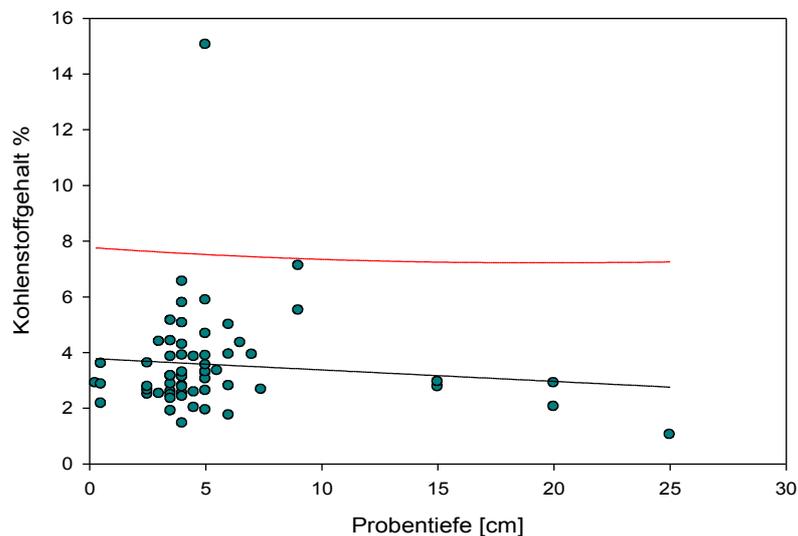
### 3.5.2.2.1 Verlauf des Kohlenstoff- und Stickstoffgehalts mit der Bodentiefe

#### 3.5.2.2.1.1 Kohlenstoffgehalt

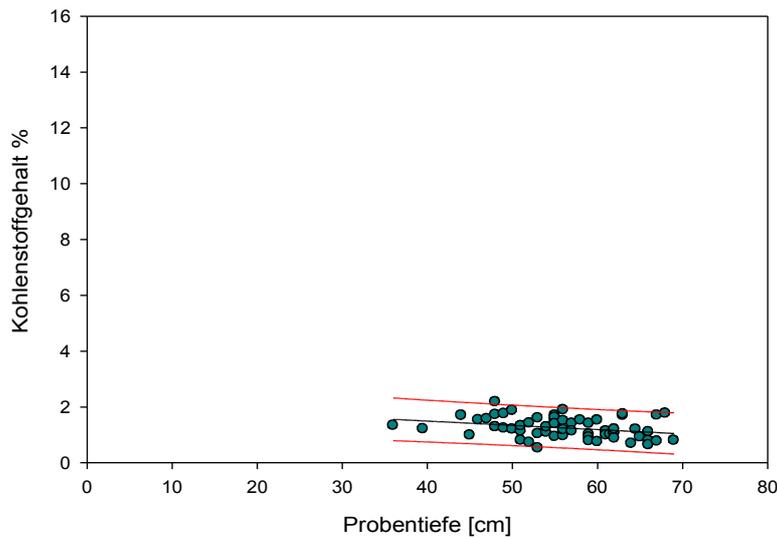
Betrachtet man den prozentuellen Kohlenstoffgehalts der einzelnen Bodenproben bezüglich der jeweiligen Probentiefe, so zeigt sich sowohl für den Ober- als auch den Unterboden, dass der Gehalt an Kohlenstoff mit der Tiefe nicht abnimmt (Abb.30). Dies veranschaulichen die linearen Regressionen welche sehr kleine Bestimmtheitsmaße aufweisen (Tab. 46). Allerdings lässt sich im Unterboden eine Signifikanz für den Anstiegskoeffizienten erkennen.

**Tab. 46:** Koeffizienten und deren Wahrscheinlichkeit sowie das Bestimmtheitsmaß der linearen Regression für den Kohlenstoffgehalt im Ober- und Unterboden in Saint Germain. Mitzic

	a	P	b	P	r <sup>2</sup>
Oberboden	-0,0411	0,4616	3,7871	<0,0001	0,0094
Unterboden	-0,0153	0,0206	2,1041	<0,0001	0,0890



a) Oberboden



#### b) Unterboden

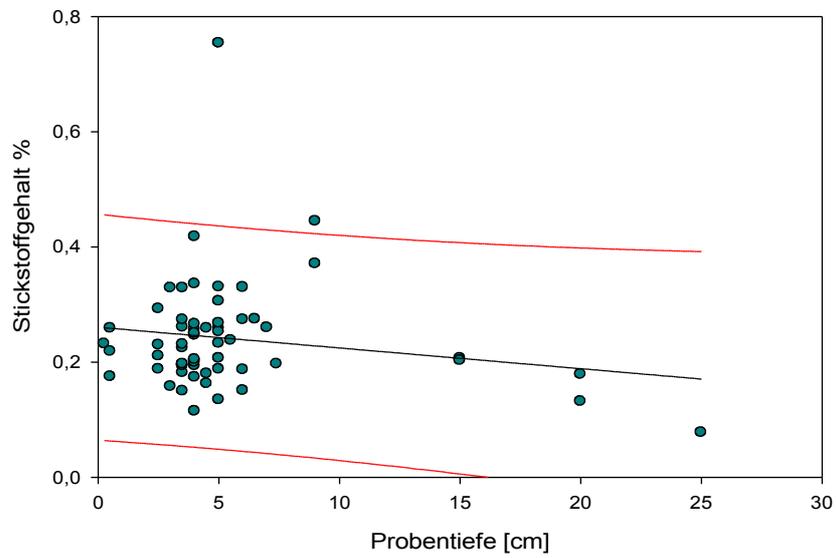
**Abb. 30a-b:** Verteilung des Kohlenstoffgehalts im a) Oberboden und b) Unterboden im Bezug zur der Probentiefe in Saint Germain (lineare Regression und Bereich in dem 95% der Werte vorhergesagt werden)

#### 3.5.2.2.1.2 Stickstoff

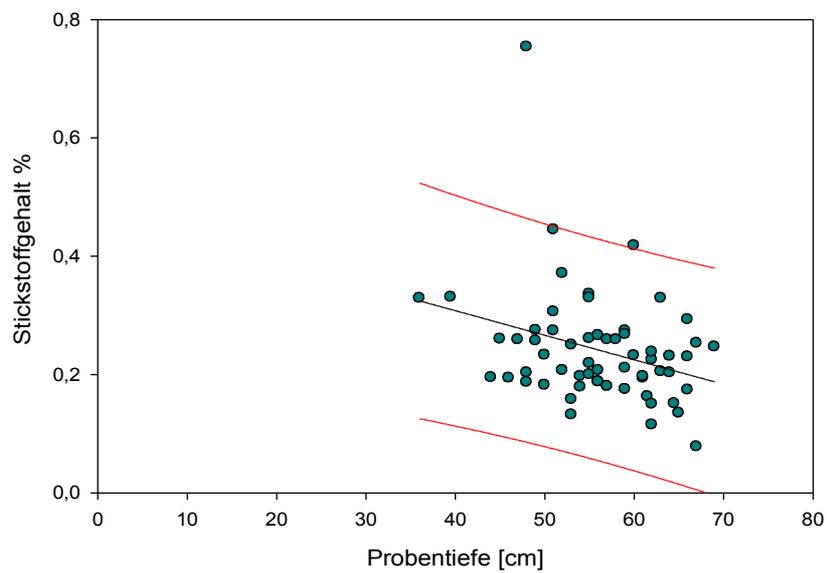
Ebenso kann nicht festgestellt werden, dass sich der Stickstoffgehalt mit der Probentiefe sowohl im Ober- als auch im Unterboden verändert (Abb. 31 und Tab. 47). Allerdings weist der Anstiegskoeffizient Regressionsgeraden im Unterboden eine Signifikanz auf.

**Tab. 47:** Koeffizienten und deren Wahrscheinlichkeit sowie das Bestimmtheitsmaß der linearen Regression für den Kohlenstoffgehalt im Ober- und Unterboden in Saint Germain. Mitzic

	a	P	b	P	r <sup>2</sup>
Oberboden	-0,0036	0,1930	0,2606	<0,0001	0,0290
Unterboden	-0,0041	0,0171	0,4738	<0,0001	0,0941



a) Oberboden



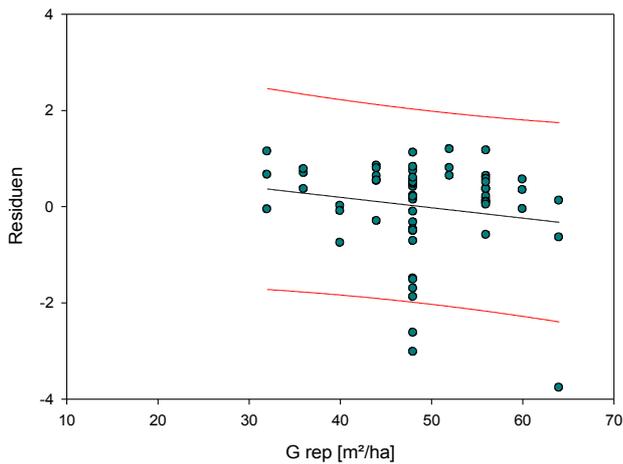
b) Unterboden

**Abb. 31a-b:** Verteilung des Stickstoffgehalts im a) Oberboden und b) Unterboden im Bezug zur der Probertiefe in Saint Germain (lineare Regression und Bereich in dem 95% der Werte vorhergesagt werden)

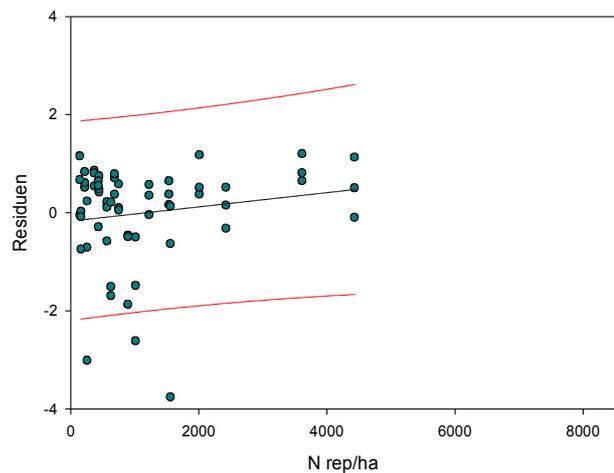
### 3.5.2.2 Einflüsse auf den Kohlenstoffgehalt des Bodens

#### 3.5.2.2.1 Oberboden

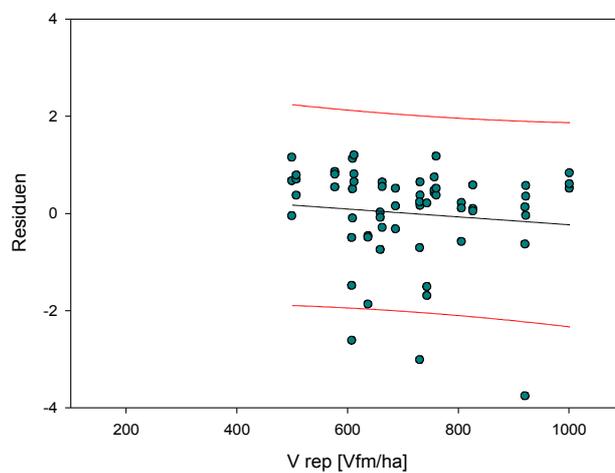
Wie sich die Streuung der standardisierten Residuen des Kohlenstoffgehalts im Oberboden bezüglich der repräsentativen Grundfläche, Stammzahl und Volumens der einzelnen Stichprobenpunkte verhält, zeigen nachfolgende Abbildungen 32a-c.



a) Residuen C- G rep, Oberboden



b) Residuen C- N rep, Oberboden



c) Residuen C- V rep, Oberboden

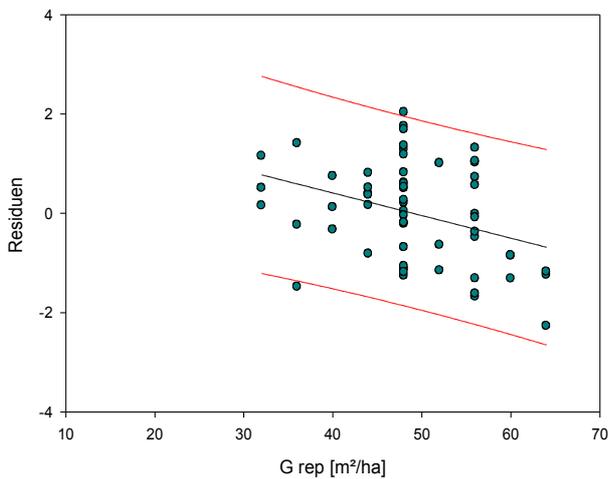
**Abb. 32a-c:** Standardisierte Residuen des Kohlenstoffgehalts des Oberbodens gegenübergestellt der repräsentativen Grundfläche, Stammzahl und dem Volumen der einzelnen Stichprobenpunkte in Saint Germain- Mitzic (lineare Regression und Bereich in dem 95% der Werte vorhergesagt werden)

Die Streuung der Residuen im Oberboden lässt keine Rückschlüsse über Trends zu.

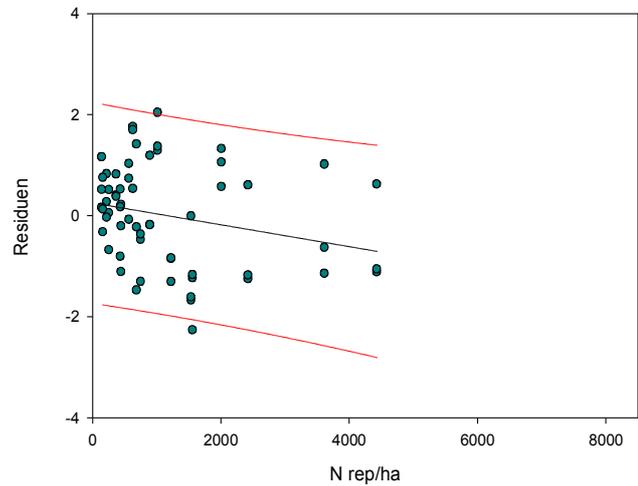
**Tab. 48:** Koeffizienten und deren Wahrscheinlichkeit sowie das Bestimmtheitsmaß der linearen Regression der standardisierten Residuen des Kohlenstoffgehalts im Oberboden in Saint Germain. Mitzić

	a	P	b	P	r <sup>2</sup>
G rep	-0,0216	0,2073	1,0593	0,2126	0,0273
N rep	0,0001	0,2045	-0,1704	0,3601	0,0276
V rep	0,0008	0,4143	0,5767	0,4221	0,0115

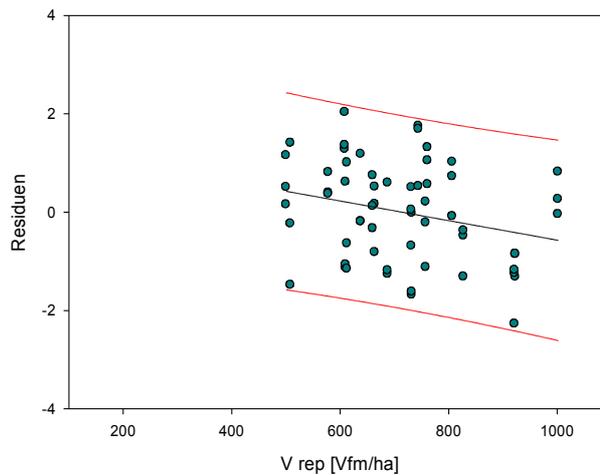
### 3.5.2.2.2 Unterboden



a) Residuen C- G rep, Unterboden



b) Residuen C- N rep, Unterboden



c) Residuen C- V rep, Unterboden

**Abb. 33a-c:** Standardisierte Residuen des Kohlenstoffgehalts des Unterbodens gegenübergestellt der repräsentativen Grundfläche, Stammzahl und dem Volumen der einzelnen Stichprobenpunkte in Saint Germain- Mitzić (lineare Regression und Bereich in dem 95% der Werte vorhergesagt werden)

**Tab. 49:** Koeffizienten und deren Wahrscheinlichkeit sowie das Bestimmtheitsmaß der linearen Regression der standardisierten Residuen des Kohlenstoffgehalts im Unterboden in Saint Germain. Mitzić

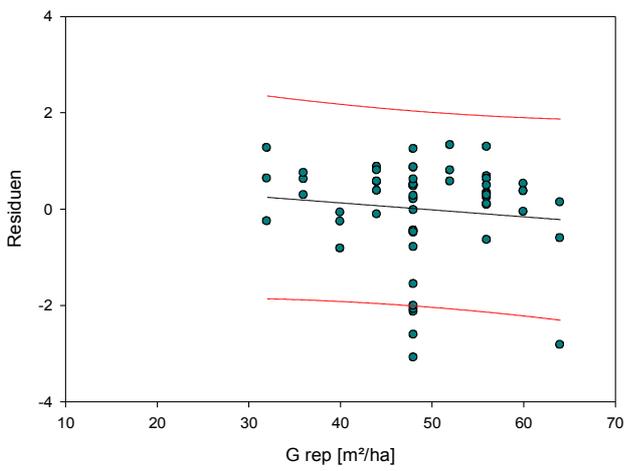
	a	P	b	P	r <sup>2</sup>
G rep	-0,0456	0,0064	2,2320	0,0070	0,1211
N rep	-0,0002	0,0561	0,2542	0,1665	0,0615
V rep	-0,0020	0,0412	1,4207	0,0445	0,0699

Auch im Unterboden kann über die Streuung der standardisierten Residuen keine Aussage getroffen werden. Lediglich im Bezug zur Grundfläche zeigt sich ein sehr leichter Trend mit einem Bestimmtheitsmaß von 0,12, dass der Mittelwert des Kohlenstoffgehalts bei zunehmender Grundfläche unterschätzt wird. Auch der Anstieg zeigt eine Signifikanz.

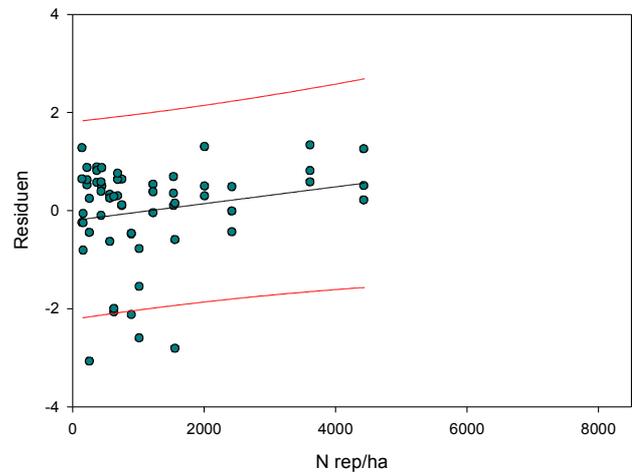
### 3.5.2.2.3 Einflüsse auf den Stickstoffgehalt des Bodens

#### 3.5.2.2.3.1 Oberboden

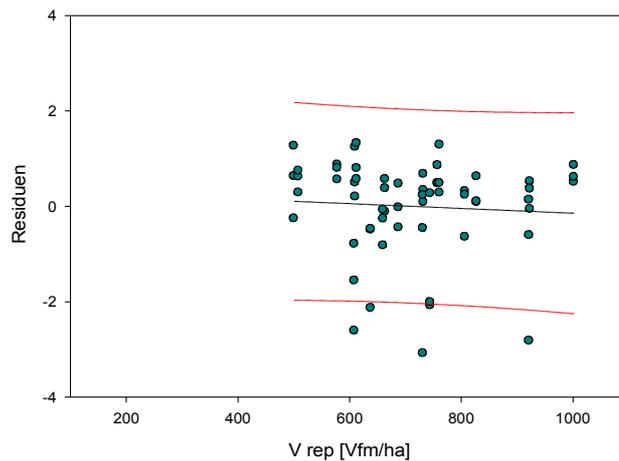
Die Residuen des Stickstoffs im Oberboden geben im Bezug zur repräsentativen Grundfläche, Stammzahl und zum Volumen der einzelnen Stichprobenpunkte ebenfalls keinen Aufschluss über Trends. Dies bestätigen sowohl die Bestimmtheitsmaße der Regressionen als auch die Wahrscheinlichkeiten der Koeffizienten der jeweiligen Funktion (Tab. 50).



a) Residuen N- G rep, Oberboden



b) Residuen N- N rep, Oberboden



c) Residuen N- V rep, Oberboden

**Abb. 34a-c:** Standardisierte Residuen des Stickstoffgehalts des Oberbodens

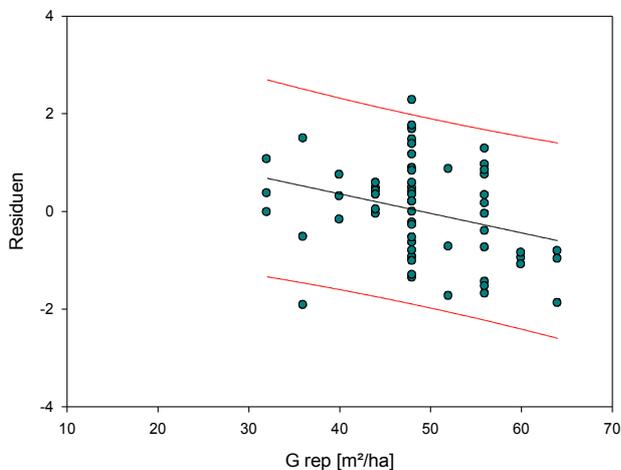
gegenübergestellt der repräsentativen Grundfläche, Stammzahl und dem Volumen der einzelnen Stichprobenpunkte in Saint Germain- Mitzic (lineare Regression und Bereich in dem 95% der Werte vorhergesagt werden)

**Tab. 50:** Koeffizienten und deren Wahrscheinlichkeit sowie das Bestimmtheitsmaß der linearen Regression der standardisierten Residuen des Stickstoffgehalts im Oberboden in Saint Germain. Mitzic

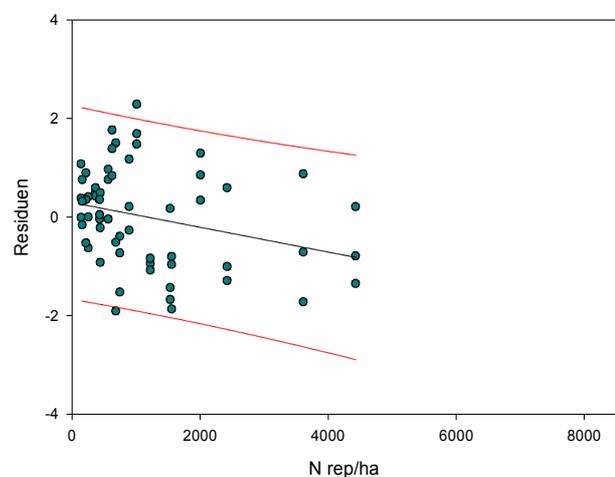
	a	P	b	P	r <sup>2</sup>
G rep	-0,0144	0,4015	0,7073	0,4070	0,0122
N rep	0,0002	0,1321	-0,2017	0,2767	0,0387
V rep	-0,0005	0,6149	0,3560	0,6208	0,0044

### 3.5.2.2.3.2 Unterboden

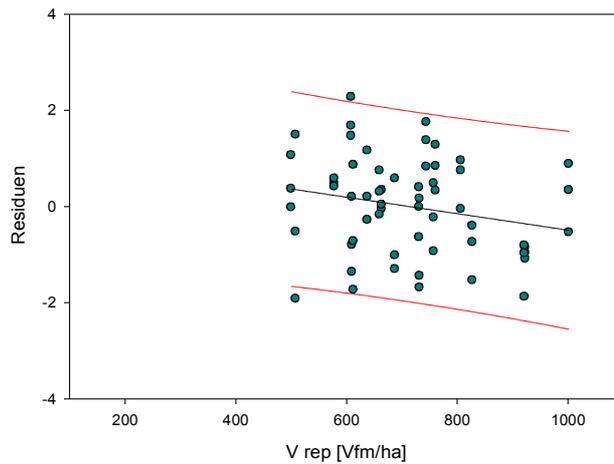
Ebenso im Unterboden lässt sich kein Trend der standardisierten Residuen erkennen. Trotz der sehr kleinen Bestimmtheitsmaße zeigen die Anstiege der Regressionslinien im Bezug zur Grundfläche und der Stammzahl eine Signifikanz.



a) Residuen N- G rep, Unterboden



b) Residuen N- N rep, Unterboden



c) Residuen N- V rep, Unterboden

**Abb. 35a-c:** Standardisierte Residuen des Stickstoffgehalts des Unterbodens gegenübergestellt der repräsentativen Grundfläche, Stammzahl und dem Volumen der einzelnen Stichprobenpunkte in Saint Germain- Mitzic (lineare Regression und Bereich in dem 95% der Werte vorhergesagt werden)

**Tab. 51:** Koeffizienten und deren Wahrscheinlichkeit sowie das Bestimmtheitsmaß der linearen Regression der standardisierten Residuen des Stickstoffgehalts im Unterboden in Saint Germain. Mitzic

	a	P	b	P	r <sup>2</sup>
G rep	-0,0399	0,0178	0,1957	0,0191	0,0931
N rep	-0,0003	0,0256	0,2954	0,1050	0,0830
V rep	-0,0017	0,0802	1,2232	0,0852	0,0518

### **3.6 Vergleich Aboun/Saint Germain- Mitzic**

Im folgenden Teil werden die allgemeine Bestandessituation, die Kohlenstoffspeicherung der oberirdischen Biomasse, die Kohlenstoffspeicherung des Bodens als auch die Einflüsse auf die jeweiligen ermittelten Volumina sowie auf den Kohlenstoff- und Stickstoffgehalt des Bodens und der Streu der beiden Untersuchungsgebiete miteinander verglichen.

#### **3.6.1 Vergleich der allgemeine Bestandessituation**

Um die Ergebnisse von Aboun und Mitzic miteinander vergleichen zu können, wurde für Aboun die Unterteilung in Straten aufgehoben. Die in Tabelle 52 angeführten Daten für Aboun beruhen auf 20 Winkelzählproben.

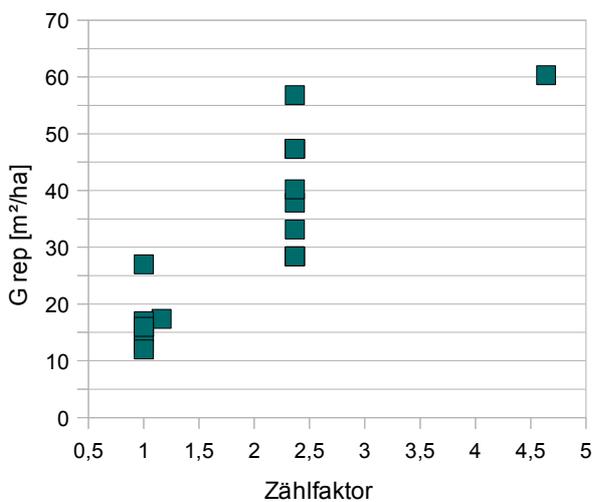
**Tab. 52:** Vergleich der Ergebnisse von 20 Winkelzählproben in Aboun und Saint Germain Mitzic (Stichprobenumfang, Mittelwert, Minimum, Median und Maximum des BHD, der Höhe, Stammzahl, Kreisfläche, des Vorrats und dem Kohlenstoffgehalts)

	<b>Aboun</b>	<b>Saint Germain</b>
Stichprobenumfang	20	20
	<b>BHD [cm]</b>	<b>BHD [cm]</b>
Mittel	58,26	58,77
Min	2	4
Median	50	50
Max	208	183
	<b>Höhe [m]</b>	<b>Höhen [m]</b>
Mittel	23,9	24,3
Min	3,2	3,1
Median	23,9	23,9
Max	52,6	46,7
	<b>N/ha</b>	<b>N/ha</b>
Mittel	929	1176
Min	69	152
Median	389	725
Max	8140	4438
	<b>G [m<sup>2</sup>/ha]</b>	<b>G [m<sup>2</sup>/ha]</b>
Mittel	30,9	49
Min	12	32
Median	28,4	48
Max	60,3	64
	<b>Vfm/ha</b>	<b>Vfm/ha</b>
Mittel	450	710
Min	180	500
Median	430	710
Max	1000	1000
	<b>C [t/ha]</b>	<b>C [t/ha]</b>
Mittel	118	194
Min	49	139
Median	103	192
Max	298	262

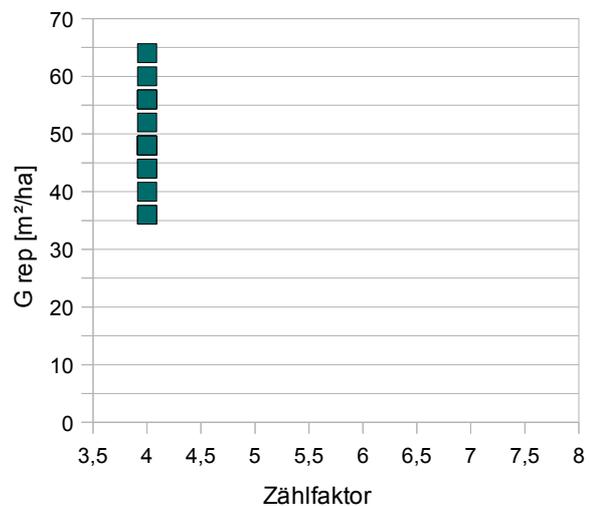
Es zeigt sich, dass sich die Mittelwerte des BHD und der Höhe nur gering unterscheiden,

und somit die Bäume, trotz eines leichten Überhangs zu Saint Germain, fast gleich dimensioniert sind. Obwohl der Extremwert der Stammzahl in Aboun mit 8140 beinahe doppelt so groß ist, ist jedoch Saint Germain mit 1176 Bäumen pro Hektar im Mittel dichter bestockt.

Interessant ist allerdings, dass sich trotz der geringen Differenz der BHDs in Saint Germain mit 49 m<sup>2</sup>/ha eine fast um 2 Drittel größere Grundfläche ergibt als in Aboun. Hierfür finden sich verschiedene Begründungen. So wurden die Stichproben mit unterschiedlichen Geräten durchgeführt. In Aboun mit einem Plättchenrelaskop, wobei die Zählbreite jeweils so gewählt wurde, dass mindestens 12 Bäume in die Probe fallen. Also einer variablen Zählbreite. Von den sich daraus ergebenden 20 Zählfaktoren sind alle bis auf einen kleiner 4. In Saint Germain kam ein Spiegelrelaskop mit der Zählbreite vier zum Einsatz. In diesem Fall ist die Zählbreite gleich dem Zählfaktor, also 4. Stellt man den Zählfaktoren die sich ergebende repräsentative Grundfläche gegenüber (Abb. 36a-b), so zeigt sich, dass kleine Zählfaktoren überwiegen kleine Grundflächen liefern, während es sich bei größeren Zählfaktoren gegenteilig verhält.

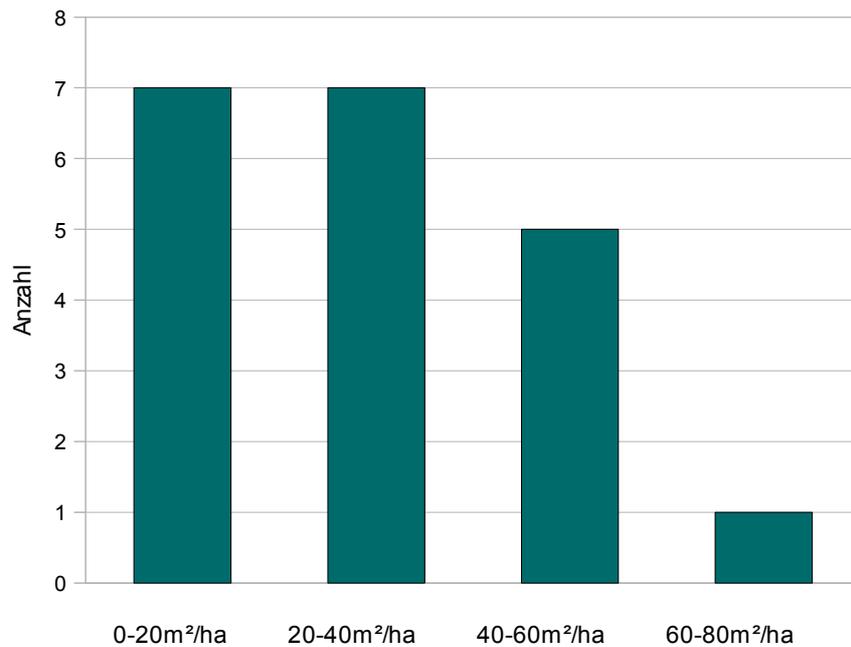


a) G rep und Zählfaktoren in Aboun

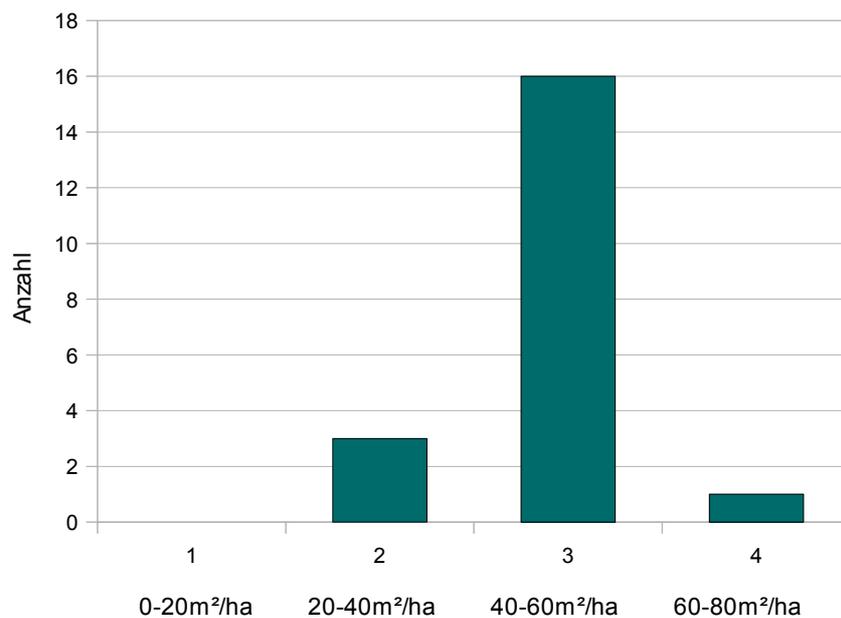


b) G rep und Zählfaktoren in Saint Germain- Mitzic

**Abb. 36a-b:** Gegenüberstellung der repräsentative Grundflächen und den Zählfaktoren in a) Aboun und b) Saint Germain- Mitzic (jeweils 20 Stichproben)



a) Aboun



b) Saint Germain- Mitzic

**Abb.37a-b:** Häufigkeitsverteilung der repräsentativen Grundflächen in a) Aboun und b) Saint Germain. Mitzic (Klassenbreite: 20 m²/ha)

Die Häufigkeitsverteilung bei der die Grundflächen in 4 jeweils 20 m²/ha breite Klassen unterteilt wurden, zeigt nochmals deutlich den größeren Anteil an kleineren Grundflächen beruhend auf großteils kleinen Zählfaktoren in Aboun. In Saint Germain liegt der größte

Teil der sich mit einem Zählerfaktor von 4 ergebenden Grundflächen zwischen 40 und 60 m<sup>2</sup>/ha. Dies könnte den wesentlich größeren Mittelwert für die Grundfläche in Saint Germain erklären.

Allerdings, betrachtet man die Bestandesdichte, so ergibt sich für Aboun ein SDI- Stand Density Index nach Reineke (1933) von 680 während der SDI in Saint Germain 1030 beträgt. Demnach ist Saint Germain wesentlich dichter bestockt als Aboun, womit sich ebenfalls eine größere mittlere Grundfläche erklären lässt. Im Zusammenhang mit dem SDI ist zu bemerken, dass es in Aboun viele kleine bis mittelgroße Senken gibt, die sich in der Regenzeit zu Seen wandeln. Selbst in der Trockenzeit ist der Boden an diesen Stellen moorastartig, weshalb hier keine Bäume vor zu finden sind. Des weiteren ist die Nutzungsgeschichte dieses Gebietes zu berücksichtigen. Wurde es doch lange Zeit von Asiaten exploitiert, welche vor Ort dafür bekannt sind, keine Rücksicht auf Mindestdurchmesser zu nehmen und aufgrund dessen, den Wald in Aboun degradiert haben.

In weiterer Folge resultiert aus der großen Grundfläche und der hohen Stammzahl in Saint Germain mit 710 Vfm/ha ein deutlich größerer Vorrat, wodurch sich auch ein um mehr als die Hälfte größerer Kohlenstoffgehalt pro Hektar ergibt, als in Aboun.

Betrachtet man den Kohlenstoffgehalts eines Festmeters, so ergeben sich mit 262 kg für Aboun und mit 273 kg in Saint Germain annähernd gleiche Werte. Die Differenz ist auf unterschiedliche Baumarten und deren Holzdichten sowie unterschiedliche Artenanteile zurückzuführen.

### **3.6.1.1 t-Test**

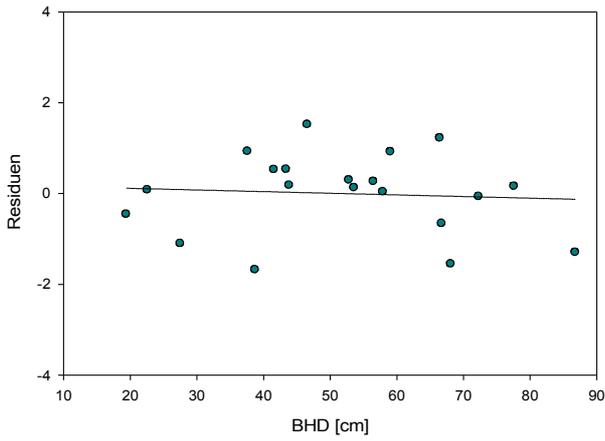
Um etwaige Unterschiede zwischen Aboun mit Saint Germain bezüglich des mittleren BHDs, der mittleren Höhe, der repräsentativen Stammzahl, Grundfläche, des repräsentativen Volumens und dem Kohlenstoffgehalt pro Hektar fest zustellen, wurde auch ein t- Test angewendet. Bei einer zweiseitigen Fragestellung, 38 Freiheitsgraden und einer Irrtumswahrscheinlichkeit ergibt sich ein Tabellenwert der t- Verteilung von 2,0246. Als Ergebnis des Tests zeigt sich ein signifikanter Unterschied in der repräsentativen Grundfläche, des repräsentativen Volumens und dem Kohlenstoffgehalt.

**Tab: 53:** t-Test für den Vergleich von Aboun und Saint Germain bezüglich des mittleren BHDs, der mittleren Höhe, der repräsentativen Stammzahl, Grundfläche, des repräsentativen Volumens und dem Kohlenstoffgehalt pro Hektar (zweiseitige Fragestellung, Freiheitsgrade FG=38 und Irrtumswahrscheinlichkeit  $\alpha=0,05$ )

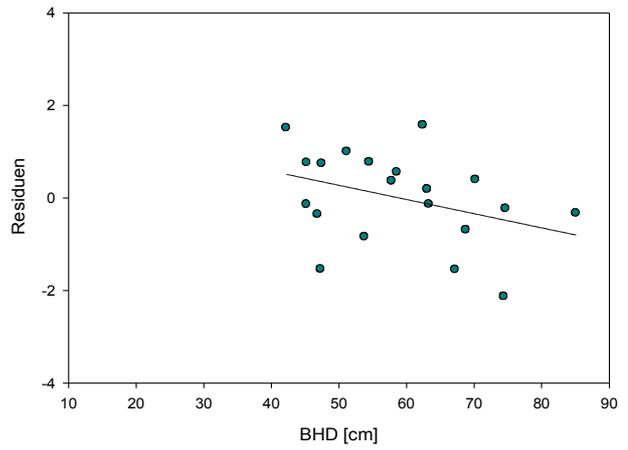
	$t_{FG=38, \alpha=0,05, \text{zweiseitig}} = 2,0246$	
BHD [cm]	t- Wert	-1,44
	P	0,16
	FG	38
Höhe [m]	t- Wert	-0,52
	P	0,61
	FG	38
N rep/ha	t- Wert	-0,52
	P	0,60
	FG	38
G rep [m <sup>2</sup> /ha]	t- Wert	-4,80
	P	0,00
	FG	38
V rep [Vfm/ha]	t- Wert	-4,23
	P	0,00
	FG	38
C [t/ha]	t- Wert	4,64
	P	0,00
	FG	38

### 3.6.2 Vergleich der Einflüsse auf das ermittelte Volumen

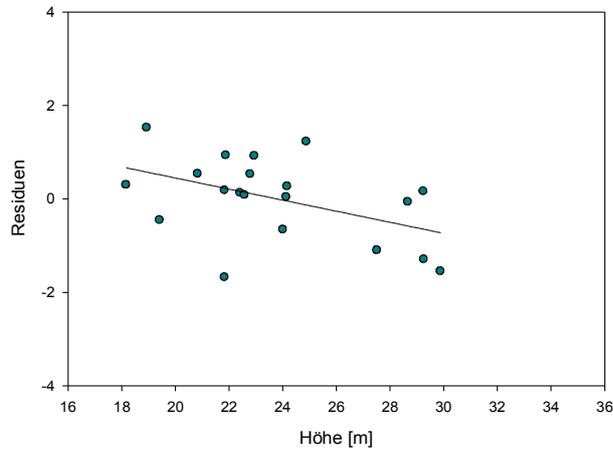
Um die Residuen von Aboun mit denen von Saint Germain vergleichbar zu machen, wurde in Aboun die Unterteilung in Straten wieder aufgehoben. Die folgenden Abbildungen zeigen den Vergleich der Residuen von jeweils insgesamt 20 Winkelzählproben in Aboun und Saint Germain gegenübergestellt dem mittleren BHD, der mittleren Baumhöhe und der Seehöhe der einzelnen Stichprobenpunkte.



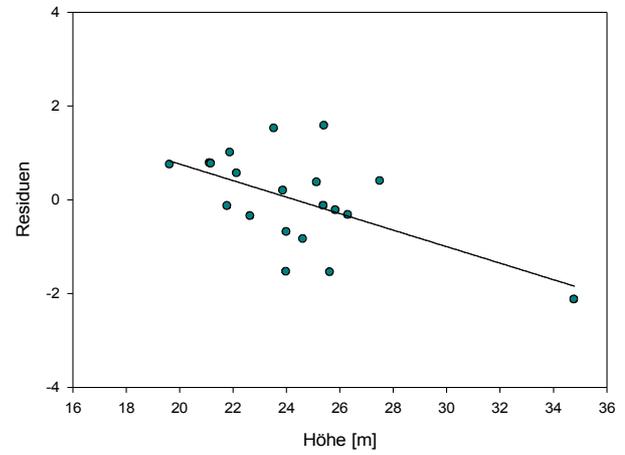
a) Residuen- BHD, Aboun



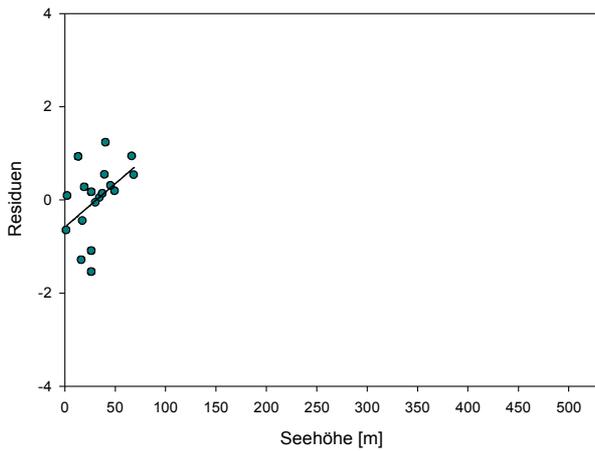
b) Residuen- BHD, Saint Germain



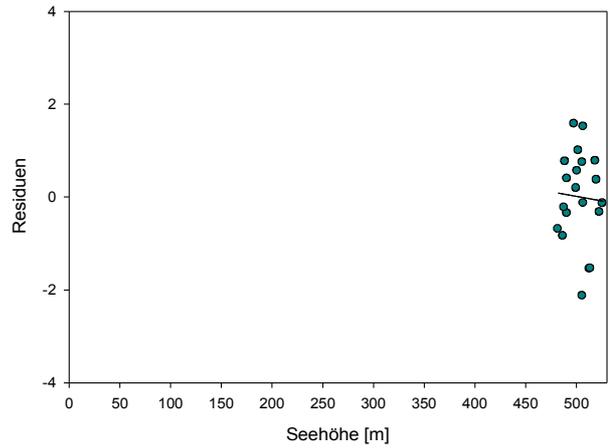
c) Residuen- Höhe, Aboun



d) Residuen- Höhe, Saint Germain



e) Residuen- Seehöhe, Aboun



f) Residuen- Seehöhe, Saint Germain

**Abb. 38a-f:** Gegenüberstellung der Residuen des Volumens von 20 Winkelzählproben in Aboun und Saint Germain- Mitzic mit dem mittleren BHD, der mittleren Baumhöhe und der

Seehöhe der einzelnen Stichprobenpunkte

**Tab. 54:** Koeffizienten der linearen Regressionen der Gegenüberstellung der Residuen von Aboun und Saint Germain- Mitzic bezüglich dem mittleren BHD, der mittleren Höhe, und den Seehöhen der Stichprobenpunkte (Koeffizienten, Wahrscheinlichkeit der Koeffizienten und Bestimmtheitsmaß)

Aboun					
	a	P	b	P	r <sup>2</sup>
BHD	-0,0036	0,7583	0,1875	0,7708	0,0054
Höhe	-0,1185	0,3776	2,8179	0,0394	0,2187
Seehöhe	0,0186	0,0567	-0,5826	0,0985	0,2087

Saint Germain- Mitzic					
	a	P	b	P	r <sup>2</sup>
BHD	-0,0307	0,1138	1,8088	0,1203	0,1331
Höhe	-0,1762	0,0099	4,2860	0,0104	0,3161
Seehöhe	-0,0039	0,8319	1,9718	0,8319	0,0026

Vergleicht man die Residuen des Volumens der beiden Untersuchungsgebiete, so ist zu erkennen, dass sowohl in Aboun als auch in Saint Germain für die Höhe ein Trend vorliegt. In Saint Germain ist der Trend jedoch stärker ausgeprägt und kann durch einen einzigen großen Residuenwert erklärt werden, welcher die Regression beeinflusst. Das Bestimmtheitsmaß der Regression ist sowohl für Aboun als auch für Saint Germain relativ klein.

### 3.6.3 Vergleich der Boden- und der Streuanalyse

#### 3.6.3.1 Streu

Vergleicht man die Streu der beiden Untersuchungsgebiete, so zeigt sich, dass sowohl der Kohlenstoffgehalt als auch der Stickstoffgehalt in Saint Germain ein wenig höher ist als in Aboun. Allerdings hat die Streu keine allzu große Aussagekraft, da der Gehalt an Kohlenstoff und Stickstoff auch von der Menge abhängt, die in die Probe fällt. So kann die Streu leicht vom Wind und von Tieren vertragen werden, wodurch in Muldenlagen mehr Streu vorzufinden ist, als auf Kuppen.

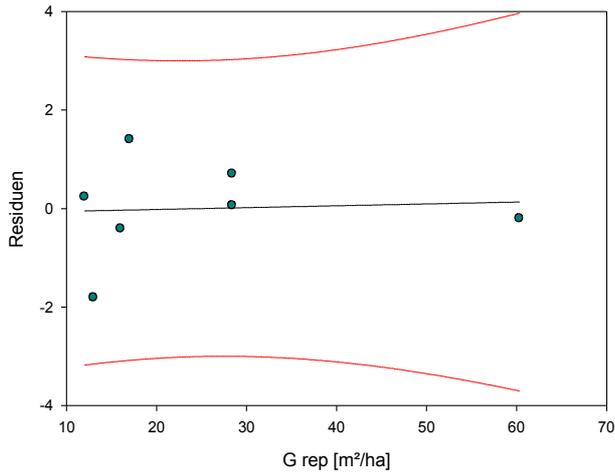
**Tab. 55:** Gegenüberstellung der Analyseergebnisse der Streuproben von Aboun und Saint Germain- Mitzic (Mittelwert, Minimum, Median, Maximum, Standardabweichung und Standardfehler)

		<b>Aboun</b>	<b>Saint Germain</b>
		<b>C [t/ha]</b>	<b>C [t/ha]</b>
	<i>Mittel</i>	1,8	2,0
	<i>Min</i>	1,0	0,9
	<i>Median</i>	1,7	1,8
	<i>Max</i>	2,7	4,5
	Standardabweichung	± 0,5	± 0,9
	Standardfehler	± 0,2	± 0,2
		<b>N [t/ha]</b>	<b>N [t/ha]</b>
	<i>Mittel</i>	0,05	0,08
	<i>Min</i>	0,03	0,04
	<i>Median</i>	0,05	0,07
	<i>Max</i>	0,09	0,20
	Standardabweichung	± 0,02	± 0,03
	Standardfehler	± 0,01	± 0,01

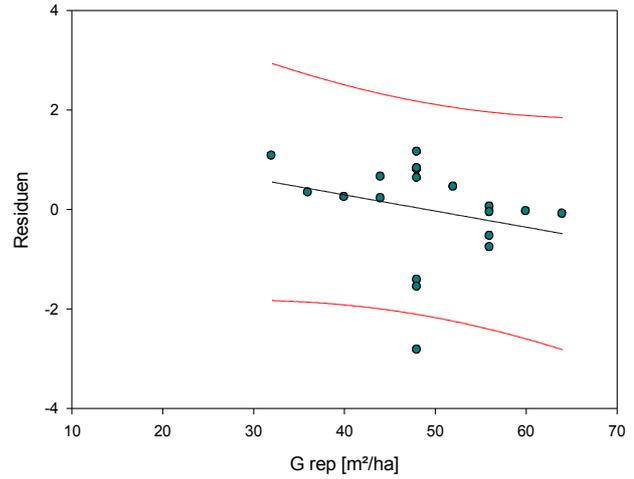
### 3.6.3.1.1 Vergleich der Einflüsse auf den Kohlenstoff- und Stickstoffgehalt der Streu

#### 3.6.3.1.1.1 Kohlenstoff

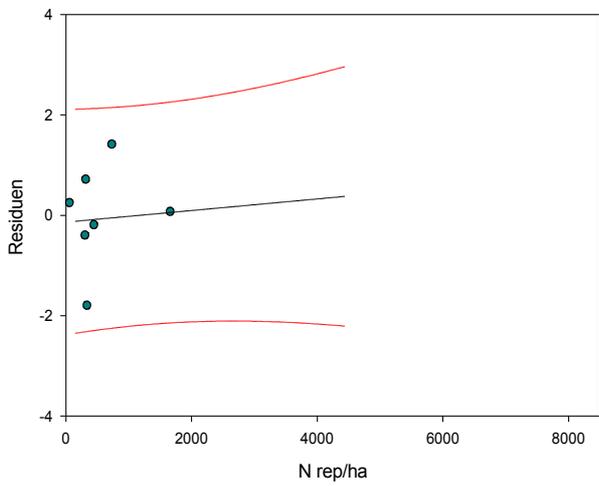
Betrachtet man die standardisierten Residuen des Kohlenstoffs von Aboun und Saint Germain, so zeigt sich in beiden Fällen kein direkter Einfluss der Grundfläche, der Stammzahl und dem Volumen auf die Streu. Dies hängt mit der Tatsache zusammen, dass die Streu leicht vertragen und vom Regen weggespült werden kann und somit die Auswirkung dieser Faktoren nur schwer gezeigt werden kann.



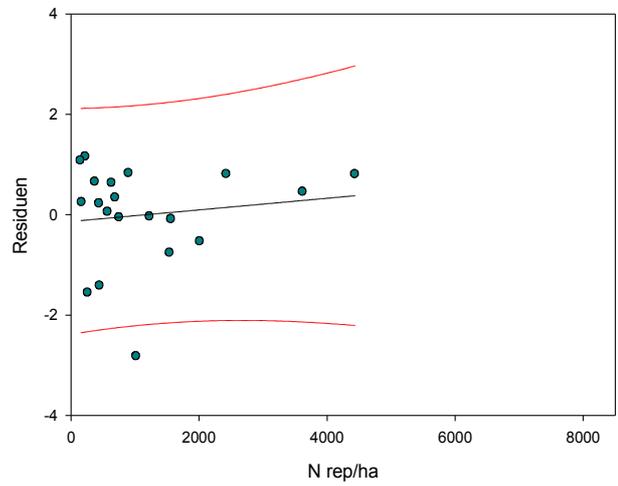
a) Residuen C- G rep, Abou



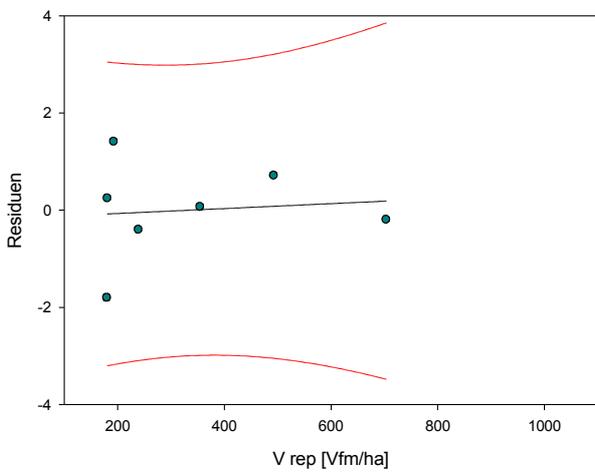
b) Residuen C- G rep, Saint Germain



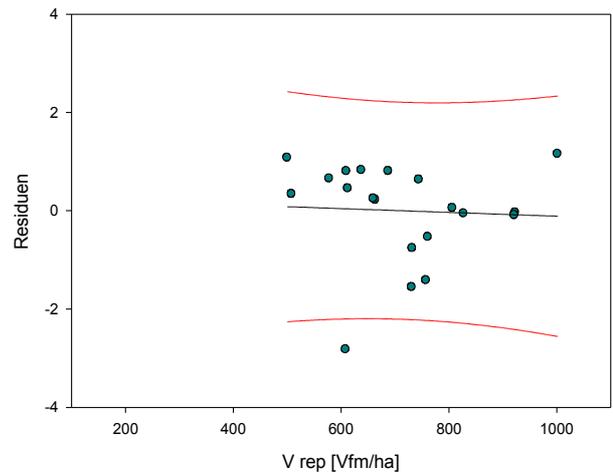
c) Residuen C- N rep, Abou



d) Residuen C- N rep, Saint Germain



e) Residuen C- V rep, Abou



f) Residuen C- V rep, Saint Germain

**Abb. 39a-f:** Standardisierte Residuen des Kohlenstoffgehalts der Streu gegenübergestellt

der repräsentativen Grundfläche, Stammzahl und dem Volumen der einzelnen Stichprobenpunkte in Aboun und Saint Germain- Mitzic (lineare Regression und Bereich in dem 95% der Werte vorhergesagt werden)

**Tab. 56:** Koeffizienten und deren Wahrscheinlichkeit sowie das Bestimmtheitsmaß der linearen Regression der standardisierten Residuen des Kohlenstoffgehalts der Streu in Aboun und Saint Germain. Mitzic

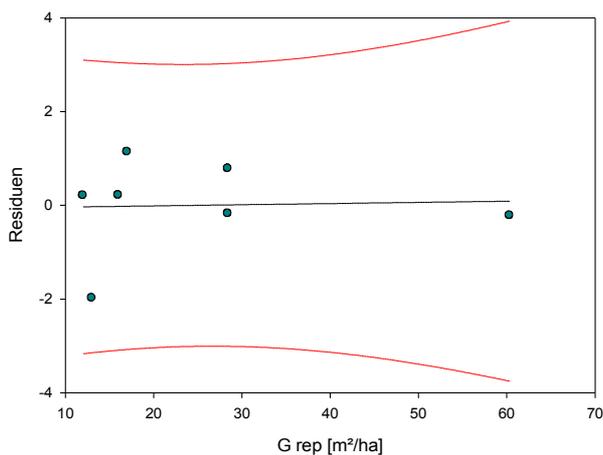
Aboun					
	a	P	b	P	r <sup>2</sup>
G rep	0,0037	0,8923	-0,0937	0,9087	0,0040
N rep	0,0001	0,5708	-0,1359	0,6830	0,0182
V rep	0,0005	0,8294	-0,1700	0,8502	0,0102

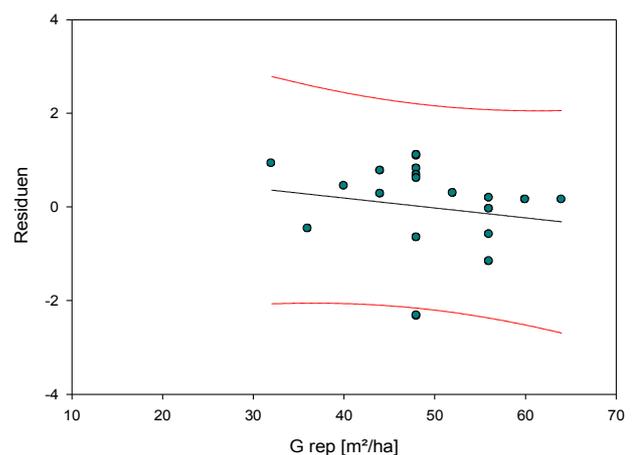
Saint Germain					
	a	P	b	P	r <sup>2</sup>
G rep	-0,0325	0,2833	1,5902	0,2888	0,0636
N rep	0,0001	0,5708	-0,1359	0,6830	0,0182
V rep	-0,0004	0,8267	0,2761	0,8295	0,0027

### 3.6.3.1.1.2 Stickstoff

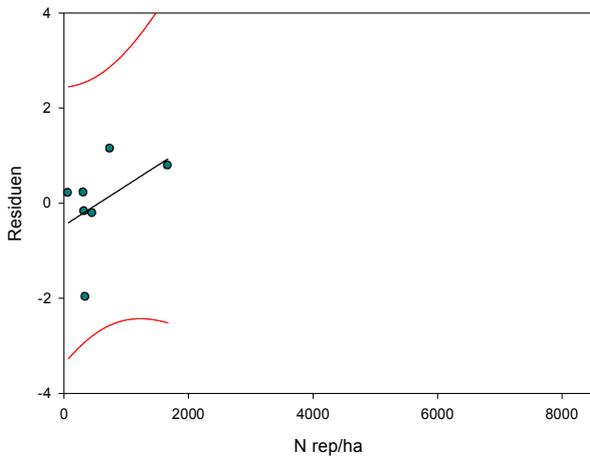
Das gleiche gilt auch für den Stickstoffgehalt der Streu. Hier können ebenfalls keine Auswirkungen nachgewiesen werden.



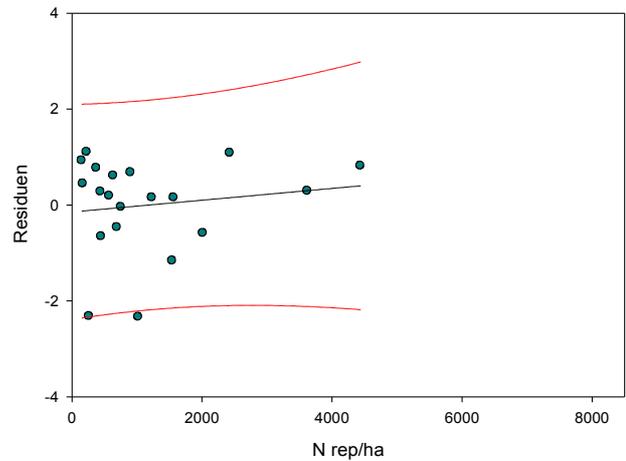
a) Residuen N- G rep, Aboun



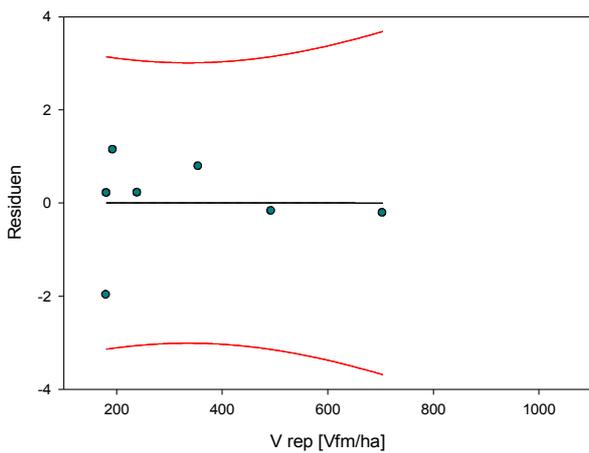
b) Residuen N- Grep, Saint Germain



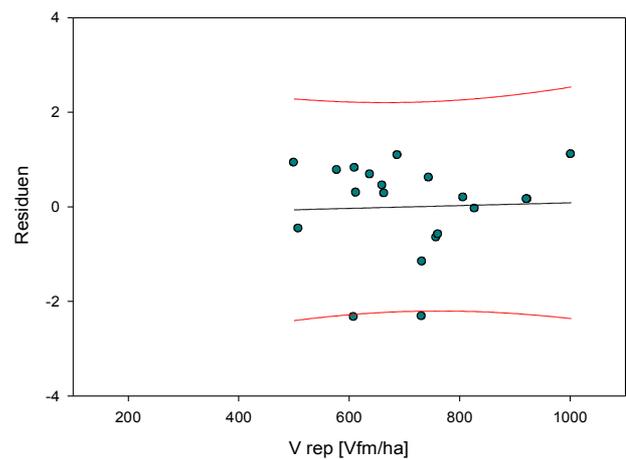
c) Residuen N- N rep, Aboun



d) Residuen N- N rep, Saint Germain



e) Residuen N- V rep, Aboun



f) Residuen N- V rep, Saint Germain

**Abb. 40a-f:** Standardisierte Residuen des Stickstoffgehalts der Streu gegenübergestellt der repräsentativen Grundfläche, Stammzahl und dem Volumen der einzelnen Stichprobenpunkte in Aboun und Saint Germain- Mitzic (lineare Regression und Bereich in dem 95% der Werte vorhergesagt werden)

**Tab. 57:** Koeffizienten und deren Wahrscheinlichkeit sowie das Bestimmtheitsmaß der linearen Regression der standardisierten Residuen des Stickstoffgehalts der Streu in Aboun und Saint Germain. Mitzić

<b>Aboun</b>					
	a	P	b	P	r <sup>2</sup>
G rep	0,0025	0,9276	-0,0630	0,9386	0,0018
N rep	0,0008	0,3170	-0,4718	0,4407	0,1981
V rep	0,0000	0,9988	0,0012	0,9989	0,0000

<b>Saint Germain</b>					
	a	P	b	P	r <sup>2</sup>
G rep	-0,0212	0,4883	1,0369	0,4934	0,0271
N rep	0,0001	0,5460	-0,1446	0,6635	0,0206
V rep	0,0003	0,8677	-0,2102	0,8699	0,0016

### 3.6.3.2 Boden

In den nachstehenden Tabellen 58 und 59 sind die Ergebnisse der Bodenproben des Ober- und des Unterbodens von Aboun und Saint Germain- Mitzic gegenübergestellt.

**Tab. 58:** Vergleich der Analyseergebnisse der Bodenproben von Aboun und Saint Germain- Mitzic (mittlere Probertiefe; Bodendichte; Mittelwert, Minimum, Median, Maximum und Standardabweichung des Kohlenstoff- und Stickstoffgehaltes)

		<b>Aboun</b>	<b>Saint Germain</b>
<b>Oberboden</b>		<b><i>mittlere Probertiefe [cm]</i></b>	<b><i>mittlere Probertiefe [cm]</i></b>
		4,18	5,46
		<b><i>Bodendichte [kg/m<sup>3</sup>]</i></b>	<b><i>Bodendichte [kg/m<sup>3</sup>]</i></b>
		992,2	952,8
		<b><i>C Oberboden [t/ha]</i></b>	<b><i>C Oberboden [t/ha]</i></b>
	<i>Mittel</i>	23,9	35,5
	<i>Min</i>	2,6	1,4
	<i>Median</i>	16,1	27,4
	<i>Max</i>	140,0	143,4
	<i>Standardabweichung</i>	± 30,8	± 28,6
	<b><i>N Oberboden [t/ha]</i></b>	<b><i>N Oberboden [t/ha]</i></b>	
<i>Mittel</i>	1,2	2,4	
<i>Min</i>	0,1	0,1	
<i>Median</i>	0,9	1,9	
<i>Max</i>	7,3	7,6	
<i>Standardabweichung</i>	± 1,5	± 1,7	

<b>Unterboden</b>		<b>mittlere Probentiefe [cm]</b>	<b>mittlere Probentiefe [cm]</b>
		29,95	56,11
		<b>Bodendichte [kg/m<sup>3</sup>]</b>	<b>Bodendichte [kg/m<sup>3</sup>]</b>
		1070,5	1026,1
		<b>C Unterboden [t/ha]</b>	<b>C Unterboden [t/ha]</b>
	<i>Mittel</i>	64,7	113,7
	<i>Min</i>	33,0	39,4
	<i>Median</i>	53,5	110,7
	<i>Max</i>	225,1	196,6
	<i>Standardabweichung</i>	± 44,8	± 36,5
		<b>N Unterboden [t/ha]</b>	<b>N Unterboden [t/ha]</b>
	<i>Mittel</i>	4,5	9,3
	<i>Min</i>	2,5	3,3
	<i>Median</i>	4,1	9,0
	<i>Max</i>	6,9	14,4
	<i>Standardabweichung</i>	± 1,2	± 2,6

Es zeigt sich dass der Ober- als auch der Unterboden in Aboun eine größere Dichte aufweist, welche auf einen hohen Sandgehalt zurückzuführen ist. Dies rührt daher, dass Aboun am Fluss Noya liegt, welcher den Sand liefert und mittels seiner vielen Nebenarme über die ganze Region verteilt. Aufgrund des hohen Sandgehaltes und der starken Niederschläge, welche zu einer Auswaschung des Bodens führen, sind die Kohlenstoff- und die Stickstoffgehalte des Ober- und des Unterbodens geringer als in Saint Germain.

Betrachtet man die Analyseergebnisse des Kohlenstoffgehaltes, so ist es sowohl für Aboun als auch für Saint Germain ratsam, den Median heranzuziehen, da dieser im Ober- sowie im Unterboden deutlich unterhalb des Mittelwerts liegt.

Bezüglich des Stickstoffs ist Differenz zwischen Mittelwert und Median geringer.

Gesamt sind in Aboun bis 1 m Tiefe rund 89 Tonnen Kohlenstoff und 6 Tonnen Stickstoff pro Hektar gebunden. In Saint Germain hingegen 150 Tonnen Kohlenstoff und 12 Tonnen Stickstoff pro Hektar (Tab. 59). Hierdurch ergibt sich, dass der Boden in Saint Germain deutlich nährstoffreicher ist, als in Aboun. Auch ist der Boden in Saint Germain wesentlich

tiefgründiger. So stößt man in Aboun im Durchschnitt bereits nach 60 cm auf Laterit, während in Saint Germain- Mitzic der Schlagbohrer oftmals zu seiner vollen Länge eingeschlagen werden konnte und kein einziges mal auf Laterit gestoßen wurde.

**Tab. 59:** Kohlenstoff- und Stickstoffgehalt gesamt bis 1 m Tiefe in Aboun und Saint Germain- Mitzic (Mittelwert, Standardabweichung und Standardfehler)

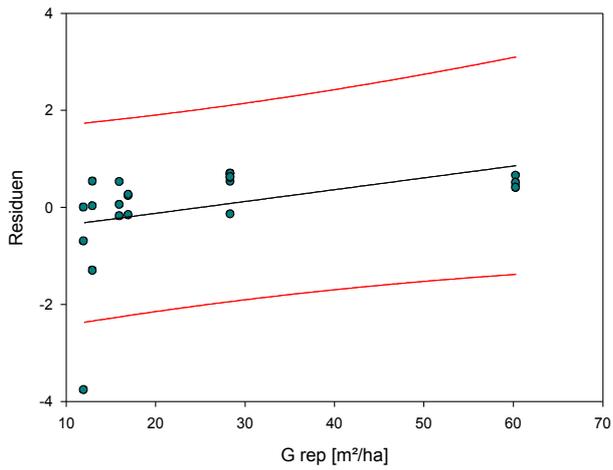
	<b>Aboun</b>	<b>Saint Germain</b>
	<b><i>C gesamt bis 1 m Tiefe [t/ha]</i></b>	<b><i>C gesamt bis 1 m Tiefe [t/ha]</i></b>
	88,7	149,3
Standardabweichung	± 51,9	± 51,1
Standardfehler	± 11,3	± 4,7
	<b><i>N gesamt bis 1 m Tiefe [t/ha]</i></b>	<b><i>N gesamt bis 1 m Tiefe [t/ha]</i></b>
	5,6	11,7
Standardabweichung	± 1,8	± 4,1
Standardfehler	± 0,4	± 0,4

### 3.6.3.2.1 Vergleich der Einflüsse auf den Kohlenstoff- und Stickstoffgehalts des Bodens

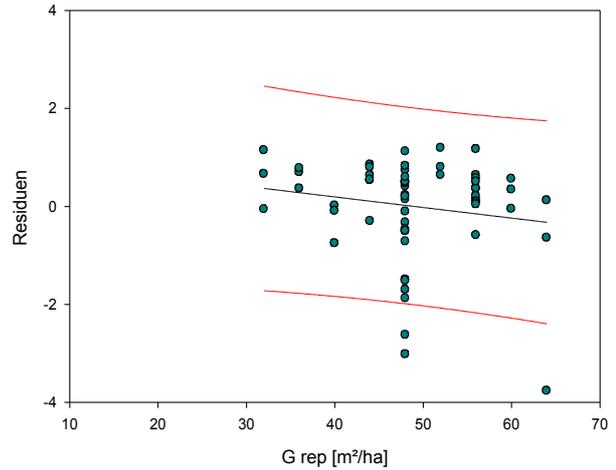
#### 3.6.3.2.1.1 Kohlenstoff

##### 3.6.3.2.1.1.1 Oberboden

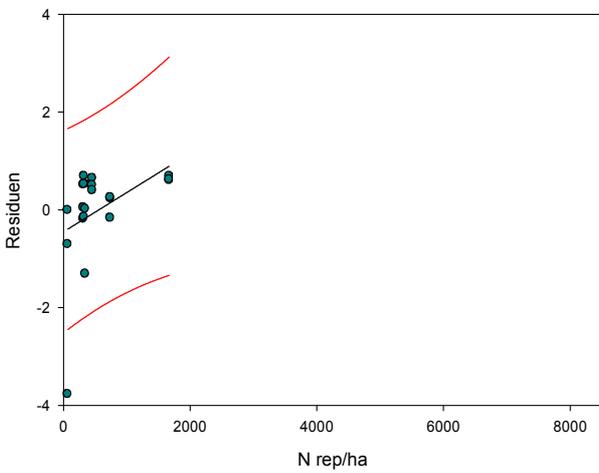
Die Graphik 41a- f zeigt die Gegenüberstellung der standardisierten Residuen des Kohlenstoffs im Oberboden von Aboun und Saint Germain- Mitzic.



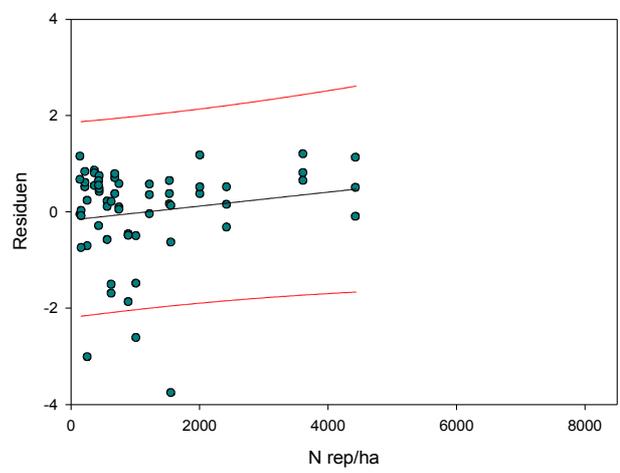
a) Residuen C- G rep, Aboun



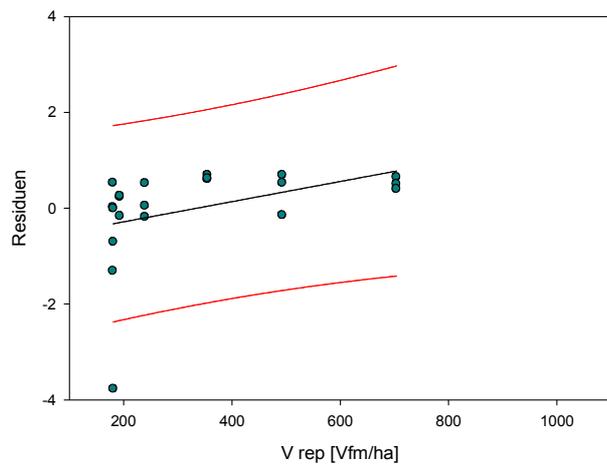
b) Residuen C- G rep, Saint Germain



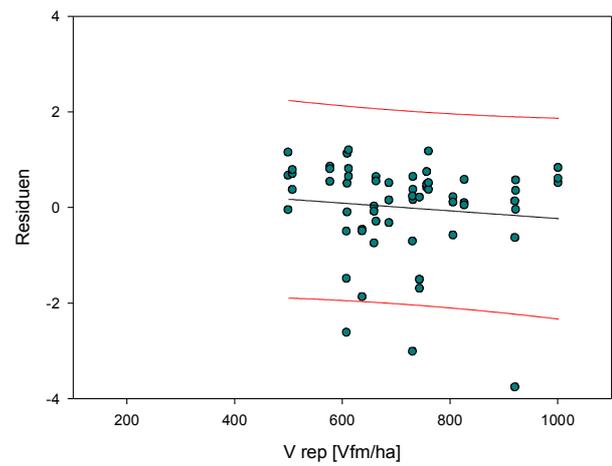
c) Residuen C- N rep, Aboun



d) Residuen C- N rep, Saint Germain



e) Residuen C- V rep, Aboun



f) Residuen C- V rep, Saint Germain

**Abb. 41a-f:** Gegenüberstellung der standardisierten Residuen des Kohlenstoffs im Oberboden von Aboun und Saint Germain (bezogen auf die repräsentative Grundfläche,

Stammzahl und dem Volumen)

**Tab. 60:** Koeffizienten und deren Wahrscheinlichkeit sowie das Bestimmtheitsmaß der linearen Regression der standardisierten Residuen des Kohlenstoffgehalts im Oberboden von Aboun und Saint Germain. Mitzić

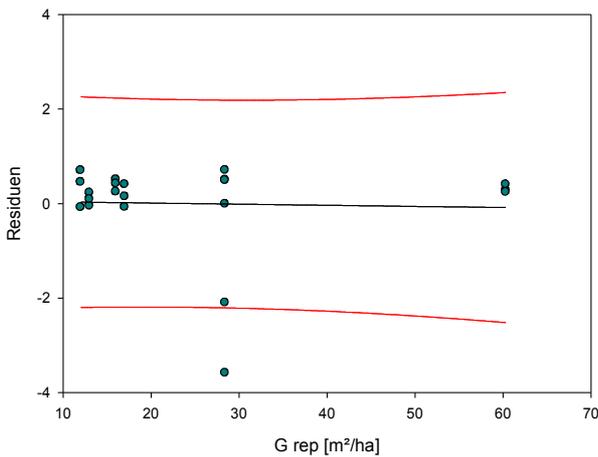
Aboun					
	a	P	b	P	r <sup>2</sup>
G rep	0,0244	0,0785	-0,6097	0,1318	0,1540
N rep	0,0008	0,0695	-0,4510	0,1638	0,1629
V rep	0,0021	0,0740	-0,7060	0,1140	0,1584

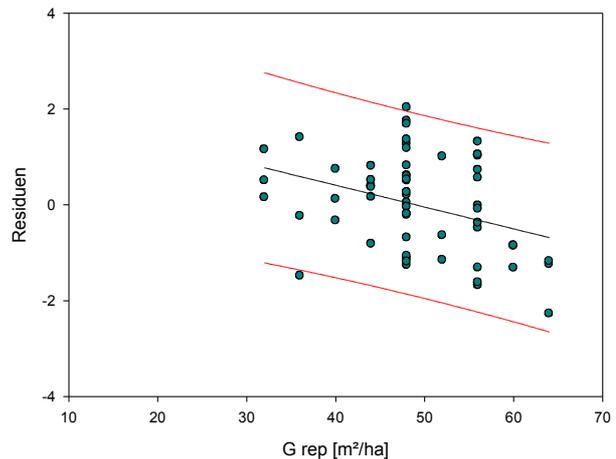
Saint Germain					
	a	P	b	P	r <sup>2</sup>
G rep	-0,0216	0,2073	1,0593	0,2126	0,0273
N rep	0,0001	0,2045	-0,1704	0,3601	0,0276
V rep	0,0008	0,4143	0,5767	0,4221	0,0115

Die Regressionen weisen für Aboun größere Bestimmtheitsmaße auf als in Saint Germain. Allerdings liegt in keinem der Fälle ein Trend vor. Die beweisen auch die nicht signifikanten Steigungen.

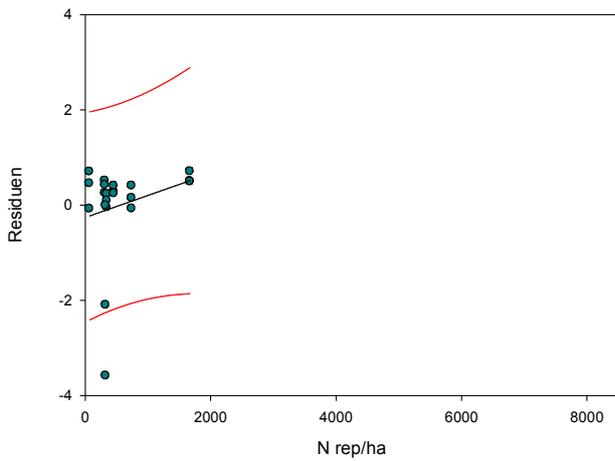
### 3.6.3.2.1.1.2 Unterboden



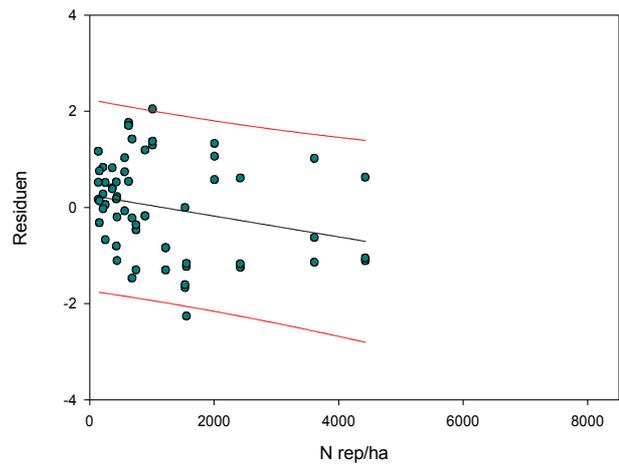
a) Residuen C- G rep, Aboun



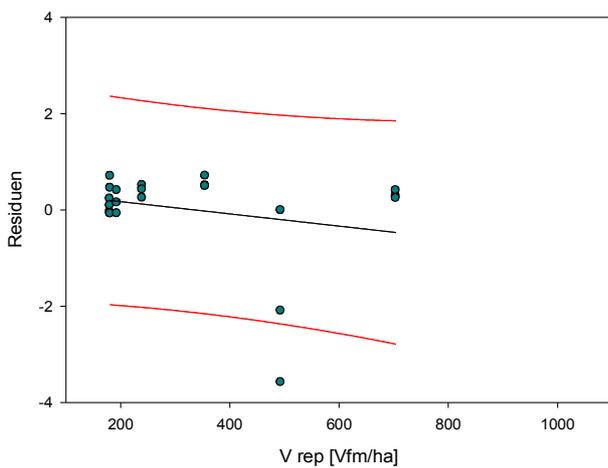
b) Residuen C- G rep, Saint Germain



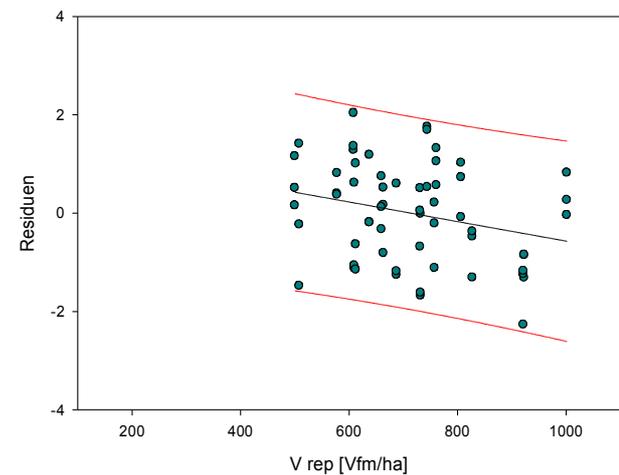
c) Residuen C- N rep, Aboun



d) Residuen C- N rep, Saint Germain



e) Residuen C- V rep, Aboun



f) Residuen C- V rep, Saint Germain

**Abb. 42a-f:** Gegenüberstellung der standardisierten Residuen des Kohlenstoffs im Unterboden von Aboun und Saint Germain (bezogen auf die repräsentative Grundfläche, Stammzahl und dem Volumen)

**Tab. 61:** Koeffizienten und deren Wahrscheinlichkeit sowie das Bestimmtheitsmaß der linearen Regression der standardisierten Residuen des Kohlenstoffgehalts im Unterboden von Aboun und Saint Germain. Mitzić

Aboun					
	a	P	b	P	r <sup>2</sup>
G rep	-0,0024	0,8697	0,0592	0,8895	0,0015
N rep	0,0005	0,3107	-0,2597	0,4425	0,0540
V rep	-0,0013	0,2940	0,4263	0,3363	0,0578

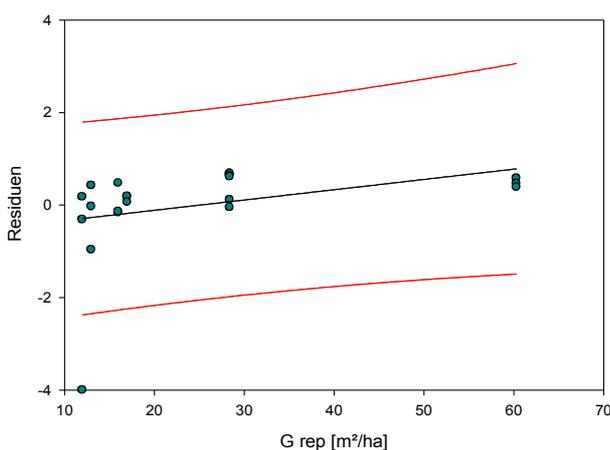
  

Saint Germain					
	a	P	b	P	r <sup>2</sup>
G rep	-0,0456	0,0064	2,2320	0,0070	0,1211
N rep	-0,0002	0,0561	0,2542	0,1665	0,0615
V rep	-0,0020	0,0412	1,4207	0,0445	0,0699

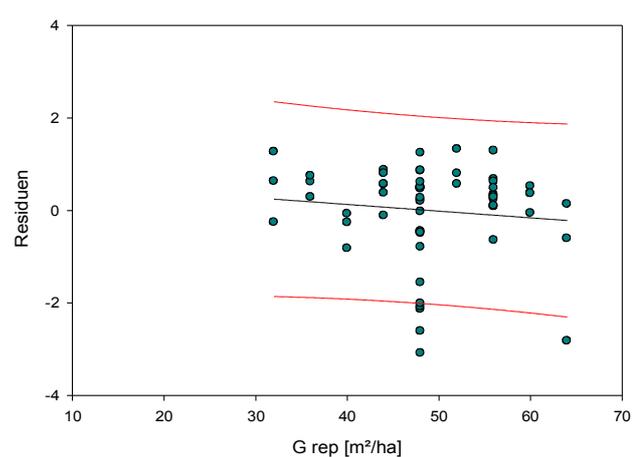
Im Vergleich zu Aboun weisen die Steigungskoeffizienten in Saint Germain zwar eine Signifikanz auf, jedoch üben die Grundfläche, die Stammzahl sowie das Volumen in beiden Untersuchungsgebieten keinen Einfluss auf den Kohlenstoffgehalt des Unterbodens aus.

### 3.6.3.2.1.2 Stickstoff

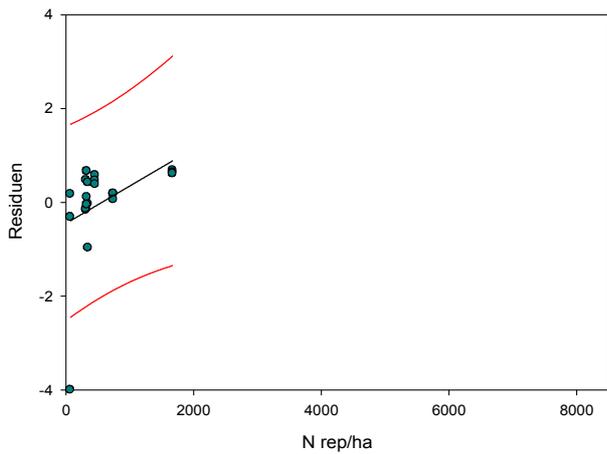
#### 3.6.3.2.1.2.1 Oberboden



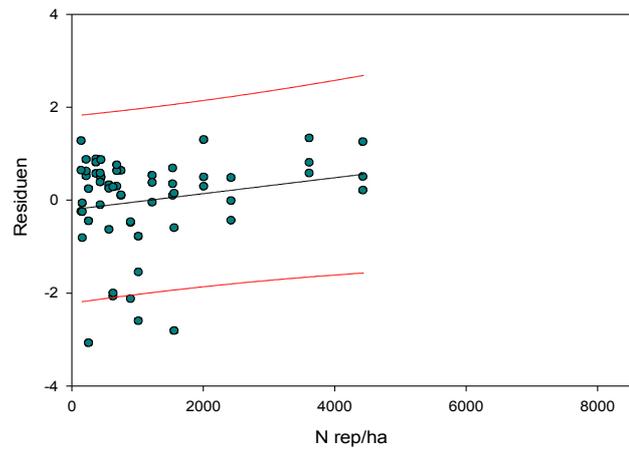
a) Residuen N- G rep, Aboun



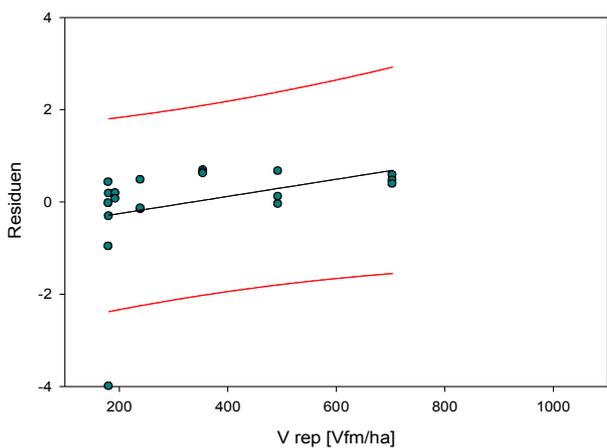
b) Residuen N- G rep, Saint Germain



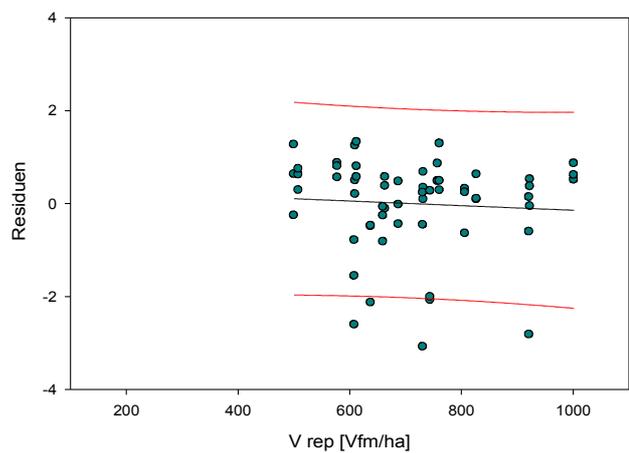
c) Residuen N- N rep, Aboun



d) Residuen N- N rep, Saint Germain



e) Residuen N- V rep, Aboun



f) Residuen N- V rep, Saint Germain

**Abb. 43a-f:** Gegenüberstellung der standardisierten Residuen des Stickstoffs im Oberboden von Aboun und Saint Germain (bezogen auf die repräsentative Grundfläche, Stammzahl und dem Volumen)

**Tab. 62:** Koeffizienten und deren Wahrscheinlichkeit sowie das Bestimmtheitsmaß der linearen Regression der standardisierten Residuen des Stickstoffgehalts im Oberboden von Aboun und Saint Germain. Mitzic

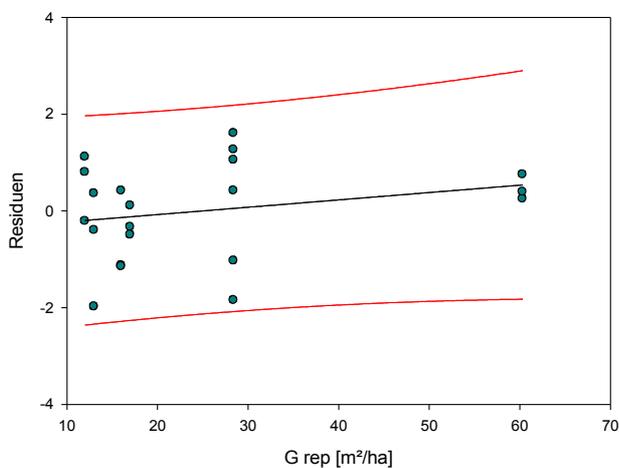
Aboun					
	a	P	b	P	r <sup>2</sup>
G rep	0,0222	0,1110	-0,5563	0,1731	0,1282
N rep	0,0008	0,0712	-0,4486	0,1664	0,1612
V rep	0,0019	0,1181	-0,6237	0,1677	0,1236

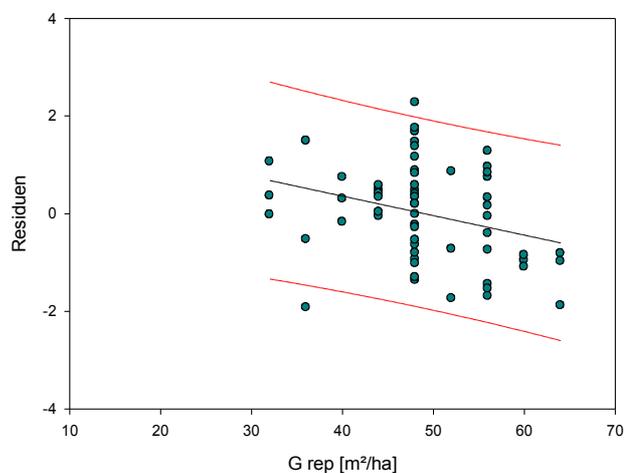
Saint Germain					
	a	P	b	P	r <sup>2</sup>
G rep	-0,0144	0,4015	0,7073	0,4070	0,0122
N rep	0,0002	0,1321	-0,2017	0,2767	0,0387
V rep	-0,0005	0,6149	0,3560	0,6208	0,0044

In beiden Untersuchungsgebieten lässt sich kein Einfluss der Grundfläche, der Stammzahl als auch dem Volumen auf den Stickstoffgehalt im Oberboden nachweisen.

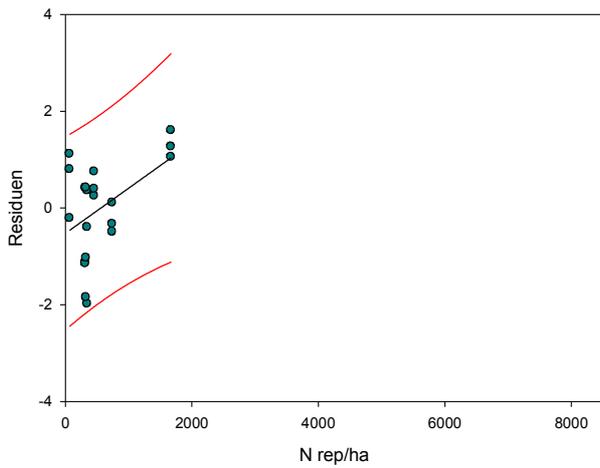
### 3.5.3.2.1.2.2 Unterboden



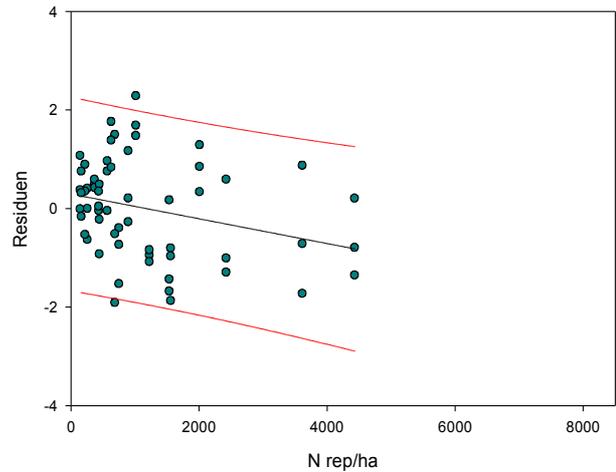
a) Residuen N- G rep, Aboun



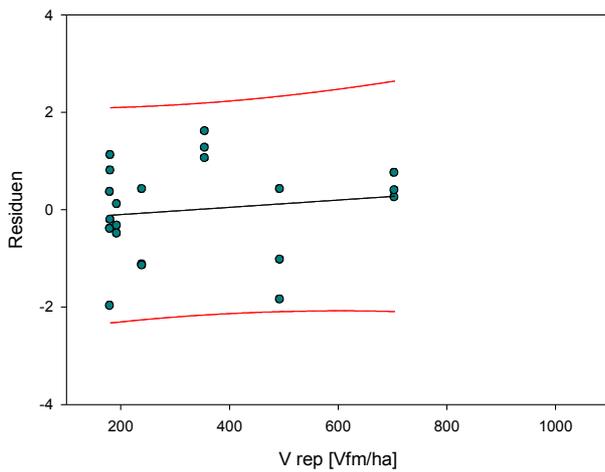
b) Residuen N- G rep, Saint Germain



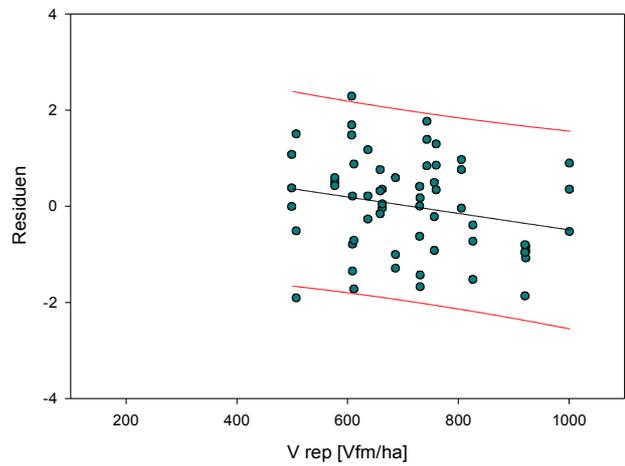
c) Residuen N- N rep, Saint Germain



d) Residuen N- N rep, Saint Germain



e) Residuen N- V rep, Aboun



f) Residuen N- V rep, Saint Germain

**Abb. 44a-f:** Gegenüberstellung der standardisierten Residuen des Stickstoffs im Unterboden von Aboun und Saint Germain (bezogen auf die repräsentative Grundfläche, Stammzahl und dem Volumen)

**Tab. 63:** Koeffizienten und deren Wahrscheinlichkeit sowie das Bestimmtheitsmaß der linearen Regression der standardisierten Residuen des Stickstoffgehalts im Unterboden von Aboun und Saint Germain- Mitzic

<b>Aboun</b>					
	a	P	b	P	r <sup>2</sup>
G rep	0,0152	0,2851	-0,3802	0,3633	0,0599
N rep	0,0009	0,0319	-0,5243	0,0972	0,2202
V rep	0,0007	0,5416	-0,2502	0,5923	0,0199

<b>Saint Germain</b>					
	a	P	b	P	r <sup>2</sup>
G rep	-0,0399	0,0178	0,1957	0,0191	0,0931
N rep	-0,0003	0,0256	0,2954	0,1050	0,0830
V rep	-0,0017	0,0802	1,2232	0,0852	0,0518

In Aboun zeigt sich bezüglich der Stammzahl eine signifikante Steigung der Regressionslinie, sodass der Stickstoffgehalt mit steigender Stammzahl im Unterboden zunimmt. In Saint Germain hingegen weist eine Signifikanz der Steigung darauf hin, dass der Stickstoffgehalt mit zunehmender Stammzahl im Unterboden abnimmt. Betrachtet man jedoch die Bestimmtheitsmaße der beiden Regressionen, so kann man nicht davon ausgehen, dass ein gesicherter Trend vorliegt. Ebenso ist in Saint Germain der Anstieg bezüglich der Grundfläche signifikant. Jedoch liegt aufgrund des sehr kleinen Bestimmtheitsmaß auch hier kein Trend vor.

## 4. Diskussion und Schlussfolgerung

Aboun und Saint Germain unterscheiden sich nicht nur geographisch, sondern auch in klimatischer Hinsicht. So können in dem um fast 500 m Seehöhe tiefer gelegenen Aboun neben einer im Schnitt um 2 C° höheren Jahresmitteltemperatur fast doppelt so hohe Niederschläge verzeichnet werden. Trotz des unterschiedlichen Standorts und des Klimas, lassen die beiden Untersuchungsgebiete bezüglich des mittleren BHDs und der Höhe keine Differenzen erkennen. Unterschiede zeigen sich allerdings in der repräsentativen Grundfläche, dem Volumen und dem Kohlenstoffgehalt pro Hektar, welche in Saint Germain höher sind.

Bezüglich der Biomasse ergibt sich für Aboun generell ein mittlerer Kohlenstoffgehalt von 120 t/ha während Saint Germain mit 190 t/ha deutlich darüber liegt. Dieser wesentlich höhere Gehalt geht mit dem größeren repräsentativen Volumen einher. Die Artenzusammensetzung sowie unterschiedliche Artenanteile unter Berücksichtigung der Holzdichte spielen in diesem Zusammenhang eine untergeordnete Rolle. Dass in Saint Germain ein wesentlich größeres Volumen vorherrscht lässt sich unter anderem auf die Bewirtschaftungsform zurückführen, welche auf dem Prinzip der Nachhaltigkeit beruht. Diese führt nicht nur zu einem größeren Vorrat, sondern bewirkt auch, dass die vorrätigen Bäume großteils von hoher Qualität sind. In Aboun hingegen wurde der Wald ohne Rücksicht auf Mindestdurchmesser über viele Jahre hinweg exploitiert. So sind jene noch vorherrschenden Bäume, mit starkem Durchmesser, von schlechter Qualität und oftmals wipfelbrüchig.

Unter der Betrachtung der mittleren Volumina erweist sich in Aboun die Unterteilung der Probepunkte in einzelne Straten, als nicht als sinnvoll. So unterscheidet sich lediglich ein Stratum signifikant von den anderen. Hinzu kommt die geringe Anzahl an Stichproben pro Stratum, welche die Interpretationstauglichkeit stark herabsetzt. Dies zeigt sich bei der ganzheitlichen Betrachtung ohne Stratifizierung, welche mit wesentlich kleineren Bestimmtheitsmaßen einhergeht.

Die aus der oberirdischen Biomasse ermittelten Kohlenstoffgehalte der beiden Untersuchungsgebiete, entsprechen in Aboun einem mittleren CO<sub>2</sub>-Äquivalent von 435t/ha und in Saint Germain einem CO<sub>2</sub>-Äquivalent von 710t/ha. Hiermit zeigt sich, dass durch die nachhaltige Bewirtschaftung das Ausmaß an CO<sub>2</sub>- Emissionen herabgesetzt werden kann.

Ein Vergleich bezüglich des Artenreichtums sowie der Artenzusammensetzung der beiden Untersuchungsgebiete ist aufgrund des geringen Anteils an identifizierten Arten in Saint Germain nicht zulässig. Dies zeigt eines von vielen Problemen auf, die sich bei der Bestimmung des Kohlenstoffgehalts in tropischen Wäldern ergeben. Aufgrund der enorm großen Artenvielfalt erweist sich die Bestimmung der Baumarten als eine wahre Herausforderung und man ist regelmäßig auf die Hilfe Dritter Personen angewiesen, welche allerdings nicht die eindeutige Identifizierung garantiert.

Vergleicht man die mittleren Tiefen der Bodenproben der beiden Untersuchungsgebiete, so zeigt sich, dass der Boden in Saint Germain wesentlich tiefgründiger ist, als in Aboun. Während sich der Schlagbohrer in Aboun maximal 60 cm tief in den Boden einschlagen lässt, stößt man in Saint Germain selbst nach der maximalen Länge des Bohrers nicht auf Laterit. Allerdings weist in Aboun sowohl der Ober- als auch der Unterboden eine höhere Dichte auf. Dies lässt sich durch den hohen Sandgehalt des Bodens in diesem Untersuchungsgebiet erklären. Der Sand wird durch den nahe gelegenen Fluss Noya angeliefert und mittels seiner vielen Nebenarme bis in, vom Fluss weit entfernte, Regionen vertragen und abgelagert.

Dass der Boden in Aboun zu einem großen Teil aus Sand besteht bezeugen auch die Analyseergebnisse des Bodens. So ergeben sich für Aboun bis 1 m Tiefe rund 89 Tonnen Kohlenstoff und 6 Tonnen Stickstoff. In Saint Germain hingegen sind im Boden bis 1 m Tiefe rund 150 Tonnen Kohlenstoff und 12 Tonnen Stickstoff gebunden. Dies führt zu der Schlussfolgerung, dass der Boden in Saint Germain ertragsreicher ist als in Aboun.

Betrachtet man den Verlauf des Kohlenstoffgehalts mit zunehmender Probentiefe, so kann weder eine signifikante Ab- noch eine Zunahme mit der Tiefe festgestellt werden. Die selbe Beobachtung gilt auch für den Stickstoff.

Ebenso kann auch nicht nachgewiesen werden, dass die Grundfläche, die Stammzahl sowie das Volumen einen Einfluss auf den Kohlenstoff- und Stickstoffgehalt des Bodens haben.

Als Ergebnis der Streuanalyse zeigt sich, dass in Aboun im Mittel rund 1,8 Tonnen Kohlenstoff und 0,05 Tonnen Stickstoff am Hektar gebunden sind. In Saint Germain sind die Gehälter etwas höher. So sind hier rund 2 Tonnen Kohlenstoff und 0,08 Tonnen Stickstoff am Hektar gebunden. Allerdings ist die Streu bezüglich der Standortsgüte wenig aussagekräftig, da sie leicht von Lebewesen und Regen vertragen werden kann. Auch auf

die Kohlen- und Stickstoffgehalt der Streu über die Grundfläche als auch die Stammzahl und der Vorrat keinen Einfluss aus.

Möchte man bereits vorangegangener Nutzungen rekonstruieren, so stößt man auf ein wahres Problem. Die Daten sind unvollständig und beruhen auf keiner einheitlichen Aufzeichnungsmethode. Oftmals fehlen sie zur Gänze. Dadurch gestaltet sich die Schaffung und Wahrung von Transparenz, welche für den Kohlenstoffhandel unabdingbar ist, als eine Herausforderung.

Zusammenfassend zeigt sich abgesehen davon, dass der Boden am Standort Saint Germain- Mitzic wesentlich tiefgründiger und ertagsreicher ist, dass das *aménagement durable*, als nachhaltige Bewirtschaftungsform, wesentlich dichter bestockte Bestände mit höherer Grundfläche bewirkt. Daraus resultiert ein größerer Vorrat und somit ein fast doppelt so hoher Kohlenstoffgehalt der oberirdischen Biomasse. Im Bezug auf den Kohlenstoffhandel erweist sich die Anwendung des *aménagement durable*, als wesentlich vorteilhafter, um einerseits höhere Erträge bei Kohlenstoffauktionen zu erzielen und andererseits größere Mengen an Kohlenstoff zu sequestrieren und CO<sub>2</sub>- Emissionen zu reduzieren.

## 5. Literaturverzeichnis

- Achard, F., Eva, H.D., Stibig, H.J., Mayaux, P., Gallego, J., Richards, T., Malingreau, J.P., 2002, Determination of deforestation rates of the world's humid tropical forests, *Science* 297, 999–1002
- Bednar, J.E., 2011, Climatic thresholds for ecosystem stability: The case of the Western Congolian lowland rainforest, Diplomarbeit am Department für Wald- und Bodenwissenschaften, BOKU- University of Natural Resources and Life Sciences Wien, Österreich, 120 p
- Bitterlich, W., 1948, Die Winkelzählprobe, *Allgemeine forst- und holzwirtschaftliche Zeitung* 58, 94-96
- Bitterlich, W., 1980, Relaskop- das Spiegel-Relaskop mit metrischer Skala und Breitenskala, Salzburg: Feinmechanische optische Betriebsges.mbH, 19 p
- Blasco, A., 2011, persönliche Auskunft am 25.8.2011 in Saint Germain- Mitzic
- Bonan, G.B., 2008, Forests and climate change, forcings, feedbacks, and the climate benefits of forests, *Science* 320, 1444–1449
- Brown, S., 1997, A primer for estimating biomass and biomass changes of tropical forests, FAO Forestry Paper 134, available from: <http://www.fao.org/docrep/w4095e/w4095e00.htm>, [27.6.2010]
- Brown, S., Gillespie, A.J.R., Lugo, A.E., 1989, Biomass estimation methods for tropical forests with applications to forest inventory data, *Forest science* 35: 881-902
- Brown, S., Lugo, A.E., 1984, Biomass of tropical forests, a new estimate based on forest volumes, *Science* 223, 1290–1293
- Bustier, B., 2010, persönliche Auskunft am 1.9.2010 in Aboun, Gabun
- Bustier, B., 2011a, Aboun- Gabun, persönliche Auskunft am 5.1.2011 in Mitzic, Gabun
- Bustier, B., 2011b, Saint Germain- Mitzic- Gabon, persönliche Auskunft am 5.1.2011 in Mitzic, Gabun
- Canadell, J.G., Raupach, M.R., 2008, *Managing Forests for Climate Change Mitigation*,

Science 320, 1456–1457

Cannell, M.G.R., 1984, Woody Biomass of Forest Stands, Forest Ecology Manage 8: 299-312, Amsterdam: Elsevier science Publisher B.V.

Climate and Temperature, 2010, verfügbar in: <http://www.climatetemp.info/gabon/>, [3.12.2010]

Dahms, K.G., 1999, Afrikanische Exporthölzer, 3.Aufl., Stuttgart: DRW- Verlag, 358 p

Detwiler, R.P., Hall, C.A.S., 1988, Tropical forests and the carbon cycle. Science 239, 42-47

Encyclopedia of the Nations, 2010, verfügbar in: <http://www.nationsencyclopedia.com/Africa/Gabon-CLIMATE.html>, [3.12.2010]

European Energy Exchange-EEX AG, 2011, verfügbar in: <http://www.eex.com/de/Marktdaten/Handelsdaten/Emissionsrechte/EU%20Emission%20Allowances%20|%20Spotmarkt/EU%20Emission%20Allowances%20Chart%20|%20Spotmarkt/spot-eua-chart/2011-09-30/0/0/1y>, [2.10.2011]

FAO, 2003, verfügbar in: <http://www.fao.org/DOCREP/ARTICLE/WFC/XII/0288-C2.HTM>, [30.1.2011]

FAO, 2010a, Gabon: General Information, verfügbar in: <http://www.fao.org/countryprofiles/index.asp?lang=en&ISO3=GAB>, [30.11.2010]

FAO, 2010b, Geography Gabon, verfügbar in: <http://www.fao.org/forestry/country/18310/en/gab/>, [29.11.2010]

FAO, 2011a, Closed Forests Gabon, verfügbar in: <http://www.fao.org/forestry/country/61326/en/gab/>, [11.10.2011]

FAO, 2011b, Forest Area Statistics Gabon, verfügbar in: <http://www.fao.org/forestry/country/32185/en/gab/>, [10.10.2011]

Fischlin, A., Midgley, G.F., Price, J., Leemans, R., Gopal, B., Turley, C., Rounsevell, M., Dube, P., Tarazona, J., Velichko, A., 2007, Ecosystems, their properties, goods, and services, In: Parry, M.L.; Canziani, O.F.; Palutikof, J.P.; van der Linden, P.J.; Hanson, C.E., eds, Climate change 2007, impacts, adaptation and vulnerability, Contribution of Working Group II to the Fourth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate

Change. Cambridge, UK, Cambridge University Press, 211–272 p

FOREEX, 2010, Note de Présentation sur la Société Foreex, Gabun: Libreville, 90 p

Gautam, S. und Pietsch, S.A., 2011, Framework for establishing reference levels for REDD: a showcase for the Massif du Chaillu in Gabon, Forest Ecology and Management – submitted

Gibbs, H.K., Brown, S., Niles, J.O., Foley, J.A., 2007, Monitoring and estimating tropical forest carbon stocks, making REDD a reality, Environmental research letters 2, 1–13

Google Earth, 2010

Gullison, R.E., Frumhoff, P.C., Canadell, J.C., Field, C.B., Nepstad, D.C., Hayhoe, K., Avissar, R., Curran, L.M., Friedlingstein, P., Jones, C.D., Nobre, C., 2007, Tropical forests and climate policy, Science 316, 985–986

Houghton, R.A., D.L. Skole, C.A. Nobre, J.L. Hackler, K.T. Lawrence, and W.H. Chomentowski, 2000, Annual fluxes of carbon from deforestation and regrowth in the Brazilian Amazon, *Nature* **403**:301-304.

Houghton, R.A., 2003, Revised estimates of the annual net flux of carbon to the atmosphere from changes in land use and land management 1850-2000, Tellus 55B, 378–390.

Houghton, R.A., 2005, Tropical deforestation as a source of greenhouse gas emissions, Pages 13-21 in: P. Moutinho and S. Schwartzman, editors, Tropical Deforestation and Climate Change, Amazon Institute for Environmental Research, Belém, Pará, Brazil.

IZF, 2010 verfügbar in: <http://www.izf.net/pages/gabon/3488/>, [29.11.2010]

Jones, P.G., Thornton, P.K., 2000, MarkSim: Software to generate daily weather for Latin America and Africa, Agronomy Journal 92: 445-453

Kollmann, F.F.P., Côté, W.A., 1968, Solid Wood- Principles of wood science and technology, Berlin, Heidelberg, New York: Springer Verlag, 592 p

L'aménagement forestier au Gabon, 1999, nach Léonard & Richard, 1993, verfügbar in: <http://www.forafri.org/ressources/forafri/08.pdf>, [15.1.11]

Leal, E.M., 2004, The African rain forest during the Last Glacial Maximum, an archipelago

of forests in a sea of grass, Wageningen: Doktorarbeit an der Universität Wageningen, 96 p

leGabon, 2010, Geography&Biodiversity, verfügbar in: <http://www.legabon.org/uk/geo.php?Id=1>, [3.12.2010]

Lewis, S.L., Lopez-Gonzalez, G., Sonké, B., Affum-Baffoe, K., Baker, T.R., Ojo, L.O., Phillips, O.L., Reitsma, J.M., White, L., Comiskey, J.A., Djuikouo K.M.N., Ewango, C.E.N., Feldpausch, T.R., Hamilton, A.C., Gloor, M., Hart, T., Hladik, A., Lloyd, J., Lovett, J.C., Makana, J.R., Malhi, Y., Mbago, F.M., Ndangalasi, H.J., Peacock, J., Peh, K.S.H., Sheil, D., Sunderland, T., Swaine, M.D., Taplin, J., Taylor, D., Thomas, S.C., Votere, R., Wöll, H., 2009, Increasing carbon storage in intact African tropical forests, *Nature* 457, 1003–1006

Luyssaert, S., Schulze, E.D., Börner, A., Knohl, A., Hessenmöller, D., Law, B.E., Ciais, P., Grace, J., 2008, Old growth forests as global carbon sinks, *Nature* 455, 213–215

Malhi, Y., Grace, J., 2000, Tropical forests and atmospheric carbon dioxide, *Trends in Ecology and Evolution*, 15, 332–337

Malhi, Y., Roberts, J.T., Betts, R.A., Killeen, T.J., Li, W., Nobre, C.A., 2008, Climate change, deforestation, and the fate of the Amazon, *Science* 319, 169–172

Maloba Makanga, J.D., 2010, Les précipitations au Gabon: climatologie analytique en Afrique, Frankreich, Paris: l'Harmattan, 144 p

Nathansen, M., 2011, GPS Outdoor Navigation, verfügbar in: <http://gpso.de/maps>, [13.10.2011]

Nicolas, P., 1977, Contribution à l'étude phytographique du Gabon, Thèse de 3ème cycle, Laboratoire de sociologie et de géographie africaines, Ecole des haute études en sciences sociales, mimeo, Paris

Olson, D.M. und Dinerstein, E., 1998, The global 200: a representation approach to conserving the earth's most biologically valuable ecoregions, *Conservation Biology* 12: 502-515

Panshin, A.J., deZeeuw, C., 1980, Textbook of wood technology – Structure, Identification, Properties, and Uses of the Commercial Woods of the United States and Canada, 4<sup>th</sup> edit., New York: McGraw- Hill Book Company, 722 p

- Phillips, O.L., Lewis, S.L., Baker, T.R., Chao, K.J., Higuchi, N., 2008, The changing Amazon forest, *Phil. Trans. R. Soc. B* 363, 1819–1827
- Phillips, O.L., Malhi, Y., Higuchi, N., Laurance, W.F., Núñez, P.V., Vásquez, R.M., Laurance, S.G., Ferreira, L.V., Stern, M., Brown, S., Grace, J., 1998, Changes in the carbon balance of tropical forests, Evidence from long term plots, *Science* 282, 439–441
- Raponda- Walker, A., Sillans, R., 1995, *Les plantes utiles du Gabon*, Libreville: Fondation Raponda- Walker – Sépia – Centre Culturel Saint-Exupéry, 614 p
- Reineke, L., 1933, Perfecting a stand density index for even aged forests, *J.Agric. Res.* 46: 627-638
- Rougier, 2007, verfügbar in: [http://www.rougier.fr/plan\\_aménagement.html?&L=1%22onfocus%3D%22blurLink%28this%29%3B%22onfocus%3D%22blurLink%28this%29](http://www.rougier.fr/plan_aménagement.html?&L=1%22onfocus%3D%22blurLink%28this%29%3B%22onfocus%3D%22blurLink%28this%29), [15.1.2011]
- Rössler, G., 2000, Höhenmessverfahren auf Dauerversuchsflächen, Wien: Bundesforschungs- und Ausbildungszentrum für Wald, Naturgefahren und Landschaft, verfügbar in: <http://bfw.ac.at/100/1232.html>, [5.7.2011]
- Running, S.W., 2008, Ecosystem Disturbance, Carbon, and Climate. *Science* 321, 652–653
- Santilli, M., Moutinho, P., Schwartzman, S., Nepstad, D., Curran, L., Nobre, C., Tropical deforestation and the Kyoto protocol, an editorial essay, *Climate Change* 71, 267–276
- Schimmel, D.S., House, J.L., Hibbard, K.A., Bousquet, P., Ciais, P., Peylin, P., Braswell, B. H., Apps, M.J., Baker, D., Bondeau, A., Canadell, J., Churkina, G., Cramer, W., Denning, A.S., Field, C.B., Friedlingstein, P., Goodale, C., Heimann, M., Houghton, R.A., Melillo, J.M., Moore III, B., Mudiyarso, D., Noble, I., Pascala, S.W., Prentice, I.C., Raupach, M.R., Rayner, P.J., Scholes, R.J., Steffen, W.L., Wirth, C., 2001, Recent patterns and mechanisms of carbon exchange by terrestrial ecosystems, *Nature* 414, 169–172
- Schlüter, T., 2006, *Geological Atlas of Africa- With Notes on Stratigraphy, Tectonics, Economic Geology, Geohazards and Geosites of Each Country*, verfügbar in: <http://www.springerlink.com/content/978-3540291442/#section=398703&page=1&locus=1>, [30.11.2010]
- Simpson, W., TenWolde, A., 1999, *Forest Products Laboratory Wood handbook—Wood as*

an engineering material Gen. Tech. Rep. FPL–GTR–113. Madison, WI: U.S. Department of Agriculture, Forest Service, Forest Products Laboratory, 463 p

The World Bank, 2010, Gabon: Country Brief, verfügbar in: <http://web.worldbank.org/WBSITE/EXTERNAL/COUNTRIES/AFRICAEXT/GABONEXTN/0.menuPK:352119~pagePK:141132~piPK:141107~theSitePK:352109.00.html>, [30.11.2010]

Van der Werf, G. R., Randerson, J. T., Collatz, G. J., Giglio, L., 2003, Carbon emissions from fires in tropical and subtropical ecosystems, *Global Change Biology* 9: 547–562.

Wilks, C., Issembé, Y., 2000, Guide pratique d'identification: les arbres de la Guinée Équatoriale – Région Continentale, Guinée Équatoriale, Bata: Projet Curef, 544 p

Wood Density Database, 2010, verfügbar in: <http://www.worldagroforestry.org/sea/Products/AFDbases/WD/>, [18.11.2010]

## 6. Anhang

### 6.1 Liste der Baumarten

Die nachstehende Tabelle gibt einen Überblick über alle Baumarten, welche in die Stichproben gefallen sind. Für jede Art ist der Handels- und wissenschaftliche Name sowie der Familienname angeführt und die spezifische Holzdichte zugeordnet. Da für Aboun und Saint Germain- Mitzic jeweils getrennt Mittelwerte über die Dichten der in die Probe gefallenen Bäume gebildet wurden, ergeben sich zwei unterschiedliche, für die Untersuchungsgebiete spezifische, Mittelwerte. Für Landoung\* und Muiba\* konnte kein wissenschaftlicher Name zugeordnet werden. Als deren Holzdichte wird der Mittelwert angenommen. Das selbe gilt für all jene Bäume, für welche weder der Handels- noch der wissenschaftliche Name bestimmt werden konnte.

Die Holzdichten beruhen auf drei verschiedenen Quellen. Für Olong ergibt sich nach Kernprobenanalysen von Gautam und Pietsch (2011) bei einem Feuchtigkeitsgehalt von 12% eine Dichte von 0,661 Tonnen pro Kubikmeter. Hierfür wurde die Dichte für 0% Feuchtigkeitsgehalt bestimmt. Für Bahia wurde beruhend auf den Angaben der Wood Density Database (2010) von den Dichten vier verschiedener Bahia- Arten bei unterschiedlichen Feuchtigkeitsgehalten die Dichte bei 0% Feuchtigkeitsgehalt bestimmt und anschließend gemittelt.

**Tab.64:** Liste der Baumarten (Familien-, wissenschaftlicher und Handelsname, Holzdichte bei einem Feuchtigkeitsgehalt von 0%, Mittelwerte für Aboun und Saint Germain- Mitzic)

	Brown, 1997
	Mittelwert Saint Germain- Mitzic
	Mittelwert Aboun
	Wood Density Database, 2010
	Gautam und Pietsch submitted, 2011

Familie	wissenschaftlicher Name	Handelsname	Holzdicke [t/m³] (0% Feuchtigkeit)
Rhizophoraceae	<i>Poga oleosa</i>	Afo	0,360
Burseraceae	<i>Canarium schweinfurthii</i>	Aiele	0,400
Irvingiaceae	<i>Desbordesia glaucescens</i>	Alep	0,870
Irvingiaceae	<i>Irvingia gabonensis</i>	Andok	0,710
Euphorbiaceae	<i>Anthostema aubryanum</i>	Asonga	0,320
Burseraceae	<i>Dacryodes macrophylla</i>	Atom	0,610
Loganiaceae	<i>Anthocleista sp.</i>	Ayinbe	0,500
Ochnaceae	<i>Lophira alata</i>	Azobé	0,870
Rubiaceae	<i>Hallea sp.</i>	Bahia	0,499
Rubiniaceae	<i>Nauclea diderrichii</i>	Bilinga	0,630
Meliaceae	<i>Guarea cedrata</i>	Bosse	0,480
Mimosaceae	<i>Piptadeniastrum africanum</i>	Dabema	0,560
Burseraceae	<i>Santiria trimera</i>	Ebap	0,530
Caesalpiniaceae	<i>Berlinia sp.</i>	Ebiara	0,580
Apocynaceae	<i>Alstonia sp.</i>	Ekouk	0,330
Myristicaceae	<i>Coelocaryon preussii</i>	Ekoune	0,560
Rhamnaceae	<i>Maesopsis eminii</i>	Elomba	0,410
Mimosaceae	<i>Pentaclethra eetveleana</i>	Engona	0,630
Irvingiaceae	<i>Klainedoxa sp.</i>	Eves	0,870
Olaceae	<i>Coula edulis</i>	Ewom/Noisetier	0,780
Burseraceae	<i>Dacryodes igaganga</i>	Igaganga	0,530
Myristicaceae	<i>Pycnanthus angolensis</i>	Ilomba	0,400
Ochnaceae	<i>Testulea gabonensis</i>	Izombe	0,600
---	---	Landoung*	0,532
Anonaceae	<i>Enantia chlorantha</i>	Mfo	0,420
Sapotaceae	<i>Baillonella toxisperma</i>	Moabi	0,710
---	---	Muiba*	0,544
Sapotaceae	<i>Autranella congolensis</i>	Mukulungo	0,780
Flacourtiaceae	<i>Oncoba glauca</i>	Ngorangoran	0,532
Myristicaceae	<i>Staudtia stipitata</i>	Niove	0,750
Mimosaceae	<i>Filiaeopsis discophora</i>	Njok/Nyek	0,532
Anonaceae	<i>Pachypodiumstaudii (Duguetia sp.)</i>	Ntom	0,580
Anonaceae	<i>Xylopi aethiopica</i>	Okala	0,500
Mimosaceae	<i>Cyclicodiskus gabunensis</i>	Okan	0,800
Guttiferaceae	<i>Garcinia kola</i>	Okes	0,740
Burseraceae	<i>Aucoumea klaineana</i>	Okoumé	0,370
Simaroubaceae	<i>Irvingia grandifolia</i>	Oleng	0,780
Rutaceae	<i>Zanthoxylum heitzii</i>	Olong	0,620
Caesalpiniaceae	<i>Guibourtia ehie</i>	Ovengkol	0,670
Burseraceae	<i>Dacryodes buettneri</i>	Ozigo	0,530
Humiriaceae	<i>Sacoglottis gabonensis</i>	Ozuan	0,740
Papilionaceae	<i>Pterocarpus soyauxii</i>	Padouk	0,610
Myristicaceae	<i>Scyphocephallum ochocoa</i>	Sorro	0,480
Caesalpiniaceae	<i>Erythrophieum ivorense</i>	Tali	0,720
unbekannt	unbekannt	unbekannt	0,532
unbekannt	unbekannt	unbekannt	0,544