

# **Biomasse- und Elementvorräte im Unterwuchs von Flächen des forstlichen Umweltmonitorings in Rheinland-Pfalz (BZE, Level II)**

**Kennzeichen: FAWF 1/07**

Autoren:

Barbara Wolff<sup>1</sup>, Andreas Bolte<sup>2</sup>, Judith Bielefeldt<sup>1,2</sup>, Tomasz Czajkowski<sup>2</sup>

<sup>1</sup>Fachhochschule Eberswalde, FB Wald und Umwelt, Alfred-Möller-Straße 1,  
16225 Eberswalde

<sup>2</sup>Johann Heinrich von Thünen-Institut (vTI), Institut für Waldökologie und  
Waldinventuren, Alfred-Möller-Straße 1, 16225 Eberswalde

**September 2008**

## Inhalt

1	Einleitung.....	1
2	Untersuchungsstandorte .....	2
3	Material und Methoden.....	5
3.1	Probennahmeverfahren.....	6
3.2	Kontrolle und Korrektur der Deckungsgradschätzungen .....	7
3.3	Biomasse- und Elementbestimmung .....	8
3.4	Allometrische Beziehungen.....	9
3.5	Elementgehalte .....	13
3.5.1	Elementgehalte Gesamtpflanzen .....	13
3.5.2	Elementgehalte der Gehölze nach Kompartimenten getrennt.....	20
3.6	Modellbildung .....	23
3.6.1	Biomassemodelle für Einzelbäume .....	23
3.6.2	Biomassemodelle PhytoCalc-Ansatz .....	26
4	Biomassefunktionen .....	27
5	Elementvorratsschätzungen .....	33
6	Schlussfolgerungen und Ausblick.....	33
7	Zusammenfassung .....	33
7	Danksagung .....	34
8	Literatur .....	35
	Anhang	

## Abbildungen

Abb. 1: Lage der für die Untersuchung ausgewählten Standorte (BZE- und UKS-Bezeichnungen) .....	3
Abb. 2: Lage der für die Untersuchung ausgewählten Standorte (WSE- und UKS-Bezeichnung) .....	4
Abb. 3: Gegenüberstellung von okularer Schätzung und Rasterbonitur der prozentualen Deckungsgrade der Baumarten- und Strauchverjüngung .....	8
Abb. 4: Allometrische Beziehungen, Beispiel Bergahorn (Einzelbaummodell) .....	12
Abb. 5: Doppelt logarithmische Darstellung des Zusammenhangs zwischen Biomasse von Bergahornstämmchen und ihrem Wurzelhalsdurchmesser (WHD) bzw. ihrer Höhe oder dem Kronenansatz .....	24
Abb. 6: Zusammenhang zwischen Deckungsgrad, mittlerer Sprosslänge und Trockensubstanzgewicht .....	26
Abb. 7: Zusammenhänge zwischen log. Deckungsgrad, log. Mittlerer Sprosslänge und log. Trockensubstanz .....	32

## Tabellen

Tab. 1: Anzahl Probennahmestandorte (Einzelbäume) je Gehölzart, klassifiziert nach Trophiestufen .....	5
Tab. 2: Anzahl Probennahmestandorte (PhytoCalc-Modellierung) je Gehölzart, klassifiziert nach Trophiestufen .....	5
Tab. 3: Bestimmtheitsmaße ( $R^2$ ) der untersuchten allometrischen Beziehungen zwischen Baumd dimensionsmaße für Einzelbäume (~Mittelwert aus verschiedenen möglichen Ausgleichsfunktionen; vgl. Anhang 1) .....	11
Tab. 4: Mittlere C-Gehalte, Gehölze < 1m Höhe(gewichtet) .....	14
Tab. 5: Mittlere C-Gehalte, Gehölze > 1m Höhe (gewichtet) .....	14
Tab. 6: Mittlere N-Gehalte, Gehölze < 1m Höhe (gewichtet) .....	15
Tab. 7: Mittlere N-Gehalte, Gehölze > 1m Höhe (gewichtet) .....	15
Tab. 8: Mittlere Ca-Gehalte, Gehölze < 1m Höhe (gewichtet) .....	16
Tab. 9: Mittlere Ca-Gehalte, Gehölze > 1m Höhe (gewichtet) .....	16
Tab. 10: Mittlere K-Gehalte, Gehölze < 1m Höhe (gewichtet) .....	17
Tab. 11: Mittlere K-Gehalte, Gehölze > 1m Höhe (gewichtet) .....	17
Tab. 12: Mittlere Mg-Gehalte, Gehölze < 1m Höhe (gewichtet) .....	18
Tab. 13: Mittlere Mg-Gehalte, Gehölze > 1m Höhe (gewichtet) .....	18

Tab. 14: Mittlere P-Gehalte, Gehölze < 1m Höhe (gewichtet) .....	19
Tab. 15: Mittlere P-Gehalte, Gehölze > 1m Höhe (gewichtet) .....	19
Tab. 16: Mittlere S-Gehalte, Gehölze < 1m Höhe (gewichtet) .....	20
Tab. 17: Mittlere S-Gehalte, Gehölze > 1m Höhe (gewichtet) .....	20
Tab. 18: Elementgehalte getrennt nach Baumart und Standortsklasse (gewichtet); Gehölze < 1m .....	21
Tab. 19: Elementgehalte getrennt nach Baumart und Standortsklasse (gewichtet); Gehölze > 1m .....	22
Tab. 20: Ergebnisse der Biomassemodellierung für die Gehölzart Bergahorn (Einzelbaummodelle) .....	25
Tab. 21: Ergebnisse der Biomassemodellierung für Bergahorn (PhytoCalc-Ansatz)	26
Tab. 22: Biomassefunktionen Einzelbäume .....	28
Tab. 23: Biomassefunktionen PhytoCalc-Ansatz .....	32

# 1 Einleitung

Das Forstliche Umweltmonitoring ist ein Verfahren der ergebnisoffenen Umweltbeobachtung, welches in den deutschen Wäldern zur nachhaltigen Sicherung der Waldfunktionen durchgeführt wird. Durch die Erfassung wesentlicher Indikatoren für den Zustand bzw. für die Entwicklung von Waldökosystemen sowie bedeutsamer Einflussfaktoren lassen sich nicht nur Aussagen zur Entwicklung wesentlicher ökosystemarer Kennwerte ableiten und bewerten, sondern auch Maßnahmeempfehlungen zur Stabilisierung der Waldbestände gegeben werden. Das Forstliche Umweltmonitoring stellt eine wertvolle Datenbasis dar, die zunehmend auch für neue Fragestellungen herangezogen wird (Wilpert et al. 2006, Seidling et al. 2007). Insbesondere vor dem Hintergrund der Biomasseproduktion und möglicher Problemen mit der Standortsnachhaltigkeit sowie für Stoffhaushaltsuntersuchungen werden Daten des Forstlichen Umweltmonitorings zunehmend nachgefragt und auch ausgewertet (Meiwes et al. 2007).

Für die Elementgehalte in Baumkompartimenten liegt bereits eine umfangreiche Auswertung auf Grundlage von Literaturdaten vor (Jacobsen et al. 2003).

Im Rahmen des F/E-Projektes „Biomasse- und Elementvorräte der Bodenvegetation auf Flächen des forstlichen Umweltmonitorings in Rheinland-Pfalz (BZE, EU Level II)“ wurden zudem die Biomasse- und Elementvorräte der Bodenvegetation auf Monitoringflächen in Rheinland-Pfalz mit Hilfe des Modells PhytoCalc geschätzt (Bolte 2006). Dieses Verfahren basiert auf der Auswertung von Analysen zur Struktur der Bodenvegetation, zum Phytomassevorrat sowie zum Elementvorrat rheinland-pfälzischer sowie weiterer norddeutscher Untersuchungsstandorte. Es ermöglicht eine zerstörungsfreie Schätzung der oberirdischen Bodenvegetationsvorräte an Phytomasse (Trockensubstanz), Kohlenstoff und Nährelementen (N, K, P, Ca, Mg, S). Das Schätzverfahren ist in die Arbeitsanleitung zur zweiten Bodenzustandserhebung im Wald (BZE II) als fakultatives Verfahren aufgenommen worden (BMELV 2006). Aktuelle Studien von Bolte et al. (2004) auf 12 EU Level II-Flächen in Norddeutschland zeigten, dass die Bodenvegetation erhebliche Mengen an Biomasse oberirdisch bildet (bis mehr als 4200 kg ha<sup>-1</sup>) und in der Pflanzensubstanz bis zu 30 % der im gesamten oberirdischen Bestand inkl. Bäume gespeicherten Nährelementvorräte gebunden sind. Damit trägt die Bodenvegetation erheblich zur Nähr-

stoffspeicherung von Wäldern bei und ist in der Lage, unerwünschte Nährstoffausträge bei ökosystemaren Störungen effektiv zu begrenzen.

Ausgenommen von diesen Untersuchungen wurden jedoch bisher der verholzte Unterwuchs (Baumarten- und Strauch-Jungwuchs sowie Stangenholz bis BHD <7 cm), für welche noch keine Modellansätze bestehen. Auch deutschlandweit existieren für dieses Kompartiment keine verlässlichen Schätzverfahren oder Angaben zu Biomasse- und Elementvorräten.

Ziel der im Sommer 2007 auf Flächen des forstlichen Umweltmonitorings in Rheinland-Pfalz (BZE-, EU Level II-Standorte sowie ausgewählte UKS-Flächen) durchgeführten Untersuchung war es daher, in einer Pilotstudie Daten zur Struktur wesentlicher Gehölzpflanzen des Unterwuchses zu erheben, daraus Modelle für die Schätzung der oberirdischen Phytomasse- und Elementvorräte abzuleiten sowie Vorschläge für zweckmäßige Erhebungs- und Schätzverfahren zu entwickeln. Für Gehölzpflanzen <1 m soll dabei methodisch dem PhytoCalc-Ansatz gefolgt, d. h. ein summarischer Ansatz gewählt werden, für Gehölzpflanzen <1 m und BHD <7 cm sollen hingegen einzelbaumweise Untersuchungen erfolgen. Da das Pilotvorhaben nur in einem eng begrenzten Umfang durchgeführt werden konnte, wurden als relevante Gehölzpflanzen die bundesweit typischen Hauptbaumarten Fichte (Fi), Buche (Bu), Eiche (Ei), Kiefer (Ki) sowie die für Rheinland-Pfalz bedeutsamen Nebenbaumarten und Sträucher Hängebirke (Bi), Bergahorn (Bah), Esche (Es), Schwarzer Holunder (Holu), Faulbaum (Faulb), Besenginster (Ginst), Eberesche (EbEs) ausgewählt.

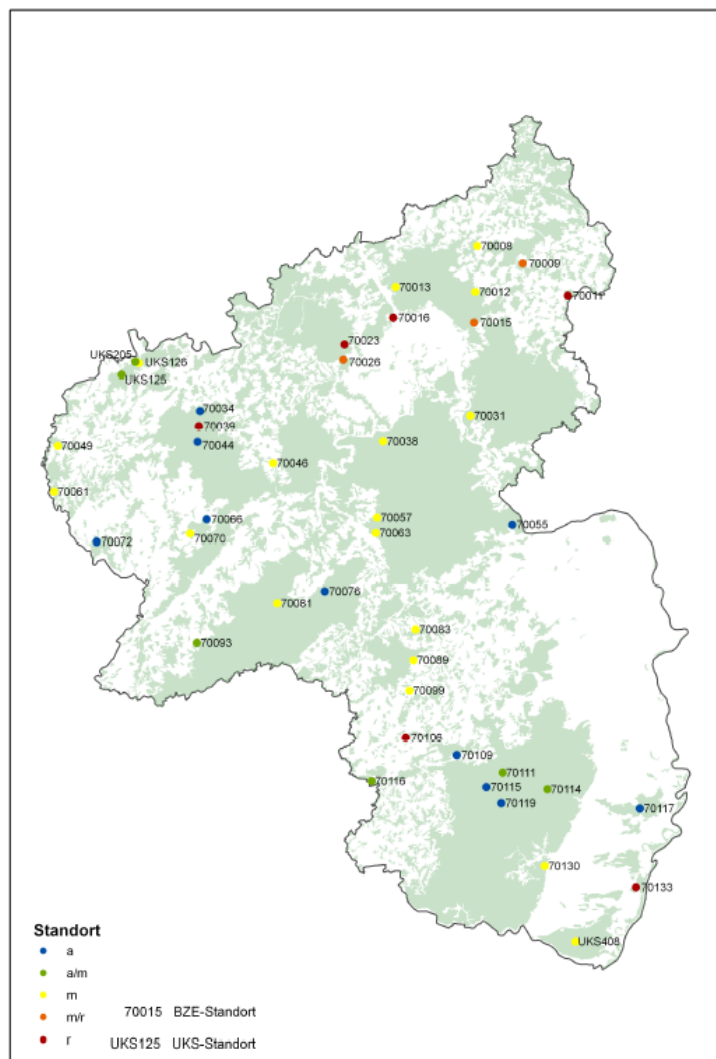
## **2 Untersuchungsstandorte**

Die für das Pilotvorhaben ausgewählten Untersuchungsstandorte umfassen sämtliche BZE-, EU-Level II-Standorte sowie ausgewählte UKS-Flächen des Landes Rheinland-Pfalz.

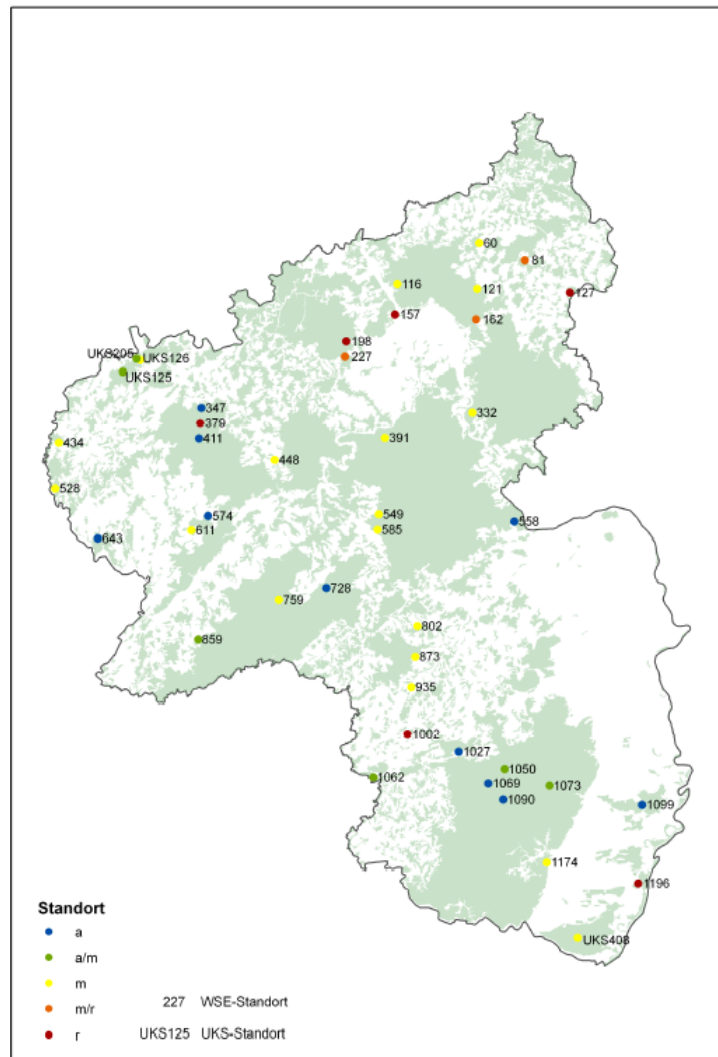
Durch eine im Vorfeld der Untersuchungen auf der Basis der für die Standorte gespeicherten boden- und standortkundlichen Informationen durchgeführte Prästratifizierung, wurden für die zu untersuchenden Baumarten potenzielle Probenahme-standorte mit möglichst breiter standörtlicher Streuung ausgewählt. Überdies wurde eine ausreichende Anzahl von Ersatzstandorte für Fälle definiert, in denen die örtli-

chen Verhältnisse eine geregelte Probennahme nicht sinnvoll erscheinen ließ. Vor Ort zeigte sich, dass die Vegetationslisten nicht immer alle am Standort tatsächlich vorkommenden Gehölzarten abdeckten, manchmal auch Gehölzarten enthielten, welche auf den Flächen aktuell nicht vorkamen. Daher wurden neben den Flächen des Forstlichen Umweltmonitorings noch 4 UKS-Standorte in die Probennahme einbezogen.

Insgesamt wurde Probenmaterial an 46 Standorten unterschiedlicher Trophie und Feuchte in Rheinland-Pfalz gewonnen (vgl. Abb. 1 und Abb. 2).



**Abb. 1: Lage der für die Untersuchung ausgewählten Standorte (BZE- und UKS-Bezeichnungen)**



**Abb. 2: Lage der für die Untersuchung ausgewählten Standorte (WSE- und UKS-Bezeichnung)**

Durch die Beprobung mehrerer Baumarten an einigen Standorten konnte der Aufwand für die Datenerhebung reduziert werden. In die Untersuchungen flossen insgesamt Daten von 6 reichen, 3 reich-mittleren, 19 mittleren, 6 mittel-armen sowie 12 armen Standorten ein. Es wurden bewusst mehr Standorte der mittleren Trophiestufe ausgewählt, um ein für Rheinland-Pfalz typisches Ergebnis zu erhalten. Andererseits mussten vergleichsweise viele arme Standorte angefahren werden, da dort meist nur eine Baumart beprobt werden konnten. Die Tabellen 1 und 2 geben einen Überblick über die Verteilung der für die Einzelbaum- bzw. PhytoCalc-Modellierung entnommenen Gehölzproben auf die unterschiedlichen Trophiestufen (klassifiziert nach dem rheinland-pfälzischen Verfahren).



**Tab. 1: Anzahl Probennahmestandorte (Einzelbäume) je Gehölzart, klassifiziert nach Trophiestufen**

Gehölzart	Standortstrophie					gesamt
	Arm	arm - mittel	mittel	mittel – reich	reich	
Bah	1	1	4	2	3	11
Bi	3	1	3			7
Bu	4		3	1	4	12
Ei	3	2	5	1	4	15
Es	1		3	1	3	8
Fi	3	1	4			8
Ki	3	1	2			6
EbEs	2	3	5		1	11
Faulb	3	1	2			6
Ginst	2	2	3		1	8
Holu			3	1	2	6

**Tab. 2: Anzahl Probennahmestandorte (PhytoCalc-Modellierung) je Gehölzart, klassifiziert nach Trophiestufen**

Gehölzart	Standortstrophie					gesamt
	Arm	arm - mittel	mittel	mittel – reich	reich	
Bah		1	3		2	6
Bi	2	1	3			6
Bu	2	1	3	1	3	10
Ei	3	1	5		1	10
Es			2		2	4
Fi	4		4			8
Ki	1	1	2			4
EbEs	3	2	2			7
Faulb	2	1	2			5
Ginst	1	1	3			5
Holu			3	1	1	5

### 3 Material und Methoden

Die Außenaufnahmen für die Pilotstudie wurden vom 3. bis 18. August 2007 von Frau Dipl.-Forstw. Judith Bielefeldt sowie Herrn Dr. Tomasz Czajkowski durchgeführt. Obwohl der Erhebungszeitraum für die geplanten Untersuchungen generell empfohlen wird, litten doch die Baumarten Bergahorn, Eberesche und Eiche teilweise schon unter starker Defoliation, wodurch sich der Erhebungsaufwand deutlich erhöhte. Exemplare mit deutlicher Defoliation wurden aus der Untersuchung ausgeschlossen. Ebenfalls nicht in die Untersuchungen einbezogen wurden Einzelpflanzen der

Höhenklasse bis 20 cm, welche nur aufgrund von extrem starkem Verbiss noch dieser Höhenklasse zugehörig waren. Alle Probennahmen fanden in räumlicher Nähe aber außerhalb der Vegetationsaufnahmeflächen der jeweiligen Monitoringflächen statt, um einerseits eine möglichst enge Beziehung zu den bereits vorliegenden Befunden zu ermöglichen, andererseits aber das Monitoring nicht durch die Probennahme zu stören. Durch die Fixierung der Probennahme auf Standorte des Forstlichen Umweltmonitorings wurden nur selten locker bestockte Waldflächen ausgewählt, welche für die Gehölzart Ginster geeignet waren.

### **3.1 Probennahmeverfahren**

Für die Einzelbaumerhebungen wurden je Art mindestens 4 Standorte (2 mittlere und jeweils ein guter bzw. mäßiger/schlechter) beprobt. Die Probennahme erfolgte nach Höhenklassen (0-20 cm, 20-50 cm, 50-100 cm, 100-300 cm, >300 cm bis BHD < 7cm) getrennt. Je Höhenklasse wurden mindestens 6 Individuen beprobt, sodass i.d.R. mehr als 30 Pflanzen für die Modellberechnungen zur Verfügung standen. Wie bereits beschrieben, wurde versucht, durch die Vorauswahl eine möglichst breite Standortsamplitude zu berücksichtigen. Außerdem wurde bei der Auswahl vor Ort eine möglichst gleichmäßige Verteilung der Bäumchen über die verschiedenen Deckungsgradstufen (20 %-Klassen) realisiert. Aufgrund der standörtlichen Amplituden und Konkurrenzstärken der Gehölzarten konnten nicht für alle Gehölzarten sämtliche Kombinationen aus Standort, Höhenklasse und Deckungsgrad gleichmäßig abgedeckt werden. Die jeweils für Rheinland-Pfalz typischen Verhältnisse werden jedoch durch das Datenmaterial repräsentiert.

Von jedem einzeln beprobten Gehölz wurden (soweit dies die Höhenklasse zuließ) als individuelle Kennwerte der Wurzelhalsdurchmesser (D0 bzw. D(WHD)), der Durchmesser in 50 cm Höhe (D0,5), der Durchmesser in 1,3 m Höhe (D1,3 bzw. BHD), der Durchmesser am Kronenansatz (DKRA), der Durchmesser im oberen Kronendrittel (DKr3), die Höhe (H), die Sprosslänge (L), die Kronenansatzhöhe (hKRA) sowie die Kronenbreite (max. Breite sowie Breite in 90° dazu) aufgenommen. Außerdem wurde der Deckungsgradanteil der Baumart und Höhenklasse ermittelt sowie die Gesamtdeckung des Unterwuchses auf der Untersuchungsfläche geschätzt.

Nach der Erfassung der individuellen Kenngrößen wurden die Gehölzpflanzen beprobt. Für Pflanzen  $<1$  m wurden die beiden Kompartimente „Stamm+Äste jeweils mit Rinde“ sowie „Nadeln / Blätter“ gebildet. Pflanzen  $>1$  m wurden in drei Kompartimente unterteilt: „Stamm mit Rinde“, „Äste mit Rinde“ sowie „Nadeln/Blätter“.

Die Beerntung der Gehölzpflanzen mit im Mittel unter 1 m Höhe für die PhytoCalc-Modellierung erfolgte in drei bis vier 1 m<sup>2</sup>-Quadraten je Standort, die in die ausgewählten Bestände unterschiedlicher Trophie und Deckungsgrade platziert wurden. Nach einer fotografischen Aufnahme der gerahmten Fläche wurde von jeder untersuchten Gehölzart okular der prozentuale Deckungsgrad (Bodenbedeckung) sowie die mittlere gestreckte Länge der oberirdischen Sprossachse von mindestens 20 Individuen erfasst. Bei der folgenden Beerntung wurden sämtliche Individuen der untersuchten Baum- und Strauchartverjüngung erdbodengleich abgeschnitten.

Alle Pflanzenproben wurden schnellstmöglich vorgetrocknet, um mögliche Umsetzungsprozesse zu verhindern.

### **3.2 Kontrolle und Korrektur der Deckungsgradschätzungen**

Bei den Untersuchungen für die PhytoCalc-Modellierung war eine Objektivierung der von Frau Bielefeldt subjektiv geschätzten Deckungsgrade notwendig, um die abgeleiteten Modelle universell verwenden zu können. Daher erfolgte eine nachträgliche Rasterauswertung an einer zufällig ausgewählten Stichprobe von 54 der insgesamt 222 Aufnahmeflächen (vgl. Bolte 1999). Hundert Rasterpunkte wurden auf die digitalen Fotos der Aufnahmequadrante projiziert und die Punktabdeckung durch Pflanzenteile der untersuchten Arten mit 1 und die Nichtbedeckung mit 0 bonitiert. Die Summe der teilweise und voll bedeckten Rasterpunkte von 100 Gesamtpunkten (Frequenz) wurde als objektiver Wert für den prozentualen Deckungsgrad der untersuchten Art angesehen.

Die Gegenüberstellung von okularer Schätzung zum Deckungsgrad und den Ergebnissen der Rasterbonitur ergab leichte Unterschätzungen bei Deckungsgraden unter 50% und leichte Überschätzungen bei Deckungsgraden über 50% (Abb. 3). Dieser Befund stimmt gut mit den Ergebnissen von Bolte (1999) überein. Die im Feld geschätzten Deckungsgrade wurden vor ihrer Verwendung mit Hilfe der in Abb. 3 dargestellten Funktion korrigiert.

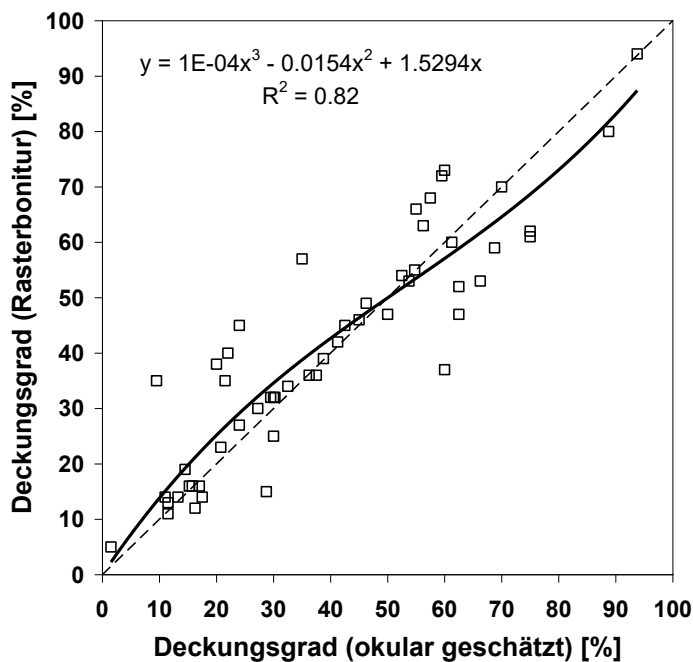


Abb. 3: Gegenüberstellung von okularer Schätzung und Rasterbonitur der prozentualen Deckungsgrade der Baumarten- und Strauchverjüngung

### 3.3 Biomasse- und Elementbestimmung

Für die Biomasse- und Elementbestimmung wurden die Proben bereits in Rheinland-Pfalz an der Forschungsanstalt für Waldökologie und Forstwirtschaft in Trippstadt vorgetrocknet.

Die endgültige Trocknung der Proben erfolgte bei 80° C über 72 h bis zur Gewichtskonstanz im Labor des Johann Heinrich von Thünen-Instituts in Eberswalde. Die Bestimmung des Trockengewichtes erfolgte nach der Trocknung im Labor getrennt nach Kompartimenten mittels Präzisionswaagen auf 0,00 g (hundertstel g) genau.

Anschließend wurde ein aliquoter Teil der trockenen Pflanzensubstanz aus verschiedenen Höhenklassen nach Standorten, Arten und Kompartimenten getrennt als Mischprobe (je 60 g; ca. 2 Filmdosen) in einer Schlagrotormühle (Fritsch Pulverisette 15, mit Siebeinsatz) zu analysefeinem Material gemahlen und homogenisiert. Hierfür wurden je Baumart die **Nadeln bzw. Blätter** nach Höhenklassen (HK 1 bis 5) und Standortsklassen (arm bis reich) getrennt von Hand zerkleinert und anschließend gemischt. Für die Laboranalyse konnten je Standortsklasse Mischproben der Höhenklasse 1-3 (Gehölze <1 m) bzw. 4-5 (Gehölze >1 m) gebildet werden, wobei jeweils

gleiche Anteile aus den verschiedenen Höhenklassen in die Mischprobe eingingen. Für Gehölze unter 1 m wurden die **verholzten Pflanzenteile** zusammengefasst bearbeitet. Über jede Höhenklasse wurde getrennt nach Arten und Standortsklassen aliquote Mischproben der verholzten Pflanzensubstanz gebildet. Für Gehölze über 1 m erfolgte eine Trennung der holzigen Pflanzensubstanz in **Seitentriebe und Stämmchen**. Die Verarbeitung der Triebproben erfolgte nach dem Schema der verholzten Pflanzensubstanz der Gehölze <1 m. Zur Beprobung der Stammsubstanz wurde von jedem Einzelbaum gleichmäßig über den Stamm verteilt Spanproben mittels einer Säge oder Raspel genommen. Diese wurden dann wieder zu gleichen Teilen aus den beiden Höhenklasse zu Mischproben je Art und Standortsklasse vereinigt.

Anschließend erfolgte an der analysenfeinen Pflanzentrockensubstanz die Bestimmung der Gehalte an Kohlenstoff und Stickstoff in einer Teilprobe am Elementanalyator. Die Konzentration der Nährelemente (K, Ca, Mg, P, S) wurde nach einem Salpetersäure-Druckaufschluss der verbliebenen Teilprobe (König u. Fortmann 1996) am Plasmaspektrometer (ICP-AES) ermittelt.

Insgesamt standen somit für die Biomasseschätzungen am Einzelbaum 315 Proben zur Verfügung, für die PhytoCalc-Modellierung 222 Aufnahmen sowie 133 Laborproben mit Ergebnissen der Elementanalysen.

### **3.4 Allometrische Beziehungen**

Für die untersuchten Baumarten wurden verschiedene allometrische Beziehungen zwischen den aufgenommenen individuellen Kenngrößen bestimmt. Ziel dieser Untersuchungen war einerseits die Identifizierung von geeigneten Eingangsgrößen für die anschließende Modellierung der individuellen Biomassen der untersuchten Gehölze. Überdies ist die Beziehung Höhe zu Sprosslänge nützlich, um gemessene Baumhöhen auch für die Biomasse- und Elementvorratsmodellierung mit Hilfe der PhytoCalc-Modelle zu verwenden. Nicht zuletzt lassen sich durch die allometrischen Beziehungen effiziente Plausibilitätsprüfungen des Datenmaterials durchführen.

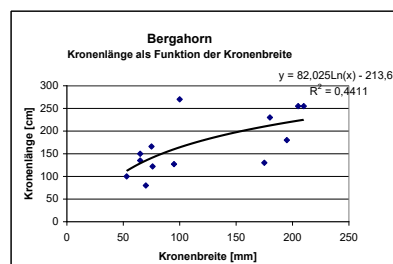
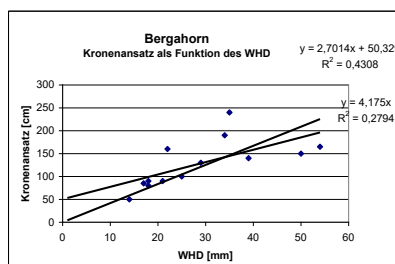
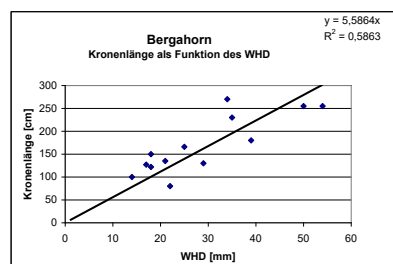
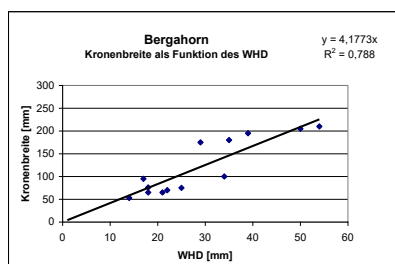
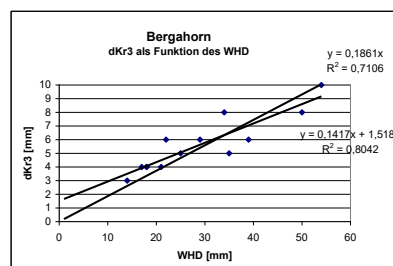
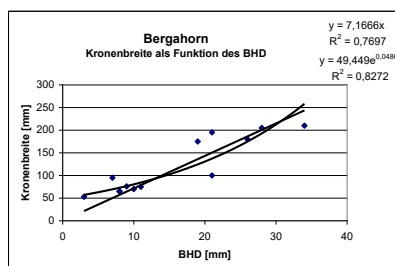
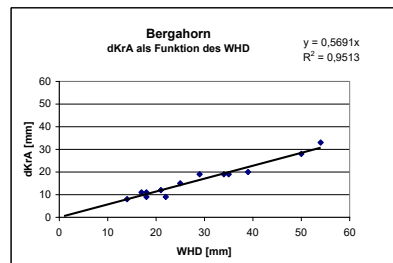
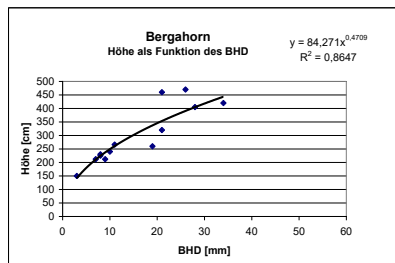
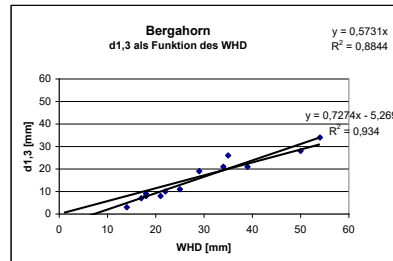
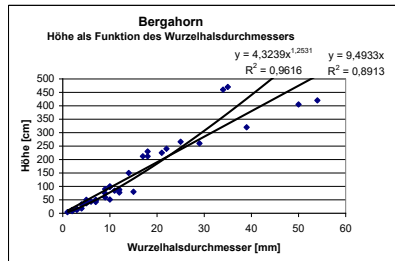
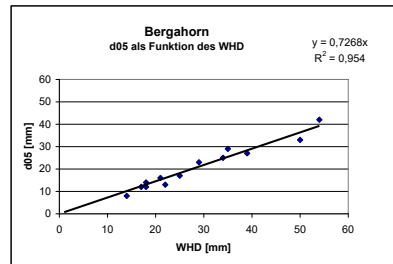
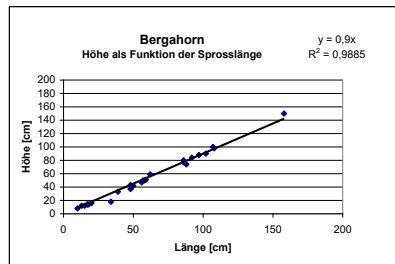
Für jede Baumart wurden die in Abb. 4 exemplarisch für die Baumart „Bergahorn“ aufgeführten Beziehungen berechnet (vgl. Anhang 1). Für die Baumart Bergahorn zeigt sich eine enge Beziehung zwischen Sprosslänge und Höhe. Der Wurzelhals-

durchmesser (WHD bzw.  $d_0$ ) ist eng korreliert mit den anderen Durchmesser kennwerten, wobei die Beziehung mit zunehmender Höhe, d. h. zunehmender Entfernung vom Wurzelhals generell abnimmt (Ausnahme: Durchmesser im Bereich des Kronenansatzes). Mit Ausnahme des Kronenansatzes korrespondieren auch die Kronenkennwerte deutlich mit dem WHD bzw. BHD. Für die geplanten Modellberechnungen zur Biomasse bzw. Elementgehalte lässt sich somit schließen, dass die Höhe, der Wurzelhalsdurchmesser und – beim Bergahorn auch bei größeren Individuen – eventuell auch der Kronenansatz vermutlich die besten Eingangsgrößen für die Schätzung darstellen werden.

Analoge Schlüsse wurden auch für die anderen Baumarten gezogen. Tabelle 3 gibt eine Übersicht über das Ausmaß der Beziehungen zwischen den individuellen Kennwerten. Generell (d.h. bei allen Gehölzarten) gut ineinander umrechnen lassen sich Höhe bzw. Länge der untersuchten Individuen (Bestimmtheitsmaße zwischen 0,97 und 0,99). Zwischen der Höhe der Stämmchen und dem Wurzelhalsdurchmesser bestehen gehölzspezifisch unterschiedliche aber immer noch gute Beziehungen ( $R^2$ -Werte zwischen 0,79 und 0,96). Erwartungsgemäß sind die  $R^2$ -Werte für die Ginstersträucher am niedrigsten, jedoch ist auch bei den untersuchten Kiefern eine relative starke Variabilität zu verzeichnen. Wie für den Bergahorn gilt im allgemeinen, dass die Stärke der Beziehung zwischen dem WHD und den übrigen Durchmesserwerten mit zunehmender Höhe, d.h. zunehmender Entfernung vom Wurzelhals generell abnimmt. Durch gut korrespondierende Werte im Bereich des WHD und des Kronenansatzes wird dieser Trend jedoch für die Baumarten Bergahorn, Eberesche, Esche, Faulbaum, Fichte und Kiefer unterbrochen. Geringe Korrelationen zum WHD indizieren – mit Ausnahme der Baumart Esche – die Kronenansatzhöhe sowie für die Baumart Kiefer auch die Kronenlänge als sinnvolle Eingangsgrößen für die Modellbildung.

**Tab. 3: Bestimmtheitsmaße ( $R^2$ ) der untersuchten allometrischen Beziehungen zwischen Baumdimensionsmaße für Einzelbäume (~Mittelwert aus verschiedenen möglichen Ausgleichsfunktionen; vgl. Anhang 1)**

Baumart	H=f(L)	H=f(d0)	KB=f(d0)	KRA=f(d0)	d0,5=f(d0) d1,3=f(d0) dKRA=f(d0) dKR3=f(d0)	KL=f(d0)	KL=f(KB)	Bemerkungen
<b>Bah</b>	0,99	~0,93	0,79	0,51	0,95 0,88 0,95 0,71	0,59	~0,5	
<b>Bi</b>	0,99	0,96	0,43	0,52	0,91 0,89 0,74 0,70	0,82	0,56	
<b>Bu</b>	0,98	0,91	~0,55	0,26	0,85 0,80 0,80 0,70	0,46	0,74	
<b>Ebes</b>	0,98	0,85	~0,80	0,10	0,92 0,75 0,91 0,20	0,63	0,74	Geringe Datensprei- ung
<b>Ei</b>	0,99	0,90	0,80	0,16	0,71 0,71 0,71 0,57	0,59	0,49	
<b>Es</b>	0,98	0,95	0,40	0,68	0,96 0,91 0,94 0,69	0,72	0,35	
<b>Faul</b>	0,99	~0,95	~0,27	0,0	0,82 0,65 0,83 0,40	0,47	0,23	
<b>Fi</b>	0,99*	~0,95	~0,67	0,14	0,92 0,81 0,93 0,58	0,87	~0,45	*zuwenig Daten; Datensprei- ung gering
<b>Ginst</b>	0,99	0,79	Zu wenige Daten			0,50	0,10	
<b>Hol</b>	0,99	0,91	Zu wenige Daten					
<b>Ki</b>	0,99	~0,84	0,5	0,0	0,94 0,68 0,89 0,82	0,47	0,59	



ohne den Punkt 100 / 270 R²=0,6

**Abb. 4: Allometrische Beziehungen, Beispiel Bergahorn (Einzelbaummodell)**



### 3.5 Elementgehalte

Für die Elementbestimmung wurden aus dem Material der Gehölzproben für die Höhenklassen kleiner bzw. größer 1 m aliquote Mischproben je Gehölzart und Standortklasse gebildet. Die wenigen im Datenpool ausgewiesenen Übergangstandorte (arm-mittel bzw. mittel-reich) wurden hierfür gutachtlich anhand der vorliegenden Standortinformationen bzw. Baumartenzusammensetzung den drei Haupttypen zugeordnet.

Im ersten Schritt (Kap. 3.5.1) wird der Frage nachgegangen, inwiefern bei den mittleren Elementgehalten (d.h. über alle Kompartimente hinweg gemittelte Werte) relevante Unterschiede bei der Trennung nach Arten, Höhenklassen und Standortklassen vorliegen. Dabei ist insbesondere von Interesse, ob bei der Schätzung der Elementvorräte zwischen Standortklassen unterschieden werden sollte.

Anschließend wird dargestellt, welche Unterschiede die verschiedenen Kompartimente der Pflanzen (Assimilationsorgane, Äste, Stämmchen) in ihrem Elementgehalt aufweisen (Kap. 3.5.2).

#### 3.5.1 Elementgehalte Gesamtpflanzen

Die folgenden Darstellungen zu den gewichteten Mittelwerten der Elementgehalte in den Gesamtpflanzen mit einer Mittelhöhe unter 1 Meter und über 1 Meter sind nach den Elementen Kohlenstoff (C), Stickstoff (N), Kalzium (Ca), Kalium (K), Magnesium (Mg), Phosphor (P) und Schwefel (S) gegliedert. Die Gesamtpflanzenmittel sind aus den Konzentrationsmittel der einzelnen Pflanzenkompartimente (<1 Meter Höhe: Blätter, Stamm+Äste, >1 Meter Höhe: Stamm, Äste, Pflanzen) gewichtet nach ihren mittleren Biomasseanteilen berechnet worden. Fehlende Angaben für Standortklassen resultieren aus fehlenden Beprobungen für diese Klassen oder Fehlwerte für einzelne Pflanzenkompartimente.

Bei den gewichteten Mitteln der **Kohlenstoffgehalte (C)** sind Unterschiede zwischen den Baumarten zu erkennen (Tab. 4., Tab. 5). Die Unterschiede zwischen Standortklassen (mittel, reich) und zwischen den Höhenklassen (<1 m, >1 m) sind gering mit Ausnahme des Schwarzen Holunders.

**Tab. 4: Mittlere C-Gehalte [mg g<sup>-1</sup>], Gehölze <1 m Höhe(gewichtet)**

Baumart	C alle STO	C arme STO	C mittlere STO	C reiche STO
Bah	478,9	480,3	479,2	477,1
Bi	501,6	501,1	502,1	-
Bu	493,8	490,5	494,8	496,2
EbEs	482,1	482,0	482,2	-
Ei	483,3	486,6	481,5	481,7
Es	478,1	473,5	480,8	479,9
Faulb	487,3	486,3	488,2	-
Fi	514,8	513,5	516,1	-
Ginst	493,9	503,3	484,6	-
Holu	435,1	-	414,3	455,9
Ki	507,1	508,8	505,4	-

**Tab. 5: Mittlere C-Gehalte [mg g<sup>-1</sup>], Gehölze >1 m Höhe (gewichtet)**

Baumart	C alle STO	C arme STO	C mittlere STO	C reiche STO
Bah	470,7	468,5	475,1	468,4
Bi	503,9	500,1	507,7	-
Bu	488,9	483,4	499,3	484,0
EbEs	490,0	485,2	492,1	492,7
Ei	482,6	486,9	481,4	479,3
Es	476,7	-	473,7	479,7
Faulb	496,4	497,3	495,4	-
Fi	509,3	510,4	508,1	-
Ginst	486,2	-*	483,7	-
Holu	485,7	-	482,4	489,0
Ki	509,8	510,6	509,0	-

\*kein Wert für Stamm

Ähnlich wie bei den Kohlenstoffgehalten sind bei den **Stickstoffgehalten** der Gehölze Unterschiede zwischen den Baumarten erkennbar (Tab. 6, Tab. 7). Stickstoffliebende Arten wie Besenginster und Schwarzer Holunder weisen die höchsten Werte auf, Kiefer die niedrigsten. Zusätzlich sind auch Unterschiede zwischen beiden Höhenklassen erkennbar. Die Standortsunterschiede wirken sich bei der Klasse über 1 Meter Pflanzenhöhe stärker aus.

**Tab. 6: Mittlere N-Gehalte [mg g<sup>-1</sup>], Gehölze <1 m Höhe (gewichtet)**

<b>Bart</b>	<b>N alle STO</b>	<b>N arme STO</b>	<b>N mittlere STO</b>	<b>N reiche STO</b>
Bah	10,953	9,121	12,290	11,447
Bi	13,176	14,083	12,270	-
Bu	10,998	10,283	11,627	11,084
EbEs	8,939	8,927	8,951	-
Ei	13,791	12,719	16,254	12,401
Es	12,112	9,903	11,384	15,048
Faulb	11,466	11,906	11,027	-
Fi	11,940	12,356	11,524*	-
Ginst	17,517	16,416	18,618	-
Holu	30,594	-	41,741	19,446
Ki	10,090	9,357	10,824	-

\*N, Fi; unplausibler Wert: STO mäßig; <1m; Trieb (30,9 mg g<sup>-1</sup>) gestrichen, ersetzt durch Wert: mäßig; >1m; Trieb (8,2 mg g<sup>-1</sup>)

**Tab. 7: Mittlere N-Gehalte [mg g<sup>-1</sup>], Gehölze >1 m Höhe (gewichtet)**

<b>Bart</b>	<b>N alle STO</b>	<b>N arme STO</b>	<b>N mittlere STO</b>	<b>N reiche STO</b>
Bah	8,982	7,737	10,859	8,350
Bi	8,517	8,294	8,739	-
Bu	7,201	6,498	7,412	7,692
EbEs	7,048	6,946	8,251	5,947
Ei	7,552	8,270	7,988	6,397
Es	8,673	-	9,054	8,292
Faulb	10,737	13,896	7,578	-
Fi	9,772**	8,993	10,551	-
Ginst	14,995	-***	14,166	-
Holu	14,937	-	14,404	15,470
Ki	7,141	6,861	7,421	-

\*\*N, Fi; unplausibler Wert: STO arm (20,1 mg g<sup>-1</sup>) >1m; Trieb gestrichen und ersetzt durch Wert: arm; <1m; Trieb (9,7 mg g<sup>-1</sup>),

\*\*\*kein Wert für Stamm

Auch bei den **Kalziumgehalten** (Tab. 8, Tab. 9) sind baumartenspezifische Unterschiede deutlich zu erkennen (hohe Werte: Ei, Es, Bah, EbEs, Hol und geringe Werte: Ki, Bi, Fi). Zwischen den beiden Höhenklassen sind keine gleichläufigen Unterschiede ersichtlich. Standortsunterschiede wirken sich vergleichsweise gering aus.

**Tab. 8: Mittlere Ca-Gehalte [mg g<sup>-1</sup>], Gehölze <1 m Höhe (gewichtet)**

<b>Bart</b>	<b>Ca alle STO</b>	<b>Ca arme STO</b>	<b>Ca mittlere STO</b>	<b>Ca reiche STO</b>
Bah	8,245	7,637	8,179	8,920
Bi	4,730	5,220	4,240	-
Bu	5,785	5,339	5,742	6,274
EbEs	6,807	5,974	6,568	7,880
Ei	7,594	7,666*	8,787	6,333
Es	9,923	10,831	10,203	8,736
Faulb	6,418	7,245	5,590	-
Fi	4,826	4,842	4,810	-
Ginst	2,875	1,917	2,942	3,765
Holu	9,280	-	13,146	5,414
Ki	3,024	3,264	2,784	-

\*Ca Ei; arm; <1m; unplausibler Wert Blatt (18,24 mg g<sup>-1</sup>) gestrichen und durch Wert Ei >1 m ersetzt (10,39 mg g<sup>-1</sup>)

**Tab. 9: Mittlere Ca-Gehalte [mg g<sup>-1</sup>], Gehölze >1 m Höhe (gewichtet)**

<b>Bart</b>	<b>Ca alle STO</b>	<b>Ca arme STO</b>	<b>Ca mittlere STO</b>	<b>Ca reiche STO</b>
Bah	8,397	6,821	7,735	10,635
Bi	4,383	4,705	4,061	-
Bu	4,337	3,731	4,264	5,016
EbEs	7,450	8,471	7,570	6,308
Ei	7,731	2,891**	8,054	12,249
Es	6,347	-	8,643	4,051***
Faulb	5,842	6,549	5,136	-
Fi	4,442	4,774	4,109	-
Ginst	2,587	-****	2,501	-
Holu	4,899	-	4,537	5,261
Ki	3,380	3,237	3,522	-

\*\*Ca Ei; arm; >1m; unplausibler Wert Stamm (11,52 mg g<sup>-1</sup>) gestrichen

\*\*\*Ca Es; reich; >1m; unplausibler Wert Stamm (9,24 mg g<sup>-1</sup>) gestrichen

\*\*\*\*kein Wert für Stamm

Baumartenspezifische Unterschiede sind bei den **Kaliumgehalten** vorhanden (Tab. 10, Tab. 11). Die höchsten Werte weist der Schwarze Holunder auf, die geringsten Fichte. Auch die beiden Höhenklassen unterschieden sich in einigen Fällen. Grund hierfür kann der höhere Rindenanteil mit höherer Kaliumkonzentration (vgl. Jacobsen et al. 2003) in der niedrigeren Höhenklasse sein. Die Unterschiede in der Standortstrophie wirken sich bei einigen Arten deutlich in Form von unterschiedlichen Kaliumgehalten aus, bei anderen weniger.

**Tab. 10: Mittlere K-Gehalte [mg g<sup>-1</sup>], Gehölze <1 m Höhe (gewichtet)**

<b>Bart</b>	<b>K alle STO</b>	<b>K arme STO</b>	<b>K mittlere STO</b>	<b>K reiche STO</b>
Bah	6,360	5,035	6,944	7,102
Bi	6,565	6,510	6,620	-
Bu	3,609	3,051	4,215	3,562
EbEs	6,212	4,802	5,758	8,076
Ei	6,917	5,685	7,834	7,232
Es	8,681	7,816	8,453	9,773
Faulb	8,792	8,233	9,350	-
Fi	3,378	3,321	3,435	-
Ginst	7,886	6,391	7,033	10,234
Holu	32,523	-	39,323	25,724
Ki	4,475	4,344	4,606	-

**Tab. 11: Mittlere K-Gehalte [mg g<sup>-1</sup>], Gehölze >1 m Höhe (gewichtet)**

<b>Bart</b>	<b>K alle STO</b>	<b>K arme STO</b>	<b>K mittlere STO</b>	<b>K reiche STO</b>
Bah	5,188	4,332	6,477	4,754
Bi	3,561	3,447	3,676	-
Bu	2,785	2,435	2,958	2,962
EbEs	3,721	3,404	3,852	3,907
Ei	4,159	3,709	3,771	4,997
Es	6,580	-	7,234	5,926
Faulb	5,028	6,086	3,970	-
Fi	3,307	3,058	3,555	-
Ginst	4,972	-*	5,984	-
Holu	13,765	-	14,564	12,966
Ki	3,995	3,465	4,526	-

\*kein Wert für Stamm

Baumartenspezifische Unterschiede sind auch bei den **Magnesiumgehalten** deutlich erkennbar (Tab. 12, Tab. 13). Die niedrigeren Gehalte in der höheren Höhenklasse sind wahrscheinlich ähnlich wie beim Kaliumgehalt auf die geringeren Rindenanteile zurückzuführen. Die Wirkung von Standortsunterschiede auf die Gehalte ist dagegen eher gering ausgeprägt.

**Tab. 12: Mittlere Mg-Gehalte [mg g<sup>-1</sup>], Gehölze <1 m Höhe (gewichtet)**

<b>Bart</b>	<b>Mg alle STO</b>	<b>Mg arme STO</b>	<b>Mg mittlere STO</b>	<b>Mg reiche STO</b>
Bah	1,911	1,920	2,129	1,683
Bi	1,461	1,468	1,454	-
Bu	1,286	1,063	1,083	1,712
EbEs	1,944	1,681	1,950	2,202
Ei	1,518	1,409	1,779	1,366
Es	2,845	3,236	2,347	2,951
Faulb	1,679	1,502	1,856	-
Fi	1,037	0,958	1,117	-
Ginst	1,971	1,383	2,120	2,409
Holu	6,031	-	7,222	4,840
Ki	0,944	0,950	0,938	-

**Tab. 13: Mittlere Mg-Gehalte [mg g<sup>-1</sup>], Gehölze >1 m Höhe (gewichtet)**

<b>Bart</b>	<b>Mg alle STO</b>	<b>Mg arme STO</b>	<b>Mg mittlere STO</b>	<b>Mg reiche STO</b>
Bah	1,511	1,378	2,178	0,976
Bi	0,810	0,824	0,795	-
Bu	0,770	0,655	0,825	0,831
EbEs	1,188	1,058	1,525	0,979
Ei	1,079	1,065	1,087	1,086
Es	1,663	-	1,600	1,727
Faulb	1,280	1,637	0,924	-
Fi	0,846	0,778	0,915	-
Ginst	1,511	-*	1,568	-
Holu	3,504	-	3,692	3,317
Ki	0,704	0,672	0,736	-

\*kein Wert für Stamm

Auch bei den **Phosphorgehalten** liegen klare Unterschiede zwischen verschiedenen Baumarten vor (Tab. 14, Tab. 15). Analog zu den Kalium- und Magnesiumgehalten besitzt die größere Höhenklasse in ihrer Pflanzensubstanz geringere Gehalte. Standortsunterschiede sind stärker bei den höheren Pflanzen zu verzeichnen; die Unterschiede sind aber nicht eindeutig interpretierbar.

**Tab. 14: Mittlere P-Gehalte [mg g<sup>-1</sup>], Gehölze <1 m Höhe (gewichtet)**

<b>Bart</b>	<b>P alle STO</b>	<b>P arme STO</b>	<b>P mittlere STO</b>	<b>P reiche STO</b>
Bah	1,260	1,130	1,306	1,343
Bi	1,262	1,031	1,493	-
Bu	1,033	0,693	0,954	1,452
EbEs	0,977	0,778	1,006	1,148
Ei	1,187	0,889	1,338	1,334
Es	1,028	0,830	0,894	1,360
Faulb	1,146	1,379	0,914	-
Fi	0,973	1,044	0,901	-
Ginst	0,993	0,844	1,019	1,116
Holu	2,105	-	2,413	1,797
Ki	0,864	0,706	1,022	-

**Tab. 15: Mittlere P-Gehalte [mg g<sup>-1</sup>], Gehölze >1 m Höhe (gewichtet)**

<b>Bart</b>	<b>P alle STO</b>	<b>P arme STO</b>	<b>P mittlere STO</b>	<b>P reiche STO</b>
Bah	0,894	0,786	1,073	0,823
Bi	0,683	0,641	0,725	-
Bu	0,538	0,430	0,567	0,617
EbEs	0,607	0,660	0,660	0,500
Ei	0,725	0,555	0,818	0,801
Es	0,686	-	0,754	0,617
Faulb	0,759	1,012	0,507	-
Fi	0,751	0,702	0,800	-
Ginst	0,836	*	0,873	-
Holu	1,299	--	1,387	1,211
Ki	0,682	0,583	0,782	-

\*kein Wert für Stamm

Bei den **Schwefelgehalten** liegen ähnliche Befunde wie bei den Phosphorgehalten vor (Tab. 16, Tab. 17): Baumartenspezifische Unterschiede, höhere Gehalte in der kleineren Höhenklasse und vergleichsweise geringe Standortsunterschiede. Letztere sind ebenfalls nicht klar interpretierbar.

**Tab. 16: Mittlere S-Gehalte [mg g<sup>-1</sup>], Gehölze <1 m Höhe (gewichtet)**

<b>Bart</b>	<b>S alle STO</b>	<b>S arme STO</b>	<b>S mittlere STO</b>	<b>S reiche STO</b>
Bah	1,178	1,240	1,058	1,237
Bi	0,893	0,949	0,837	
Bu	0,714	0,695	0,760	0,687
EbEs	0,681	0,568	0,544	0,931
Ei	0,896	0,788	1,029	0,869
Es	1,437	1,522	1,298	1,489
Faulb	0,782	0,809	0,754	-
Fi	0,698	0,708	0,687	-
Ginst	1,027	1,036	0,970	1,074
Holu	2,081	-	2,568	1,593
Ki	0,745	0,711	0,779	-

**Tab. 17: Mittlere S-Gehalte [mg g<sup>-1</sup>], Gehölze >1 m Höhe (gewichtet)**

<b>Bart</b>	<b>S alle STO</b>	<b>S arme STO</b>	<b>S mittlere STO</b>	<b>S reiche STO</b>
Bah	0,885	1,026	0,879	0,750
Bi	0,552	0,524	0,579	
Bu	0,455	0,404	0,486	0,474
EbEs	0,432	0,442	0,476	0,379
Ei	0,573	0,631	0,583	0,504
Es	0,974	-	1,043	0,906
Faulb	0,655	0,788	0,522	-
Fi	0,589	0,537	0,641	-
Ginst	0,761	-*	0,689	-
Holu	1,256	-	1,225	1,288
Ki	0,573	0,562	0,583	-

\*kein Wert für Stamm

Insgesamt ist feststellbar, dass sich die Standortsklassifikation in die Straten reich, mittel und arm bei einigen Elementen (C, N, Ca, Mg) wenig und anderen Elementen (K, P, S) z. T. nicht gleichläufig auf die Gehalte in den Gesamtpflanzen auswirken (vgl. auch Anhang 2). Für die Elementvorratsmodellierung auf Basis des PhytoCalc-Ansatzes bzw. des Einzelbaumansatzes wird daher die Verwendung der über alle Standorte gemittelten Gehalte empfohlen.

### 3.5.2 Elementgehalte der Gehölze nach Kompartimenten getrennt

Für die Elementvorratsmodellierung auf Einzelbaumbasis besteht die Möglichkeit, einzelne Kompartimente (Blätter/Nadeln, Triebe und Stamm) einzeln zu modellieren. Die folgenden Tabellen liefern die mittleren gewichteten Gehalte für die Höhenklassen unter und über 1 Meter. Analog zu der PhytoCalc-Modellierung wird hier ebenfalls auf eine Standortsdifferenzierung verzichtet.



**Tab. 18: Mittlere Elementgehalte der Pflanzenkompartimente [mg g<sup>-1</sup>] getrennt nach Baumart und Standortsklasse (gewichtet); Gehölze <1 m, Trieb: verholzte oberirdische Sprosssteile.**

Bart	STO-Klasse	C Blatt	C Trieb	N Blatt	N Trieb	Ca Blatt	Ca Trieb	K Blatt	K Trieb	Mg Blatt	Mg Trieb	P Blatt	P Trieb	S Blatt	S Trieb
Bah	a	461,1	486,1	19,800	5,900	15,790	5,178	10,650	3,342	4,611	1,109	2,285	0,782	3,639	0,516
	m	476,3	480,2	24,000	8,400	10,750	7,325	11,870	5,307	4,090	1,477	1,967	1,087	1,999	0,746
	r	462,8	482,3	24,000	6,900	12,980	7,449	13,380	4,827	3,416	1,055	2,501	0,923	2,588	0,747
	Mittel	<b>466,7</b>	<b>482,9</b>	<b>22,600</b>	<b>7,067</b>	<b>13,173</b>	<b>6,651</b>	<b>11,967</b>	<b>4,492</b>	<b>4,039</b>	<b>1,214</b>	<b>2,251</b>	<b>0,931</b>	<b>2,742</b>	<b>0,670</b>
Bi	a	494,3	506,1	24,400	6,500	7,415	3,606	10,850	3,321	2,709	0,556	1,606	0,608	1,655	0,430
	m	502,7	501,8	22,700	6,500	6,349	3,073	11,020	4,186	2,928	0,639	2,535	0,916	1,555	0,440
	Mittel	<b>498,5</b>	<b>504,0</b>	<b>23,550</b>	<b>6,500</b>	<b>6,882</b>	<b>3,340</b>	<b>10,935</b>	<b>3,754</b>	<b>2,819</b>	<b>0,598</b>	<b>2,071</b>	<b>0,762</b>	<b>1,605</b>	<b>0,435</b>
Bu	a	493,0	489,9	25,200	6,700	7,381	4,849	5,623	2,433	2,366	0,750	1,251	0,559	1,713	0,451
	m	481,2	498,7	26,100	7,500	7,646	5,199	7,179	3,370	2,284	0,741	1,380	0,832	1,747	0,478
	r	482,2	499,2	25,300	8,000	8,070	5,884	7,428	2,723	3,209	1,387	1,596	1,421	1,702	0,467
	Mittel	<b>485,5</b>	<b>495,9</b>	<b>25,533</b>	<b>7,400</b>	<b>7,699</b>	<b>5,311</b>	<b>6,743</b>	<b>2,842</b>	<b>2,620</b>	<b>0,959</b>	<b>1,409</b>	<b>0,937</b>	<b>1,721</b>	<b>0,465</b>
EbEs	a	469,8	484,4	20,000	6,700	11,800	4,802	11,160	3,524	4,701	1,074	1,280	0,677	1,151	0,451
	m	472,7	484,2	19,800	6,700	12,550	5,326	16,240	3,583	5,072	1,302	1,702	0,861	1,100	0,429
	r	-*	-*	-*	-*	11,290	4,470	12,770	3,381	3,310	1,094	1,522	0,774	1,477	0,384
	Mittel	<b>471,3</b>	<b>484,3</b>	<b>19,900</b>	<b>6,700</b>	<b>11,880</b>	<b>4,866</b>	<b>13,390</b>	<b>3,496</b>	<b>4,361</b>	<b>1,157</b>	<b>1,501</b>	<b>0,771</b>	<b>1,243</b>	<b>0,421</b>
Ei	a	483,9	488,0	23,100	7,400	- <sup>1</sup>	6,270	9,952	3,499	2,594	0,802	1,724	0,461	1,373	0,489
	m	476,0	489,6	22,500	7,000	9,668	7,482	10,260	4,239	2,415	0,837	1,747	0,731	1,392	0,492
	r	483,4	480,9	23,200	6,900	7,202	5,891	12,810	4,390	2,082	1,002	2,442	0,769	1,630	0,482
	Mittel	<b>481,1</b>	<b>486,2</b>	<b>22,933</b>	<b>7,100</b>	<b>8,435</b>	<b>6,548</b>	<b>11,007</b>	<b>4,043</b>	<b>2,364</b>	<b>0,880</b>	<b>1,971</b>	<b>0,654</b>	<b>1,465</b>	<b>0,488</b>
Es	a	456,5	483,9	16,400	5,900	18,620	6,032	11,240	5,707	6,893	0,983	1,109	0,658	3,055	0,578
	m	451,7	489,4	24,500	7,500	22,190	6,654	13,490	6,962	6,705	1,057	1,277	0,780	2,897	0,825
	r	468,6	485,6	28,600	8,300	15,800	5,219	14,990	7,176	6,311	1,278	1,827	1,127	2,963	0,755
	Mittel	<b>458,9</b>	<b>486,3</b>	<b>23,167</b>	<b>7,233</b>	<b>18,870</b>	<b>5,968</b>	<b>13,240</b>	<b>6,615</b>	<b>6,636</b>	<b>1,106</b>	<b>1,404</b>	<b>0,855</b>	<b>2,972</b>	<b>0,719</b>
Faulb	a	462,3	497,7	26,100	5,200	11,670	5,155	18,750	3,264	2,828	0,875	2,803	0,706	1,824	0,330
	m	461,2	500,2	25,500	4,600	10,210	3,539	22,950	3,312	3,849	0,971	1,873	0,488	1,802	0,289
	Mittel	<b>461,8</b>	<b>499,0</b>	<b>25,800</b>	<b>4,900</b>	<b>10,940</b>	<b>4,347</b>	<b>20,850</b>	<b>3,288</b>	<b>3,339</b>	<b>0,923</b>	<b>2,338</b>	<b>0,597</b>	<b>1,813</b>	<b>0,310</b>
Fi	a	497,0	525,8	15,900	9,700	6,651	3,487	3,957	2,844	1,216	0,765	1,225	0,909	0,978	0,506
	m	492,7	532,8	16,200	8,200 <sup>2</sup>	6,482	3,621	3,637	3,292	1,392	0,921	1,014	0,821	0,962	0,492
	Mittel	<b>494,9</b>	<b>529,3</b>	<b>16,050</b>	<b>8,950</b>	<b>6,567</b>	<b>3,554</b>	<b>3,797</b>	<b>3,068</b>	<b>1,304</b>	<b>0,843</b>	<b>1,120</b>	<b>0,865</b>	<b>0,970</b>	<b>0,499</b>
Ginst	a	487,2	504,2	37,600	15,200	6,673	1,644	10,810	6,137	2,392	1,325	1,592	0,801	1,816	0,991
	m	482,5	484,9	43,800	14,900	10,960	1,758	10,010	6,593	4,588	1,756	1,888	0,891	2,085	0,805
	r	-*	481,6	-*	16,200	8,212	2,795	21,700	7,732	6,591	1,497	1,845	0,957	2,053	0,861
	Mittel	<b>484,9</b>	<b>490,2</b>	<b>40,700</b>	<b>15,433</b>	<b>8,615</b>	<b>2,066</b>	<b>14,173</b>	<b>6,821</b>	<b>4,524</b>	<b>1,526</b>	<b>1,775</b>	<b>0,883</b>	<b>1,985</b>	<b>0,886</b>
Holu	m	406,3	430,0	52,100	21,400	16,000	7,541	43,220	31,670	9,528	2,695	2,845	1,566	3,272	1,187
	r	406,6	478,6	37,600	11,100	10,860	2,911	47,440	15,740	10,420	2,275	2,536	1,457	3,056	0,920
	Mittel	<b>406,5</b>	<b>454,3</b>	<b>44,850</b>	<b>16,250</b>	<b>13,430</b>	<b>5,226</b>	<b>45,330</b>	<b>23,705</b>	<b>9,974</b>	<b>2,485</b>	<b>2,691</b>	<b>1,512</b>	<b>3,164</b>	<b>1,054</b>
Ki	a	501,0	512,2	15,800	6,500	3,054	3,357	6,863	3,227	1,091	0,888	1,009	0,572	1,046	0,563
	m	504,6	506,2	15,000	6,900	3,655	1,966	5,262	3,990	1,007	0,874	1,232	0,824	1,018	0,555
	Mittel	<b>502,8</b>	<b>509,2</b>	<b>15,400</b>	<b>6,700</b>	<b>3,355</b>	<b>2,662</b>	<b>6,063</b>	<b>3,609</b>	<b>1,049</b>	<b>0,881</b>	<b>1,121</b>	<b>0,698</b>	<b>1,032</b>	<b>0,559</b>

\* Nicht genügend Probenmaterial für die Analyse, <sup>1</sup>Unplausibler Wert gestrichen, <sup>2</sup>Unplausibler Wert ersetzt durch Wert >1 m

**Tab. 19: Mittlere Elementgehalte der Pflanzenkompartimente [mg g<sup>-1</sup>] getrennt nach Baumart und Standortklasse (gewichtet); Gehölze >1 m**

Bart	STO-Klasse	C Blatt	C Trieb	C Stamm	N Blatt	N Trieb	N Stamm	Ca Blatt	Ca Trieb	Ca Stamm	K Blatt	K Trieb	K Stamm	Mg Blatt	Mg Trieb	Mg Stamm	P Blatt	P Trieb	P Stamm	S Blatt	S Trieb	S Stamm
Bah	a	450,8	486,7	468,6	23,300	7,700	5,600	14,150	6,873	5,806	14,040	5,070	2,901	5,003	1,299	0,889	2,037	0,920	0,596	4,488	0,861	0,571
	m	467,3	488,3	472,3	25,200	8,800	6,300	13,830	7,235	5,632	12,160	5,566	4,713	5,785	1,698	1,015	1,864	1,079	0,768	1,963	0,707	0,541
	r	460,9	480,5	468,2	24,700	8,700	6,400	15,590	9,710	10,140	15,430	5,513	3,431	3,236	0,953	0,713	2,148	0,911	0,659	2,352	0,793	0,558
	Mittel	<b>459,7</b>	<b>485,2</b>	<b>469,7</b>	<b>24,400</b>	<b>8,400</b>	<b>6,100</b>	<b>14,523</b>	<b>7,939</b>	<b>7,193</b>	<b>13,877</b>	<b>5,383</b>	<b>3,682</b>	<b>4,675</b>	<b>1,317</b>	<b>0,872</b>	<b>2,016</b>	<b>0,970</b>	<b>0,674</b>	<b>2,934</b>	<b>0,787</b>	<b>0,557</b>
Bi	a	499,5	511,1	496,1	24,400	7,500	4,600	9,325	4,135	3,776	10,270	3,015	1,918	2,852	0,593	0,409	1,732	0,632	0,374	1,668	0,466	0,263
	m	511,1	507,7	506,6	23,400	6,800	5,100	7,884	3,250	3,301	9,253	3,221	2,116	2,346	0,592	0,409	1,693	0,686	0,429	1,639	0,476	0,292
	Mittel	<b>505,3</b>	<b>509,4</b>	<b>501,4</b>	<b>23,900</b>	<b>7,150</b>	<b>4,850</b>	<b>8,605</b>	<b>3,693</b>	<b>3,539</b>	<b>9,762</b>	<b>3,118</b>	<b>2,017</b>	<b>2,599</b>	<b>0,593</b>	<b>0,409</b>	<b>1,713</b>	<b>0,659</b>	<b>0,402</b>	<b>1,654</b>	<b>0,471</b>	<b>0,278</b>
Bu	a	488,8	499,4	476,5	26,100	6,900	4,500	7,491	4,846	2,928	7,017	2,461	1,996	2,325	0,799	0,441	1,302	0,596	0,282	1,816	0,462	0,249
	m	485,7	509	497,4	26,900	7,300	3,300	7,919	5,218	3,013	7,343	2,882	2,058	2,727	0,795	0,433	1,396	0,754	0,298	1,842	0,436	0,221
	r	488,7	499	476,5	26,600	7,400	4,100	8,369	7,064	3,450	7,329	2,476	2,318	2,712	0,828	0,462	1,476	0,789	0,372	1,683	0,436	0,253
	Mittel	<b>487,7</b>	<b>502,5</b>	<b>483,5</b>	<b>26,533</b>	<b>7,200</b>	<b>3,967</b>	<b>7,926</b>	<b>5,709</b>	<b>3,130</b>	<b>7,230</b>	<b>2,606</b>	<b>2,124</b>	<b>2,588</b>	<b>0,807</b>	<b>0,445</b>	<b>1,391</b>	<b>0,713</b>	<b>0,317</b>	<b>1,780</b>	<b>0,445</b>	<b>0,241</b>
EbEs	a	474,2	501,1	481,7	21,300	7,500	5,000	15,620	6,502	8,182	12,230	3,633	2,241	3,804	1,142	0,693	2,034	0,820	0,441	1,232	0,459	0,339
	m	490,7	494	491,5	19,700	8,700	6,000	14,480	5,667	7,216	11,420	4,720	2,100	4,959	1,481	0,932	1,294	1,005	0,388	1,206	0,444	0,360
	r	474,1	493,4	493,8	20,500	7,800	4,500	10,630	5,787	6,162	23,470	5,407	2,224	3,233	1,116	0,795	1,390	0,745	0,377	1,166	0,467	0,304
	Mittel	<b>479,7</b>	<b>496,2</b>	<b>489,0</b>	<b>20,500</b>	<b>8,000</b>	<b>5,167</b>	<b>13,577</b>	<b>5,985</b>	<b>7,187</b>	<b>15,707</b>	<b>4,587</b>	<b>2,188</b>	<b>3,999</b>	<b>1,246</b>	<b>0,807</b>	<b>1,573</b>	<b>0,857</b>	<b>0,402</b>	<b>1,201</b>	<b>0,457</b>	<b>0,334</b>
Ei	a	481,3	489,3	487	24,700	6,600	6,000	10,390	6,649	- <sup>1</sup>	8,297	3,984	2,771	2,168	0,792	0,979	1,548	0,597	0,359	1,690	0,502	0,493
	m	477,6	487,6	479,1	25,800	8,100	5,600	8,898	7,363	8,261	9,044	4,179	2,891	2,021	1,069	0,973	2,078	1,005	0,567	1,687	0,578	0,440
	r	469,2	482,9	480,3	20,300	5,200	4,100	18,820	12,890	10,870	9,743	4,655	4,197	2,678	0,901	0,834	1,742	1,010	0,575	1,360	0,388	0,373
	Mittel	<b>476,0</b>	<b>486,6</b>	<b>482,1</b>	<b>23,600</b>	<b>6,633</b>	<b>5,233</b>	<b>12,703</b>	<b>8,967</b>	<b>9,566</b>	<b>9,028</b>	<b>4,273</b>	<b>3,286</b>	<b>2,289</b>	<b>0,921</b>	<b>0,929</b>	<b>1,789</b>	<b>0,871</b>	<b>0,500</b>	<b>1,579</b>	<b>0,489</b>	<b>0,435</b>
Es	m	450,8	492,1	475	29,600	8,400	4,800	22,470	8,502	5,720	17,990	10,300	4,332	6,352	1,352	0,635	1,765	0,843	0,521	3,912	0,818	0,475
	r	458,6	491,3	479,2	26,800	8,100	5,500	22,800	7,604	- <sup>1</sup>	9,627	7,510	4,838	8,121	1,425	0,839	1,925	0,832	0,345	3,340	0,776	0,573
	Mittel	<b>454,7</b>	<b>491,7</b>	<b>477,1</b>	<b>28,200</b>	<b>8,250</b>	<b>5,150</b>	<b>22,635</b>	<b>8,053</b>	<b>5,720</b>	<b>13,809</b>	<b>8,905</b>	<b>4,585</b>	<b>7,237</b>	<b>1,389</b>	<b>0,737</b>	<b>1,845</b>	<b>0,838</b>	<b>0,433</b>	<b>3,626</b>	<b>0,797</b>	<b>0,524</b>
Faulb	a	479,9	507,8	493,9	31,500	11,000	3,200	11,020	4,835	5,630	17,420	2,880	1,662	3,536	1,117	0,864	2,431	0,623	0,434	2,085	0,431	0,263
	m	486,3	505,9	494,1	28,300	6,200	3,200	10,420	4,153	4,225	14,060	3,309	1,835	2,115	0,913	0,650	1,622	0,457	0,264	1,914	0,390	0,241
	Mittel	<b>483,1</b>	<b>506,9</b>	<b>494,0</b>	<b>29,900</b>	<b>8,600</b>	<b>3,200</b>	<b>10,720</b>	<b>4,494</b>	<b>4,928</b>	<b>15,740</b>	<b>3,095</b>	<b>1,749</b>	<b>2,826</b>	<b>1,015</b>	<b>0,757</b>	<b>2,027</b>	<b>0,540</b>	<b>0,349</b>	<b>2,000</b>	<b>0,411</b>	<b>0,252</b>
Fi	a	500,1	530,2	501,4	16,200	9,700	2,800	8,405	3,845	2,763	5,277	2,822	1,543	1,282	0,749	0,412	1,096	0,779	0,329	0,997	0,494	0,217
	m	492,2	528,9	508,7	18,000	8,200	4,300	5,969	3,438	2,618	4,980	3,624	1,935	1,270	0,875	0,558	1,115	0,784	0,467	1,075	0,516	0,267
	Mittel	<b>496,2</b>	<b>529,6</b>	<b>505,1</b>	<b>17,100</b>	<b>8,950</b>	<b>3,550</b>	<b>7,187</b>	<b>3,642</b>	<b>2,691</b>	<b>5,129</b>	<b>3,223</b>	<b>1,739</b>	<b>1,276</b>	<b>0,812</b>	<b>0,485</b>	<b>1,106</b>	<b>0,782</b>	<b>0,398</b>	<b>1,036</b>	<b>0,505</b>	<b>0,242</b>
Ginst	a	486	488,9	-*	42,000	14,000	-*	12,390	1,996	-*	7,496	3,713	-*	4,162	1,266	-*	1,744	0,732	-*	1,987	0,752	-*
	m	489,8	487,6	480,1	51,300	16,200	8,500	11,700	2,198	1,698	12,640	6,601	4,781	3,405	1,540	1,383	2,159	0,999	0,636	2,438	0,834	0,386
	Mittel	<b>487,9</b>	<b>488,3</b>	<b>480,1</b>	<b>46,650</b>	<b>15,100</b>	<b>8,500</b>	<b>12,045</b>	<b>2,097</b>	<b>1,698</b>	<b>10,068</b>	<b>5,157</b>	<b>4,781</b>	<b>3,784</b>	<b>1,403</b>	<b>1,383</b>	<b>1,952</b>	<b>0,866</b>	<b>0,636</b>	<b>2,213</b>	<b>0,793</b>	<b>0,386</b>
Holu	m	443,9	471,7	491,3	36,500	14,600	10,800	10,290	4,110	3,721	31,170	22,980	9,749	10,170	3,064	2,810	2,321	1,329	1,252	3,362	1,136	0,904
	r	427,5	485,3	500,8	48,300	15,500	10,100	15,410	3,240	4,605	42,030	12,770	8,323	11,120	2,588	2,405	2,075	1,360	0,997	4,071	1,225	0,865
	Mittel	<b>435,7</b>	<b>478,5</b>	<b>496,1</b>	<b>42,400</b>	<b>15,050</b>	<b>10,450</b>	<b>12,850</b>	<b>3,675</b>	<b>4,163</b>	<b>36,600</b>	<b>17,875</b>	<b>9,036</b>	<b>10,645</b>	<b>2,826</b>	<b>2,608</b>	<b>2,198</b>	<b>1,345</b>	<b>1,125</b>	<b>3,717</b>	<b>1,181</b>	<b>0,885</b>
Ki	a	507,3	512,2	511,3	15,300	5,900	4,100	3,491	2,880	3,262	6,968	3,038	2,328	0,824	0,609	0,637	1,095	0,479	0,430	1,090	0,546	0,375
	m	508,2	509,5	509,2	13,600	5,500	4,300	4,006	2,677	3,638	6,797	3,903	3,335	0,765	0,636	0,768	1,091	0,601	0,670	0,945	0,494	0,389
	Mittel	<b>507,8</b>	<b>510,9</b>	<b>510,3</b>	<b>14,450</b>	<b>5,700</b>	<b>4,200</b>	<b>3,749</b>	<b>2,779</b>	<b>3,450</b>	<b>6,883</b>	<b>3,471</b>	<b>2,832</b>	<b>0,795</b>	<b>0,623</b>	<b>0,703</b>	<b>1,093</b>	<b>0,540</b>	<b>0,550</b>	<b>1,018</b>	<b>0,520</b>	<b>0,382</b>

\* Nicht genügend Probenmaterial für die Analyse, <sup>1</sup>Unplausibler Wert gestrichen

### **3.6 Modellbildung**

Sowohl für die beprobten Einzelpflanzen als auch für die im Rahmen des PhytoCalc-Ansatzes aufgenommen Gehölzproben wurden Biomassefunktionen für unterschiedliche Kompartimente und Höhenklassen angepasst. Durch die Multiplikation der Biomassen mit den zuvor ermittelten Elementgehalten lassen sich in einem weiteren Schritt die jeweiligen Elementvorräte ermitteln. Da der Probenumfang im Rahmen einer Pilotstudie notgedrungen limitiert ist, konnten leider keine Rückstellproben zur Überprüfung bzw. Validierung der Modellfunktionen gebildet werden.

#### **3.6.1 Biomassemodelle für Einzelbäume**

Für die in die Untersuchung einbezogenen Gehölzarten wurden im Rahmen der EinzelStammmodellierung Biomassefunktionen für die folgenden Kompartimente ermittelt:

1) Gesamtbiomasse der Individuen (TSg)

für das gesamte Kollektiv

für Stämmchen <1 m

für Stämmchen >1 m

2) Biomasse der Stämmchen (TSs)

für Stämmchen >1 m

3) Biomasse der Äste (TSa)

für Stämmchen >1 m

4) Biomasse der Äste und Stämmchen (TSas)

für Stämmchen <1 m

5) Biomasse der Nadeln / Blätter (TSn/b)

für das gesamte Kollektiv

für Stämmchen <1 m

für Stämmchen >1 m

Anhand von Voruntersuchungen (vgl. auch Kap. 3.3) erwiesen sich der Wurzelhalsdurchmesser bzw. die Höhe als beste Eingangsgrößen für die Schätzung. Weitere

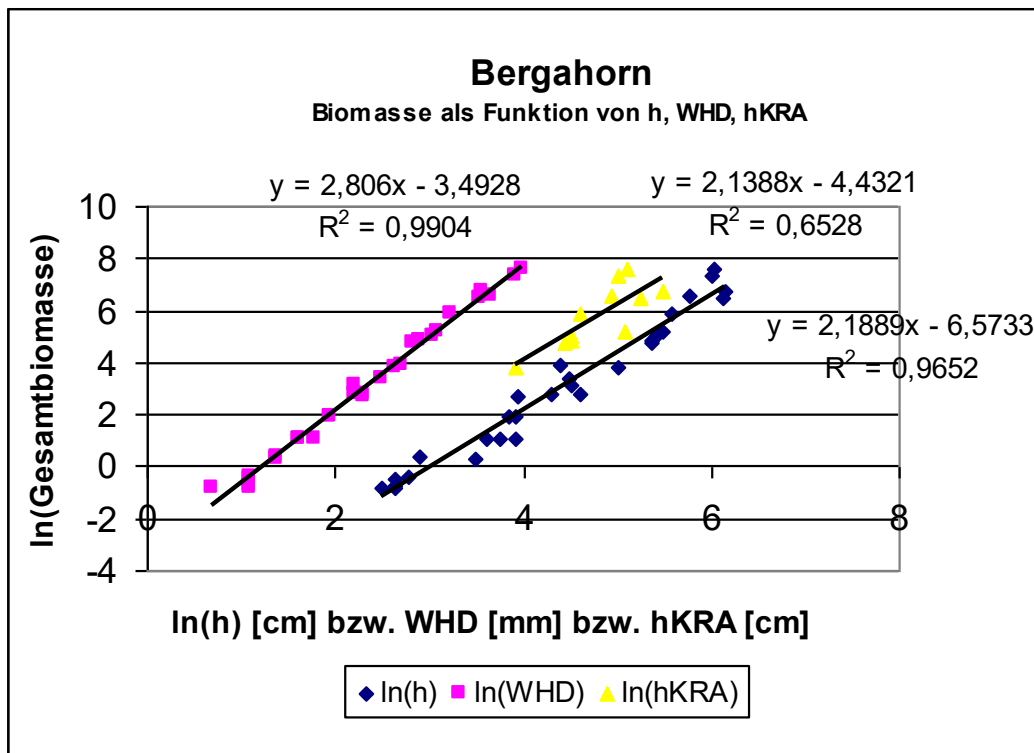
Variablen trugen nicht zur Verbesserung der Schätzung bei bzw. wurden aufgrund der relativ geringen Probenzahl als nicht geeignet verworfen.

Als Funktionstyp wurde eine doppelt logarithmische Funktion vom Typ gewählt:

$$\ln(TS_{\_}) = a + b \cdot \ln(WHD) + c \cdot \ln(H) \quad (1)$$

mit TS: Trockensubstanz; WHD: Wurzelhalsdurchmesser; H: Stammhöhe;  
a, b, c: empirische Parameter

Durch das Logarithmieren sowohl der abhängigen als auch der unabhängigen Größe(n) wird der Zusammenhang zwischen diesen Größen linearisiert und lässt sich mit Hilfe linearer Regressionsansätze leicht schätzen. Abb. 5 zeigt dies exemplarisch für die Stammart Bergahorn.



**Abb. 5:** Doppelt logarithmische Darstellung des Zusammenhangs zwischen Biomasse von Bergahornstämmchen und ihrem Wurzelhalsdurchmesser (WHD) bzw. ihrer Höhe oder dem Kronenansatz

Sollen mithilfe der geschätzten Koeffizienten (a, b, c) die Massen der jeweiligen Kompartimente berechnet werden, so muss folgende Delogarithmierung vorgenommen werden:

Regressionsgleichung nach Gleichung (1):  $\ln(TS_{-}) = a + b \cdot \ln(WHD) + c \cdot \ln(H)$

Schätzfunktion:  $TS_{-} = e^a \cdot WHD^b \cdot H^c$

In Tab. 20 sind die Ergebnisse der Regressionsschätzungen für die Stammart Bergahorn exemplarisch wiedergegeben. Die Trockensubstanz für ein Einzelbäumchen der Stammart Bergahorn lässt sich somit berechnen nach der allgemeinen Formel:

$$TS_{-} = e^a \cdot WHD^b \cdot H^c$$

mit:  $a = -4,2895$   
 $b = 2,1571$   
 $c = 0,5254,$

d. h. als:  $TSg = e^{-4,2895} WHD^{2,1571} H^{0,5254}$

**Tab. 20: Ergebnisse der Biomassemodellierung für die Gehölzart Bergahorn (EinzelStammmodelle)**

BAH	Klasse	Adj. R <sup>2</sup>	se	n	a	b	c
TSg	alle	0,99	0,23	29	-4,2895	2,1571	0,5254
	< 1m	0,97	0,27	18	-4,1167	2,1034	0,4996
	> 1m	0,98	0,16	11	-4,9926	2,0856	0,6950
TSs	> 1m	0,99	0,11	11	-6,1820	1,8571	0,9801
TSa	> 1m	0,82	0,58	11	-5,4962	2,9027	-0,0788
TSa+s	< 1m	0,98	0,25	18	-5,2551	2,0559	0,7293
TSn/b	alle	0,96	0,43	29	-3,9370	2,3974	-0,0273
	< 1m	0,91	0,42	18	-3,7296	2,3501	-0,0680
	> 1m	0,81	0,51	11	-3,5138	2,4577	-0,1313

TSg: Trockensubstanz: Gesamtes Individuum  
TSs: Trockensubstanz: Stämmchen  
TSa: Trockensubstanz: Äste  
TSa+s: Trockensubstanz: Äste + Stämmchen  
TSn/b: Trockensubstanz: Nadeln / Blätter  
Adj.R<sup>2</sup>: Adjustiertes Bestimmtheitsmaß  
Se: Standardfehler der Regression  
n: Probenzahl  
a,b,c: geschätzte Koeffizienten der Regressionsgleichung

### 3.6.2 Biomassemodelle PhytoCalc-Ansatz

Die Biomassemodelle nach dem Ansatz für Bodenvegetationsarten (PhytoCalc, Bolte 2006) folgen dem gleichen allometrischen Ansatz wie die Einzelstammmodellierung, aber verwenden andere Eingangsgrößen (Deckungsgrad, Mittlere Sprosslänge). Für die Analysen lagen 222 Datensätze von 11 Stammarten vor. Die Auswertung erfolgte nach Arten getrennt.

Die doppelt logarithmische Funktion (1) wird folgender Form verwendet:

$$\ln(TS_p) = a + b \cdot \ln(D) + c \cdot \ln(ML) \quad (2)$$

mit TS: Trockensubstanz; D: Deckungsgrad (%), korrigiert), mittlere Sprosslänge; a, b, c: empirische Parameter

Die Schätzfunktion für die Beispielart Bergahorn ergibt sich wie im vorhergehenden Abschnitt 3.6.1 als:

$$TS_p = e^a \cdot D^b \cdot ML^c.$$

$$\text{mit: } \begin{aligned} a &= -3,51619 \\ b &= 0,85980 \\ c &= 1,16480 \end{aligned}$$

$$\text{d.h. als: } TS_p = e^{-2,23720} \cdot D^{0,02054} \cdot ML^{1,40885}.$$

Tab. 21: Ergebnisse der Biomassemodellierung für Bergahorn (PhytoCalc-Ansatz)

Bah	Klasse	Adj. R <sup>2</sup>	se	n	a	b	c
TS <sub>p</sub>	alle	0,94	0,28	26	-3,51619	0,85980	1,16480

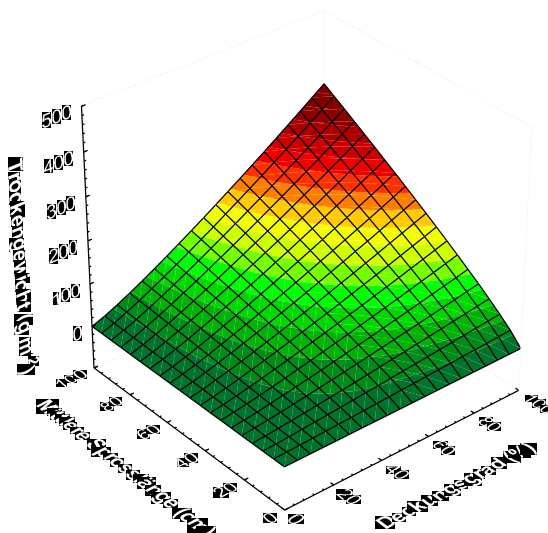


Abb. 6: Zusammenhang zwischen Deckungsgrad, mittlerer Sprosslänge und Trockensubstanzgewicht.

## 4 Biomassefunktionen

Wie in Kap. 3.6. beschrieben erfolgten bei der EinzelStammmodellierung nach Stammarten und Kompartimenten getrennte Ermittlungen der Biomasse, beim PhytoCalc-Ansatz nur nach Stammarten getrennt. Die zusammengefassten Ergebnisse der Modellierungen geben Tab. 22 und Tab. 23 wieder.

Bei der EinzelStammmodellierung zeigen sich grundsätzlich für die meisten Kompartimente gute Beziehungen, die jedoch (vgl. Kap. 3.6) der Validierung an unabhängigem Material bedürfen. Weiterhin zeigt sich, dass für die Ableitung von Stammartenspezifischen Beziehungen anhand der gesamten Proben im Allgemeinen ausreichend Material vorhanden war. Für die getrennte Untersuchung von Gehölzen unter und insbesondere auch über 1 m wäre ein höherer Stichprobenumfang wünschenswert gewesen. Dies gilt insbesondere für die Schätzung der Ast- sowie Nadel-/Blattmassen, welche generell schlechter zu schätzen waren als die Stamm- bzw. Gesamtmassen. Für die Straucharten Ginster und Holunder gilt dies in verstärktem Maße. Hier wurden daher auf eine Unterscheidung der beiden Höhenklassen verzichtet.

Bei dem PhytoCalc-Ansatz zeigen die Modelle ebenfalls eine hohe Anpassungsgüte mit korrigierten Bestimmtheitsmaßen zwischen 0,78 (Holunder) und 0,94 (Bergahorn). Für Straucharten und die Eberesche liegen teilweise unter 15 Stichproben vor, hier sind die Beziehungen als vorläufig anzusehen. Eine Validierung mit unabhängigen Stichproben ist ebenfalls anzustreben. Bei den Straucharten Ginster und Holunder sowie bei der Birke zeigt sich ein stärkerer Einfluss des Deckungsgrads auf die Biomasse (Trockensubstanz) als bei den meisten Stammarten (Tab. 23, Abb. 7). Bei Kiefer wirkt sich die Sprosslänge besonders stark auf den Biomassevorrat aus.

Tab. 22: Biomassefunktionen Einzelbäume

Biomassefunktionen									
BAH		Multipl. R	R <sup>2</sup>	Korr. R <sup>2</sup>	Standardfehler	n	Schnittpunkt	ln(WHD)	ln(h)
ln(Gesamtbiomasse)	alle	1,00	0,99	0,99	0,23	29	-4,289535	2,157119	0,525449
	< 1m	0,99	0,97	0,97	0,27	18	-4,116664	2,103417	0,499551
	> 1m	0,99	0,99	0,98	0,16	11	-4,992582	2,085614	0,694995
ln(Stämmchen)	> 1m	1,00	0,99	0,99	0,11	11	-6,182020	1,857071	0,980061
ln(Äste)	> 1m	0,93	0,86	0,82	0,58	11	-5,496173	2,902709	-0,078768
ln(Stämmchen+Äste)	< 1m	0,99	0,98	0,98	0,25	18	-5,255099	2,055909	0,729275
ln(Nadel/Blatt)	alle	0,98	0,97	0,96	0,43	29	-3,937002	2,397409	-0,027308
	< 1m	0,96	0,92	0,91	0,42	18	-3,729638	2,350116	-0,067977
	> 1m	0,92	0,85	0,81	0,51	11	-3,513773	2,457665	-0,131312
Bi		Multipl. R	R <sup>2</sup>	Korr. R <sup>2</sup>	Standardfehler	n	Schnittpunkt	ln(WHD)	ln(h)
ln(Gesamtbiomasse)	alle	0,99	0,99	0,99	0,32	26	-4,130332	1,851608	0,697924
	< 1m	0,97	0,95	0,94	0,36	18	-4,374745	1,952172	0,731565
	> 1m	0,97	0,95	0,92	0,23	8	-3,174592	2,680292	0,015936
ln(Stämmchen)	> 1m	0,97	0,94	0,92	0,03	8	0,436919	0,386270	0,008327
ln(Äste)	> 1m	0,94	0,89	0,85	0,36	8	-3,160494	3,821241	-0,922590
ln(Stämmchen+Äste)	< 1m	0,96	0,92	0,91	0,47	18	-4,586260	2,317019	0,495968
ln(Nadel/Blatt)	alle	0,99	0,98	0,97	0,43	26	-5,443849	1,128253	1,074788
	< 1m	0,97	0,94	0,93	0,40	18	-6,108247	1,369987	1,175875
	> 1m	0,89	0,79	0,71	0,39	8	-1,510284	2,816297	-0,649955
Bu		Multipl. R	R <sup>2</sup>	Korr. R <sup>2</sup>	Standardfehler	n	Schnittpunkt	ln(WHD)	ln(h)
ln(Gesamtbiomasse)	alle	1,00	0,99	0,99	0,26	29	-5,004993	1,615244	1,032451
	< 1m	0,99	0,98	0,98	0,30	19	-5,329977	1,504128	1,182288
	> 1m	0,98	0,96	0,95	0,21	10	-5,043878	1,720753	0,970839
ln(Stämmchen)	> 1m	0,97	0,95	0,93	0,04	10	0,065896	0,293750	0,134576
ln(Äste)	> 1m	0,97	0,95	0,93	0,26	10	-5,313343	2,101896	0,555856
ln(Stämmchen+Äste)	< 1m	0,99	0,99	0,99	0,28	19	-6,160292	1,719560	1,204329
ln(Nadel/Blatt)	alle	0,98	0,96	0,96	0,53	29	-5,351603	1,013842	1,045428
	< 1m	0,98	0,96	0,96	0,37	19	-5,385717	1,260222	0,945780
	> 1m	0,87	0,75	0,68	0,64	10	-11,809922	0,053434	2,714897



Tab. 22 (Fortsetzung): Biomassefunktionen Einzelbäume

Biomassefunktionen									
EbEs		Multipl. R	R <sup>2</sup>	Korr. R <sup>2</sup>	Standardfehler	n	Schnittpunkt	ln(WHD)	ln(h)
ln(Gesamtbiomasse)	alle	0,99	0,99	0,98	0,39	25	-5,941790	1,212769	1,427108
	< 1m	0,99	0,97	0,97	0,30	18	-5,511373	1,102974	1,326973
	> 1m	0,83	0,69	0,54	0,54	7	-1,918987	1,599091	0,502464
ln(Stämmchen)	> 1m	0,82	0,67	0,50	0,09	7	0,596013	0,244810	0,073419
ln(Äste)	> 1m	0,99	0,97	0,96	0,17	7	-3,011478	2,623427	-0,224208
ln(Stämmchen+Äste)	< 1m	0,99	0,97	0,97	0,31	18	-6,050794	1,218037	1,361229
ln(Nadel/Blatt)	alle	0,97	0,95	0,94	0,65	25	-7,340124	0,600717	1,582657
	< 1m	0,90	0,81	0,78	0,73	18	-7,216398	0,497185	1,581494
	> 1m	0,89	0,80	0,70	0,42	7	-4,841470	1,585207	0,552529
Ei		Multipl. R	R <sup>2</sup>	Korr. R <sup>2</sup>	Standardfehler	n	Schnittpunkt	ln(WHD)	ln(h)
ln(Gesamtbiomasse)	alle	0,99	0,97	0,97	0,58	32	-6,661256	0,985147	1,698770
	< 1m	0,95	0,89	0,88	0,63	22	-6,890656	0,992884	1,769866
	> 1m	0,89	0,80	0,74	0,57	10	-6,582892	1,002888	1,669407
ln(Stämmchen)	> 1m	0,89	0,79	0,73	0,09	10	-0,173350	0,139091	0,269606
ln(Äste)	> 1m	0,81	0,65	0,55	0,87	10	-7,789204	1,417942	1,363372
ln(Stämmchen+Äste)	< 1m	0,96	0,91	0,90	0,58	22	-7,338351	1,100074	1,739085
ln(Nadel/Blatt)	alle	0,97	0,93	0,93	0,81	32	-7,022075	0,890434	1,458498
	< 1m	0,90	0,80	0,78	0,90	22	-8,201379	0,900570	1,833317
	> 1m	0,84	0,70	0,62	0,55	10	-4,434773	1,118627	0,846263
Es		Multipl. R	R <sup>2</sup>	Korr. R <sup>2</sup>	Standardfehler	n	Schnittpunkt	ln(WHD)	ln(h)
ln(Gesamtbiomasse)	alle	0,99	0,97	0,97	0,47	26	-5,191104	1,456376	1,067198
	< 1m	0,99	0,98	0,98	0,26	16	-5,980901	1,042600	1,519227
	> 1m	0,92	0,85	0,80	0,68	10	-7,477669	1,717876	1,304360
ln(Stämmchen)	> 1m	0,99	0,98	0,97	0,04	8	-0,550342	0,245583	0,261505
ln(Äste)	> 1m	0,97	0,94	0,92	0,39	10	-9,425745	1,323742	1,574143
ln(Stämmchen+Äste)	< 1m	0,99	0,99	0,98	0,23	16	-6,623514	1,241859	1,496878
ln(Nadel/Blatt)	alle	0,98	0,97	0,97	0,44	26	-5,720194	1,258284	0,965860
	< 1m	0,96	0,92	0,90	0,49	16	-6,584228	0,877136	1,422408
	> 1m	0,98	0,96	0,95	0,27	10	-4,793887	2,340859	0,167824

Tab. 22 (Fortsetzung): Biomassefunktionen Einzelbäume

Biomassefunktionen									
Faul		Multipl. R	R <sup>2</sup>	Korr. R <sup>2</sup>	Standardfehler	n	Schnittpunkt	ln(WHD)	ln(h)
ln(Gesamtbiomasse)	alle	0,99	0,98	0,98	0,41	19	-5,374318	1,655452	1,044212
	< 1m	0,97	0,93	0,92	0,46	14	-5,805027	1,268980	1,293988
	> 1m	0,96	0,92	0,84	0,33	5	-4,805107	2,104489	0,692112
ln(Stämmchen)	> 1m	0,97	0,93	0,86	0,06	5	-0,146978	0,412270	0,103244
ln(Äste)	> 1m	0,98	0,96	0,91	0,27	5	-5,724518	2,654125	0,259865
ln(Stämmchen+Äste)	< 1m	0,97	0,94	0,92	0,51	14	-6,678752	1,709183	1,231672
ln(Nadel/Blatt)	alle	0,97	0,94	0,94	0,55	19	-5,015712	1,452494	0,737145
	< 1m	0,92	0,85	0,83	0,57	14	-5,943471	0,875969	1,193355
	> 1m	0,89	0,79	0,57	0,60	5	-4,237057	2,587539	-0,049644
Fi		Multipl. R	R <sup>2</sup>	Korr. R <sup>2</sup>	Standardfehler	n	Schnittpunkt	ln(WHD)	ln(h)
ln(Gesamtbiomasse)	alle	0,99	0,99	0,98	0,36	29	-3,318449	2,008678	0,581185
	< 1m	0,99	0,98	0,98	0,34	20	-4,365029	1,873336	0,977148
	> 1m	0,99	0,98	0,97	0,16	9	-3,075020	1,605891	0,786470
ln(Stämmchen)	> 1m	0,99	0,98	0,97	0,02	9	0,513554	0,204745	0,126366
ln(Äste)	> 1m	0,98	0,95	0,94	0,24	9	-3,700823	2,160903	0,301105
ln(Stämmchen+Äste)	< 1m	0,98	0,97	0,96	0,43	20	-5,295721	1,905118	1,044837
ln(Nadel/Blatt)	alle	0,99	0,98	0,98	0,37	29	-3,621294	2,035210	0,426521
	< 1m	0,99	0,98	0,98	0,31	20	-4,823170	1,873277	0,884113
	> 1m	0,96	0,93	0,91	0,27	9	-2,764533	1,656387	0,502662
Ginst		Multipl. R	R <sup>2</sup>	Korr. R <sup>2</sup>	Standardfehler	n	Schnittpunkt	ln(WHD)	ln(h)
ln(Gesamtbiomasse)	alle	0,98	0,96	0,96	0,38	19	-5,007328	1,475571	1,069508
	< 1m	n	-	-	-	-	-	-	-
	> 1m	n	-	-	-	-	-	-	-
ln(Stämmchen)	> 1m	n	-	-	-	-	-	-	-
ln(Äste)	> 1m	n	-	-	-	-	-	-	-
ln(Stämmchen+Äste)	alle!!!	0,98	0,96	0,95	0,41	19	-5,329752	1,568195	1,079322
ln(Nadel/Blatt)	alle	0,95	0,90	0,88	0,46	19	-6,240936	0,701319	1,109381
	< 1m	n	-	-	-	-	-	-	-
	> 1m	n	-	-	-	-	-	-	-

**Tab. 22 (Fortsetzung): Biomassefunktionen Einzelbäume**

Biomassefunktionen									
Hol		Multipl. R	R <sup>2</sup>	Korr. R <sup>2</sup>	Standardfehler	n	Schnittpunkt	ln(WHD)	ln(h)
ln(Gesamtbiomasse)	alle	0,99	0,98	0,98	0,32	16	-5,596683	1,133249	1,366231
	< 1m	n	-	-	-	-	-	-	-
	> 1m	n	-	-	-	-	-	-	-
ln(Stämmchen)	> 1m	n	-	-	-	-	-	-	-
ln(Äste)	> 1m	n	-	-	-	-	-	-	-
ln(Stämmchen+Äste)	alle!!!	0,99	0,98	0,97	0,38	16	-6,697415	1,685368	1,207866
ln(Nadel/Blatt)	alle	0,93	0,86	0,83	0,66	16	-4,956678	0,486142	1,248850
	< 1m	n	-	-	-	-	-	-	-
	> 1m	n	-	-	-	-	-	-	-
Ki		Multipl. R	R <sup>2</sup>	Korr. R <sup>2</sup>	Standardfehler	n	Schnittpunkt	ln(WHD)	ln(h)
ln(Gesamtbiomasse)	alle	1,00	0,99	0,99	0,23	26	-3,759528	1,643208	0,802930
	< 1m	0,99	0,98	0,98	0,28	16	-4,054296	1,586179	0,911674
	> 1m	0,99	0,97	0,96	0,14	10	-2,156510	1,662377	0,503229
ln(Stämmchen)	> 1m	0,99	0,98	0,97	0,02	10	0,553705	0,258764	0,072042
ln(Äste)	> 1m	0,92	0,84	0,79	0,34	10	0,053005	1,885003	-0,314410
ln(Stämmchen+Äste)	< 1m	0,99	0,98	0,97	0,36	16	-6,221465	1,506163	1,327712
ln(Nadel/Blatt)	alle	0,98	0,97	0,96	0,42	26	-2,204263	2,065276	-0,020577
	< 1m	0,98	0,95	0,94	0,41	16	-3,179742	1,767087	0,392809
	> 1m	0,93	0,86	0,82	0,40	10	1,333919	2,467870	-0,913437

Tab. 23: Biomassefunktionen PhytoCalc-Ansatz

Biomasse-funktionen	Multipl. R	R <sup>2</sup>	Korr. R <sup>2</sup>	Standard-fehler	n	Schnitt punkt	ln(D)	ln(ML)
Bah	0,97	0,94	0,94	0,28	26	-3,51619	0,85980	1,16480
Bi	0,94	0,88	0,87	0,30	18	-2,84346	1,19282	0,71305
Bu	0,94	0,89	0,88	0,45	37	-3,11581	0,87503	1,07734
EbEs	0,95	0,90	0,86	0,50	8	-2,11713	0,73265	1,08311
Ei	0,93	0,87	0,86	0,46	32	-2,13594	0,60773	1,09064
Es	0,95	0,90	0,89	0,37	21	-3,17846	1,17551	0,73547
Faulb	0,93	0,87	0,84	0,51	12	-3,04859	0,81345	0,97914
Fi	0,96	0,93	0,92	0,35	21	-1,35658	0,96707	0,84686
Ginst	0,97	0,94	0,93	0,48	14	-5,43511	1,50749	1,10130
Holu	0,90	0,81	0,78	0,40	15	-5,02899	1,33553	0,90531
Ki	0,92	0,85	0,83	0,77	18	-5,11976	0,71922	1,88371

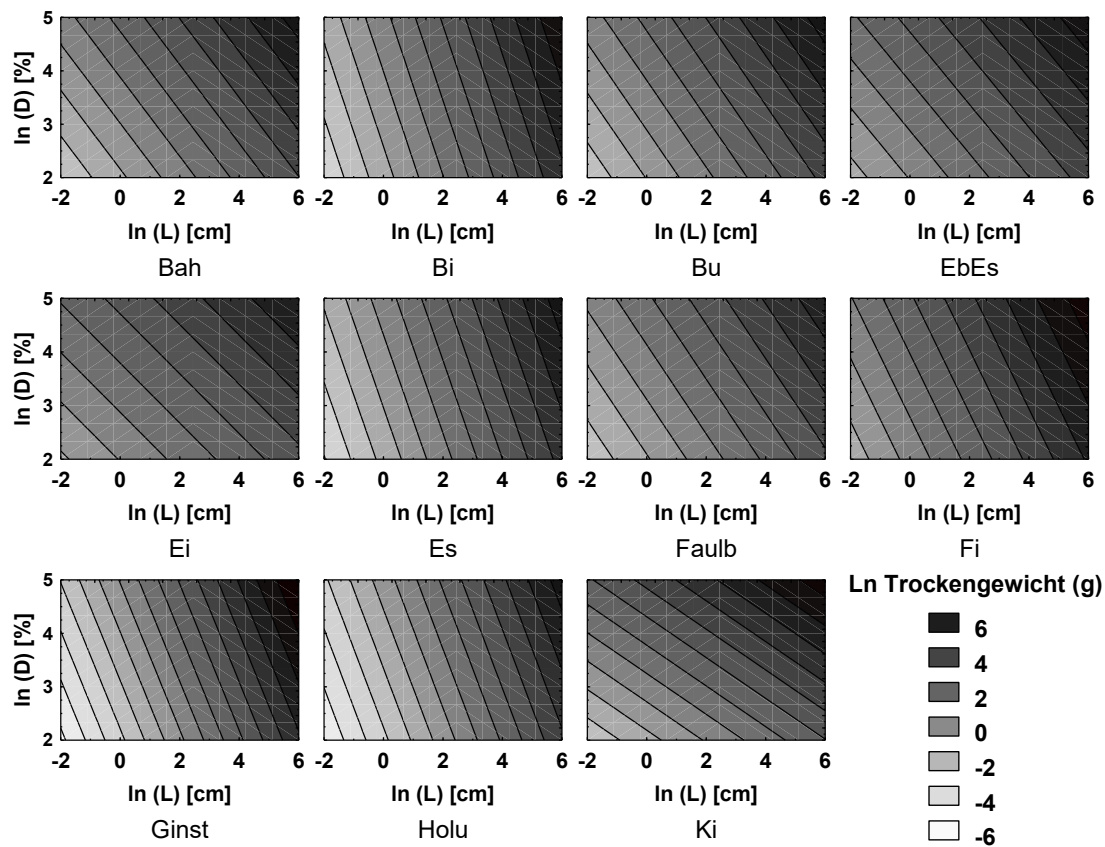


Abb. 7: Zusammenhänge zwischen log. Deckungsgrad, log. Mittlerer Sprosslänge und log. Trockensubstanz.

## **5 Elementvorratsschätzungen**

Die Elementvorratsschätzungen ergeben sich durch die Kopplung von Biomassemodellen (EinzelStamm, PhytoCalc-Ansatz) und den Elementgehaltsangaben für Stamm- und Straucharten bzw. deren Kompartimente. Dabei wird bei dem vorgestellten Verfahren vereinfachend von einer prinzipiellen Unabhängigkeit des Elementgehaltes der Pflanzen von der oberirdischen Biomasse ausgegangen.

## **6 Schlussfolgerungen und Ausblick**

Mit den vorgestellten Modellverfahren zur oberirdischen Biomasse- und Elementvorratsschätzung der Stamm- und Strauchartenverjüngung werden bisherige Ansätze zur Schätzung solcher Größen für die Bodenvegetation (Bolte 1999, Bolte 2006) sinnvoll ergänzt. Damit ist es möglich, mit konsistenten allometrischen Verfahren die Bodenpflanzendecke mit Kräutern, Gräsern, Moosen und verholzenden Pflanzen hinsichtlich ihrer Biomassebildung und Nährstoffspeicherung zu bewerten. Der EinzelStammansatz vermittelt dabei zwischen den deckungsgradbasierten Ansätzen (PhytoCalc) und den bekannten Schätzverfahren für den Hauptbestand. Wichtig für die zukünftige Anwendung der Verfahren ist die gegenseitige Validierung der EinzelStamm- und PhytoCalc-Ansätze sowie die Gegenüberstellung mit unabhängig ermittelten Werten.

## **7 Zusammenfassung**

Ziel einer im Sommer 2007 auf Flächen des forstlichen Umweltmonitorings in Rheinland-Pfalz durchgeführten Pilotstudie war, Modelle für die Schätzung der oberirdischen Phytomasse- und Elementvorräte ausgewählter Gehölzpflanzen des Unterwuchses von Wäldern zu bestimmen. Dabei wurde einerseits methodisch dem summarischen PhytoCalc-Ansatz gefolgt, andererseits aber auch einzelstammweise Untersuchungen durchgeführt. Die Analysen konzentrierten sich auf die bundesweit typischen HauptStammarten Fichte, Buche, Eiche, Kiefer sowie die für Rheinland-Pfalz bedeutsamen NebenStammarten und Sträucher Hängebirke, Bergahorn, Esche, Schw. Holunder, FaulStamm, Besenginster, Eberesche, welche auf Probenahme-fläche mit möglichst breiter standörtlicher Streuung ausgewählt wurden. Insgesamt standen für die Biomasseschätzungen am EinzelStamm 315 Proben zur Verfügung, für die PhytoCalc-Modellierung 222 Aufnahmen sowie 133 Laborproben

mit Ergebnissen der Elementanalysen. Mit Hilfe der parametrisierten Biomassefunktionen lassen Biomassen von Verjüngungsflächen, einzelner Stämmchen oder Kompartimente derselben herleiten. Multipliziert mit den durchschnittlichen Elementgehalt lassen sich überdies Elementvorräte des Unterwuchses herleiten. Die Modelle bedürfen der Validierung durch einen unabhängigen Datensatz.

## **7 Danksagung**

Die vorliegende Untersuchung wurde freundlicherweise finanziell unterstützt durch das LAND Rheinland-Pfalz (FAWF 01/07). Den beteiligten Kollegen an der Forstlichen Versuchsanstalt in Trippstadt, insbesondere Hans-Werner Schröck sowie Dr. Joachim Block sei an dieser Stelle ausdrücklich für die wertvollen Hinweise, die Bereitstellung von Zusatzinformationen sowie für die unkomplizierte und kollegiale Unterstützung der Außenarbeiten gedankt. Diese Außenarbeiten wurden durch Frau Judith Bielefeldt und Herrn Dr. Thomas Czajkowski hervorragend organisiert und praktisch durchgeführt. Die Aufbereitung des umfangreichen Probenmaterials wäre ohne die Mitarbeit zahlreicher studentischer Hilfskräfte und hier insbesondere ohne den effizienten Einsatz und das Organisationstalent von Frau Marion Holz unmöglich gewesen. Die Elementbestimmung konnte im Labor der Landesforstanstalt Eberswalde sehr zeitnah erfolgen. Insgesamt wurde das Vorhaben in enger Zusammenarbeit zwischen der FH Eberswalde und dem vTI durchgeführt. Allen Personen, die zur konkreten Umsetzung dieser Zusammenarbeit positiv beigetragen haben, sei hiermit herzlich gedankt.

## 8 Literatur

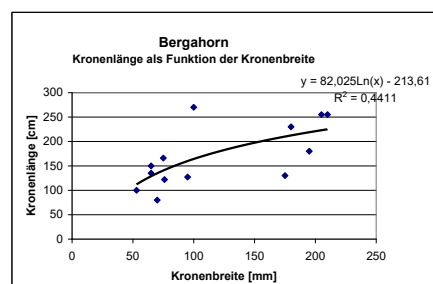
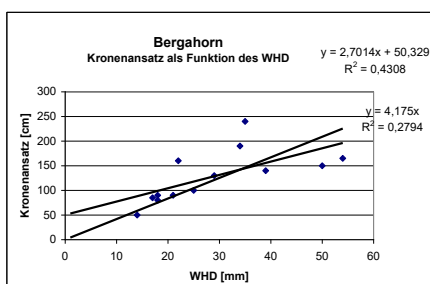
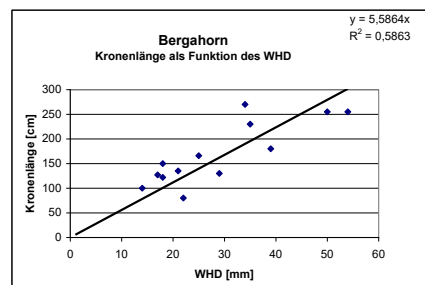
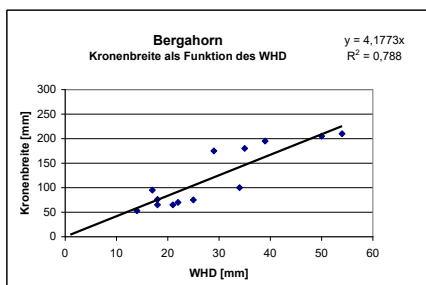
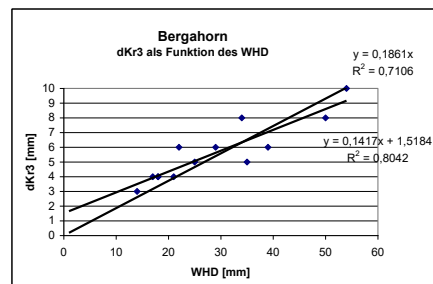
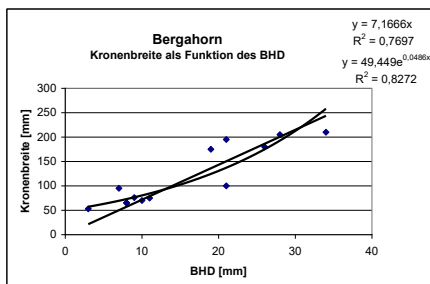
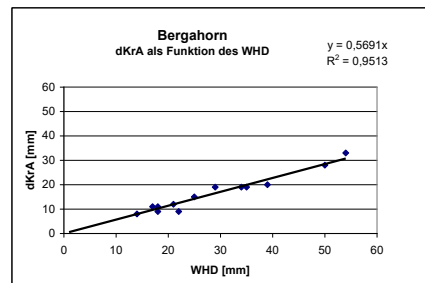
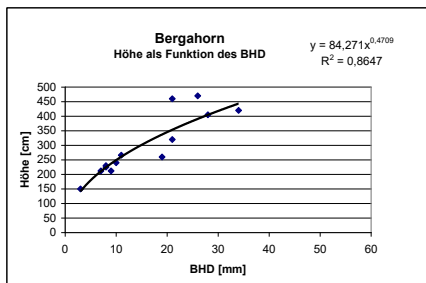
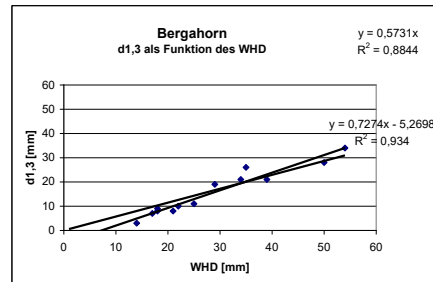
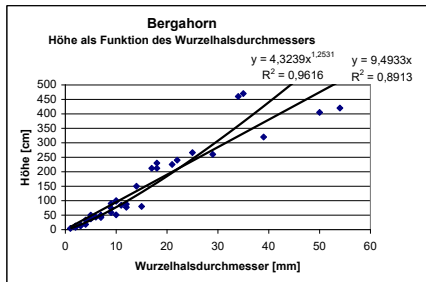
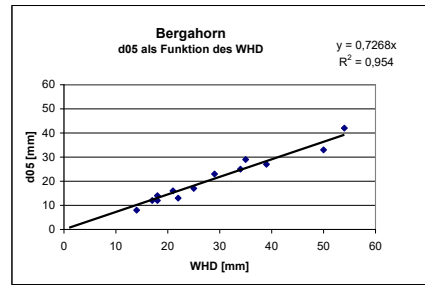
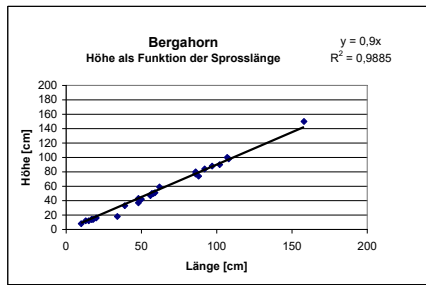
- BMELV (ed.) (2006): Bodenzustandserhebung im Wald (BZE II), Arbeitsanleitung für die Außenaufnahmen. Bundesministerium für Ernährung, Landwirtschaft und Verbraucherschutz (BMELV), Bonn.
- Bolte, A. (1999): Abschätzung von Trockensubstanz-, Kohlenstoff- und Nährelementvorräten der Waldbodenflora – Verfahren, Anwendung und Schätztafeln. Forstwiss. Beitr. Tharandt 7, Ulmer Verlag, Stuttgart.
- Bolte, A. (2006): Biomasse- und Elementvorräte der Bodenvegetation auf Flächen des forstlichen Umweltmonitorings in Rheinland-Pfalz (BZE, EU Level II). Berichte des Forschungszentrums Waldökosysteme der Universität Göttingen B 72.
- Bolte, A.; Lambertz, B.; Steinmeyer, A.; Kallweit, R.; Meesenburg, H. (2004): Zur Funktion der Bodenvegetation im Stoffhaushalt von Wäldern – Studien auf Dauerbeobachtungsflächen des EU Level II-Programms in Norddeutschland. Forstarchiv 75: 207-220.
- Jacobsen, C., P. Rademacher, H. Meesenburg u. K. J. Meiwes, (2003): Gehalte chemischer Elemente in Stammkronenkompartimenten. Literaturstudie und Datensammlung. Berichte des Forschungszentrums Waldökosysteme der Universität Göttingen B 69.
- König, N., Fortmann, H. (1996): Probenvorbereitungs-, Untersuchungs- und Elementbestimmungsmethoden des Umweltanalytik-Labors der Niedersächsischen Forstlichen Versuchsanstalt und des Zentrallabors II des Forschungszentrum Waldökosysteme, Teile 1 bis 3. Berichte des Forschungszentrums Waldökosysteme der Universität Göttingen B 46-48.
- Meiwes, K.J., Asche, N., Block, J., Kallweit, R., Kölling, C., Raben, G., v. Wilpert, K. (2008) Potenziale und Restriktionen der Biomassenutzung im Wald. AFZ-DerWald 63: 598 – 603.
- Seidling, W., Lux, W.; Bolte, A. (2007): Forstliches Umweltmonitoring in Deutschland – wohin? AFZ-DerWald 62: 1068-1069.
- Wilpert, K. v.; Wolff, B.; Spellmann, H. (2006): Bedeutung und künftige Ausrichtung des Forstlichen Umweltmonitorings. AFZ-DerWald 61: 176-181.

# Anhang

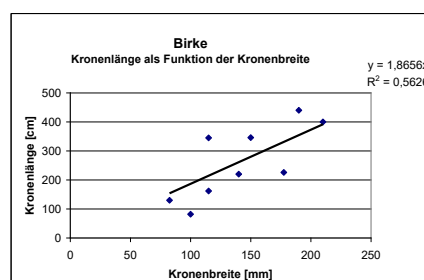
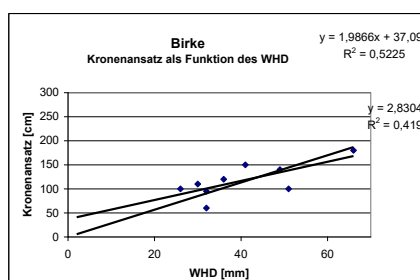
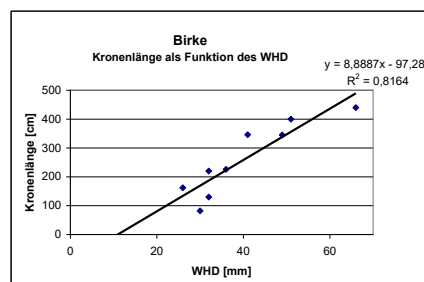
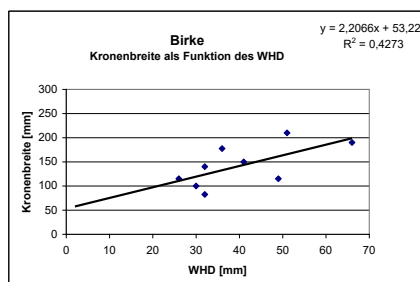
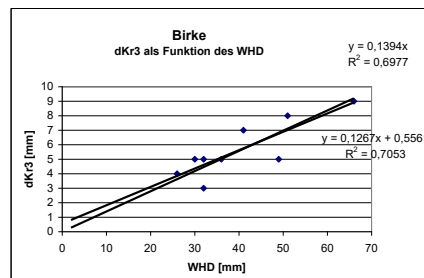
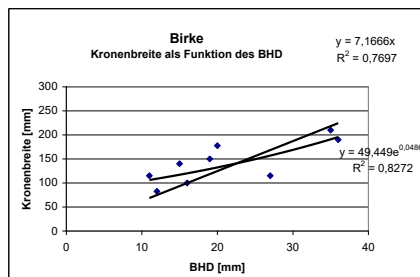
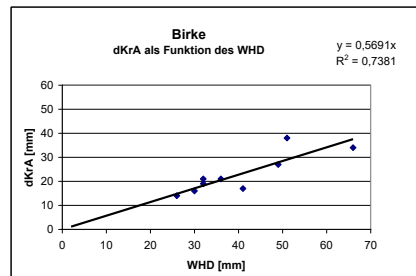
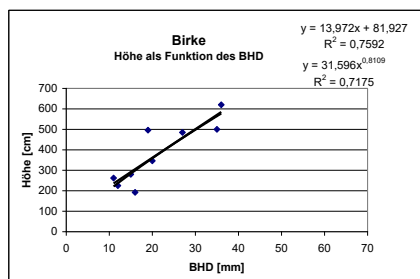
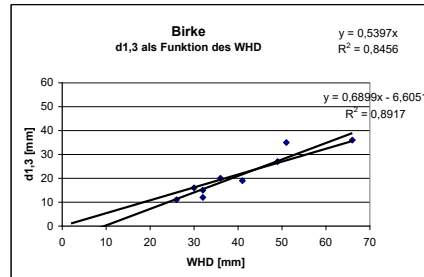
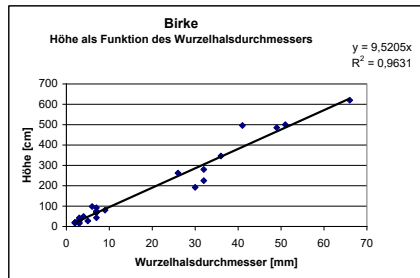
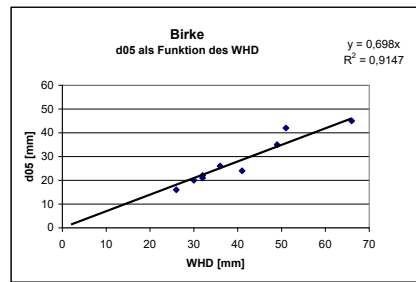
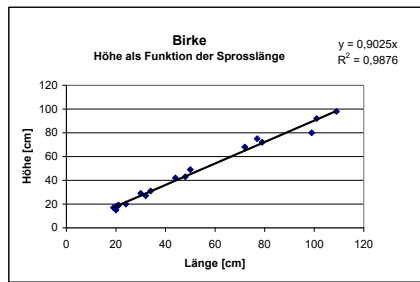
## Anhang 1: Allometrische Beziehungen

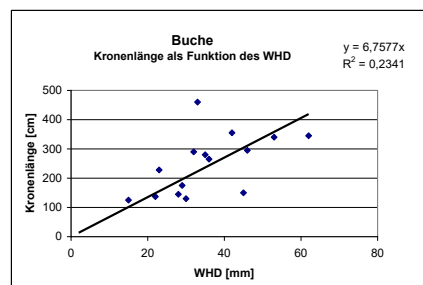
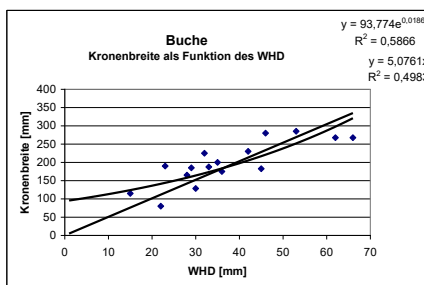
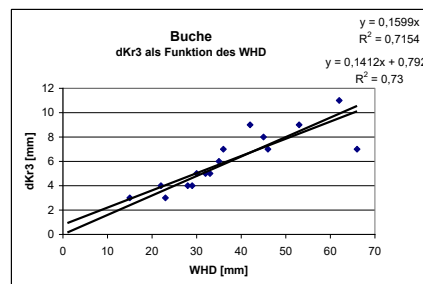
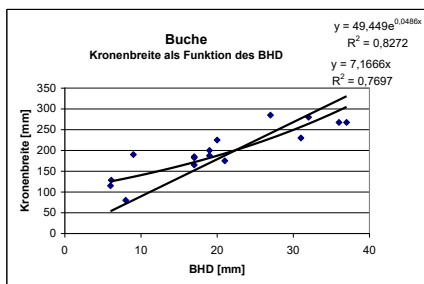
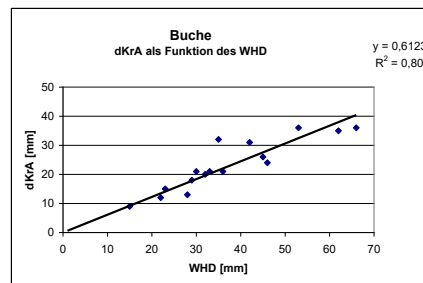
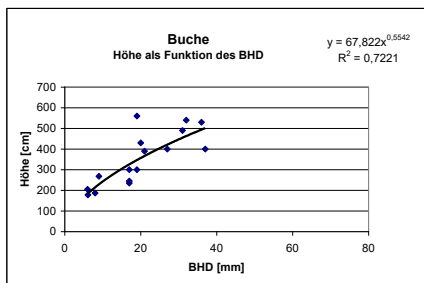
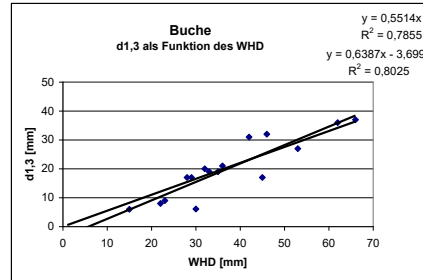
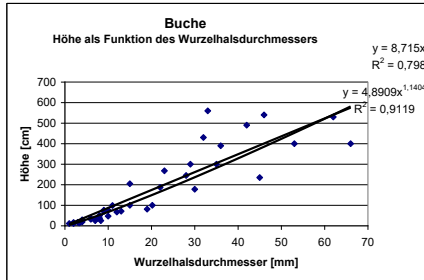
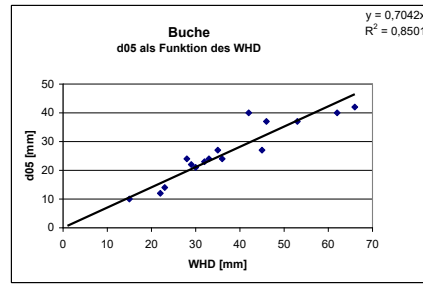
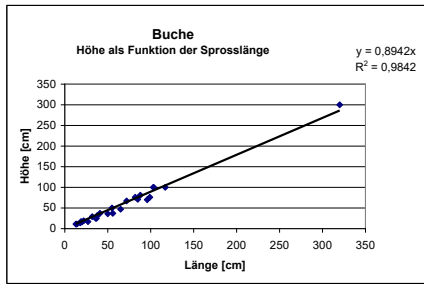
- Bergahorn
- Birke
- Buche
- Eberesche
- Eiche
- Esche
- FaulStamm
- Fichte
- Ginster
- Holunder
- Kiefer



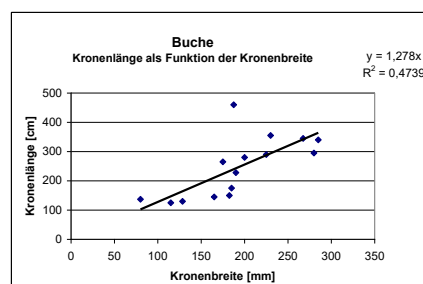
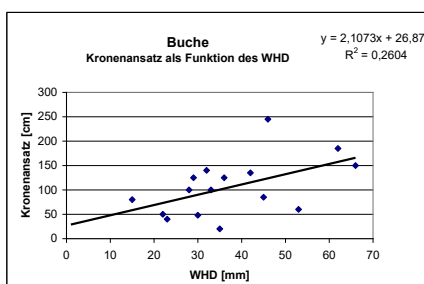


ohne den Punkt 100 / 270 R^2=0,6

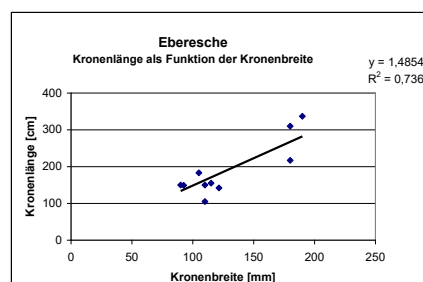
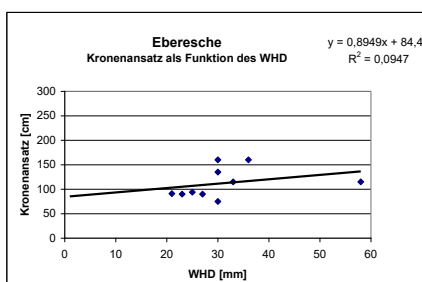
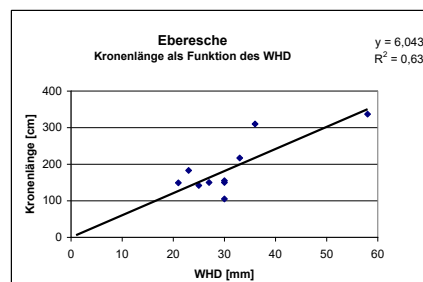
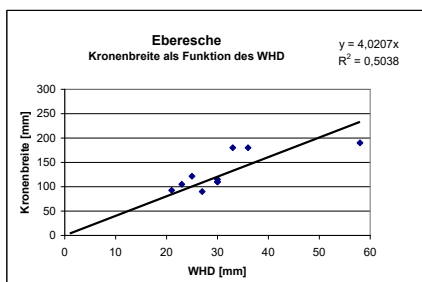
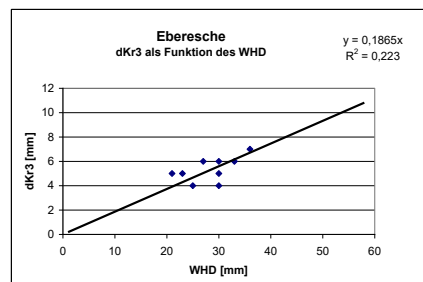
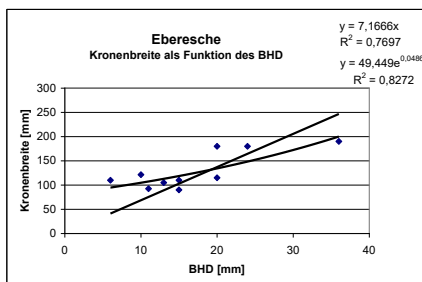
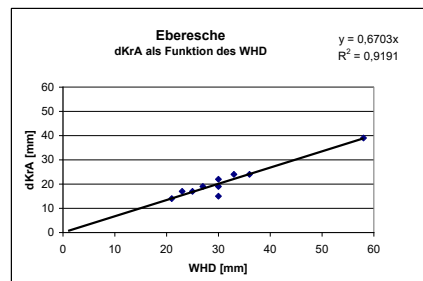
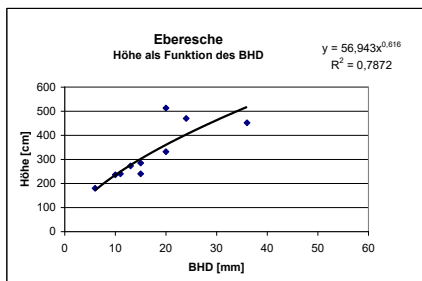
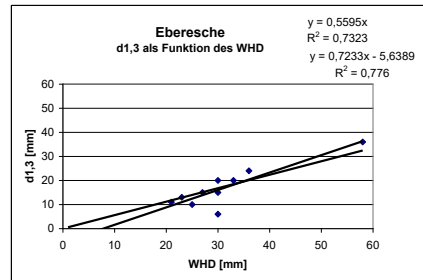
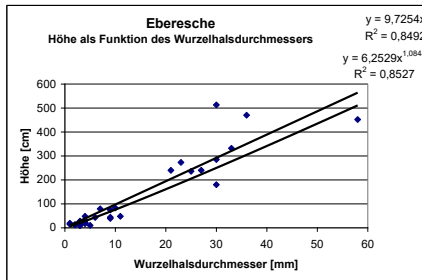
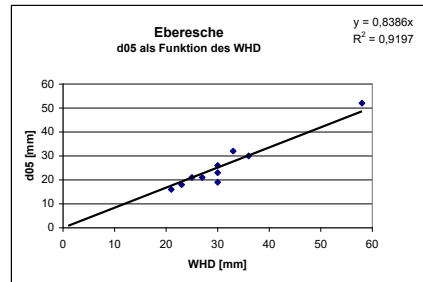
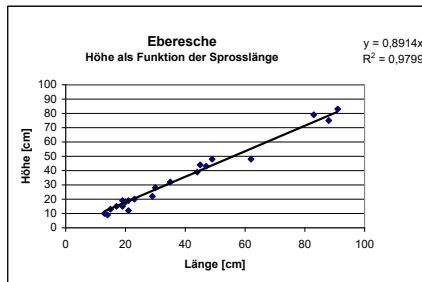


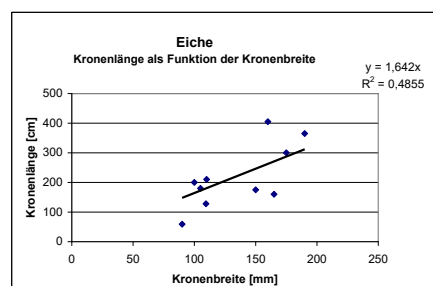
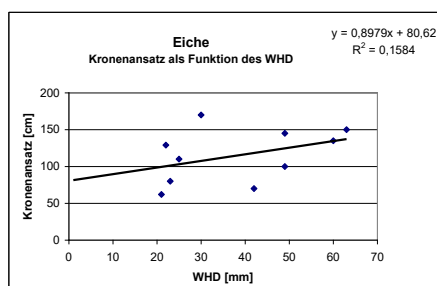
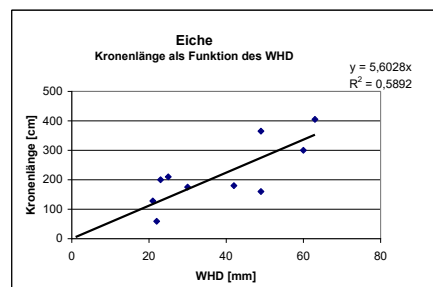
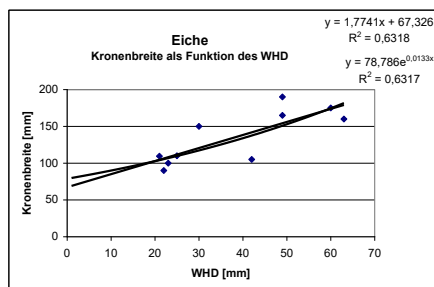
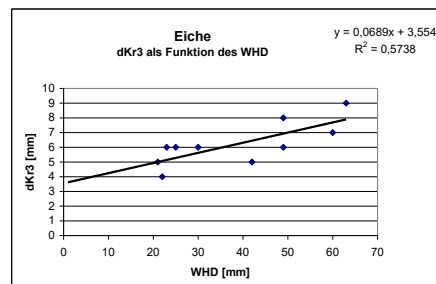
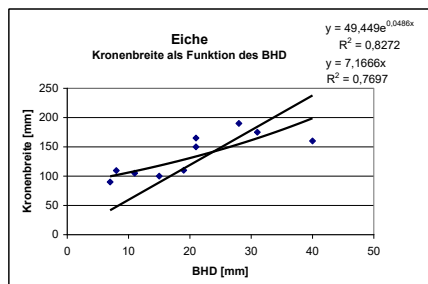
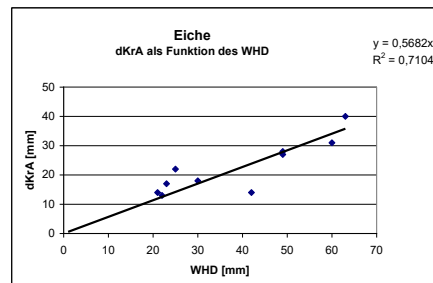
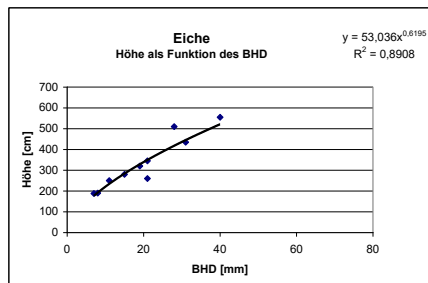
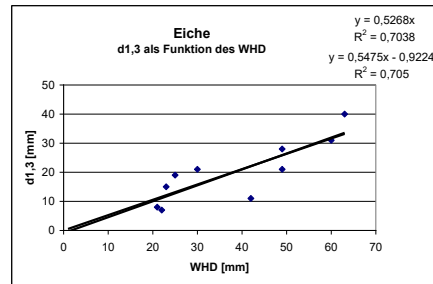
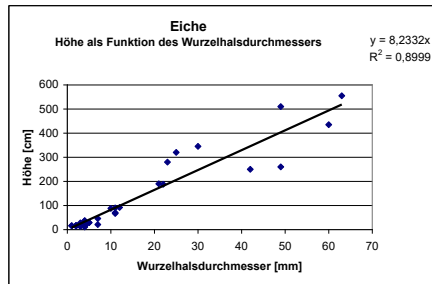
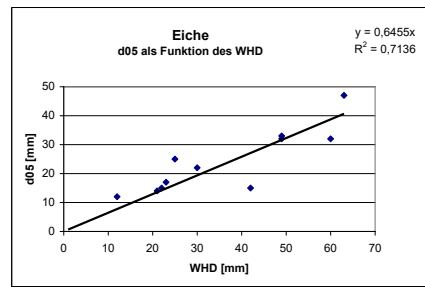
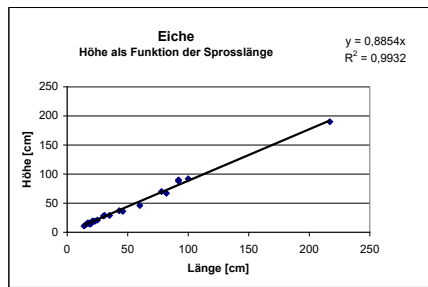


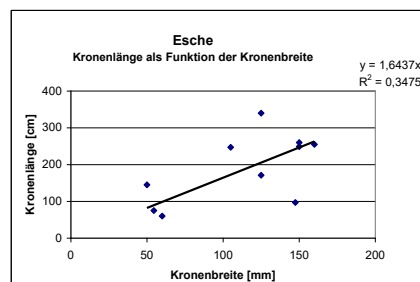
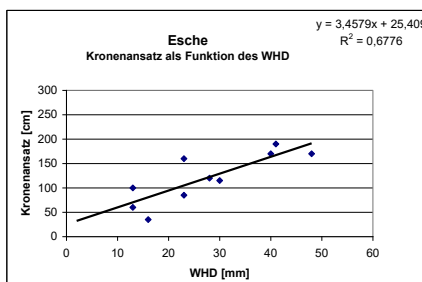
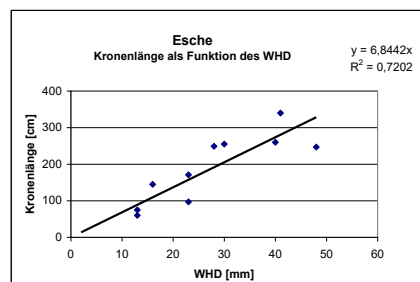
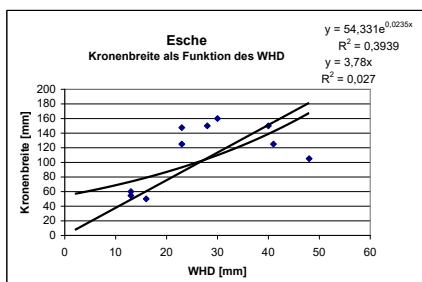
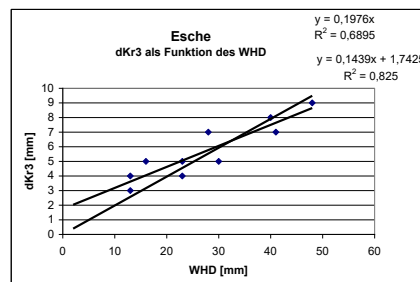
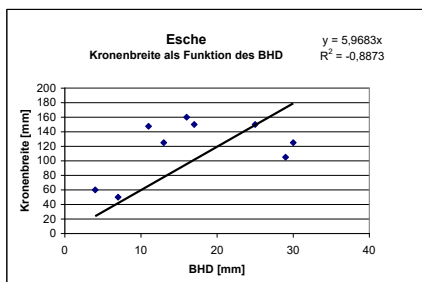
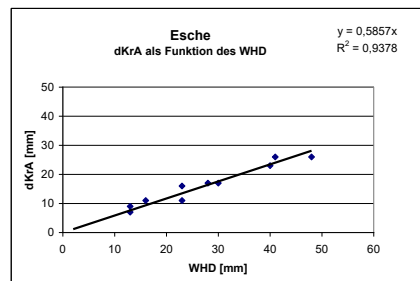
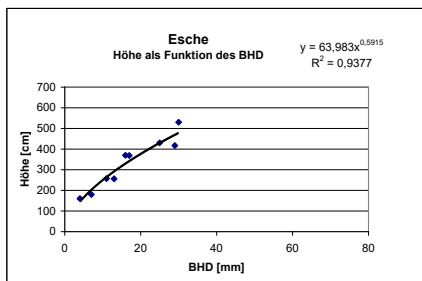
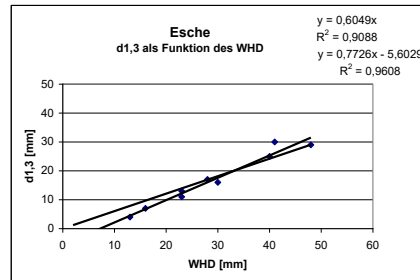
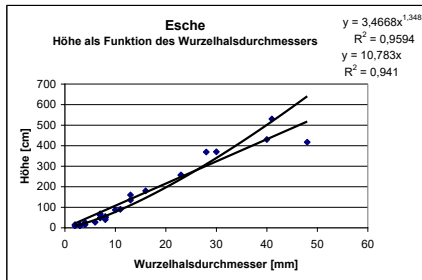
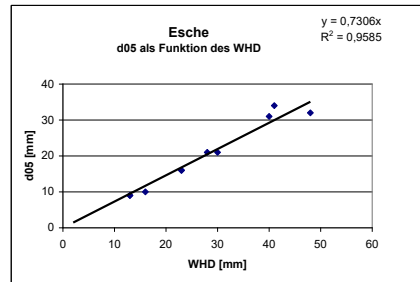
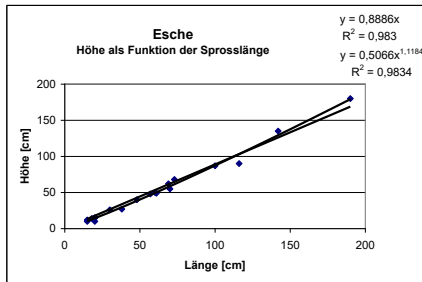
ohne 33,460  
 $y = 6,364x$   
 $R^2 = 0,4607$

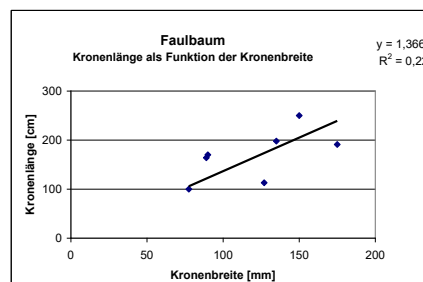
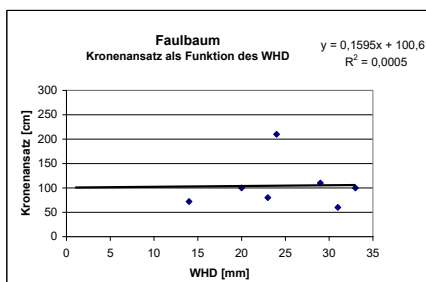
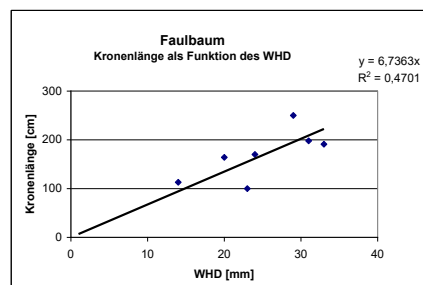
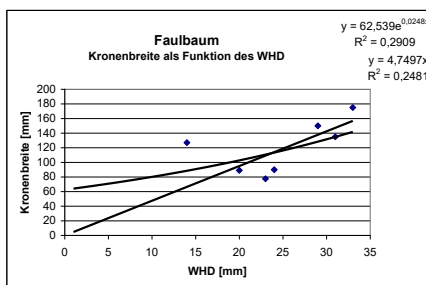
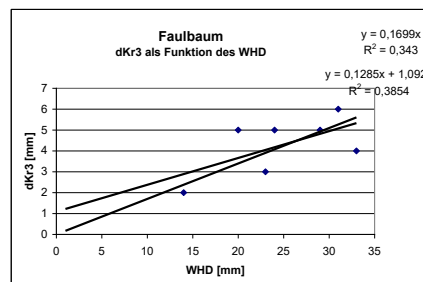
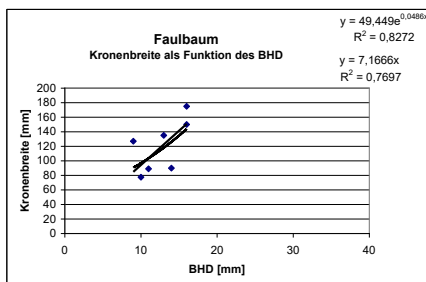
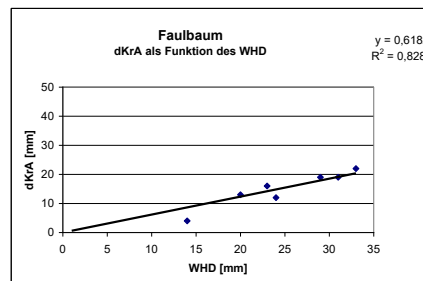
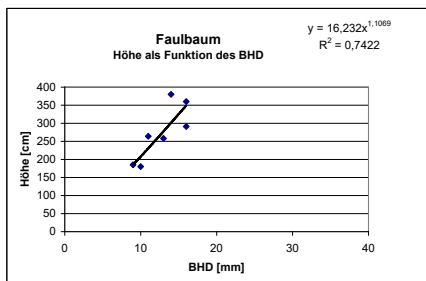
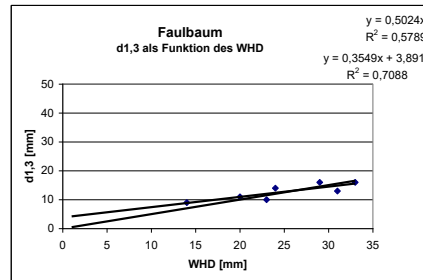
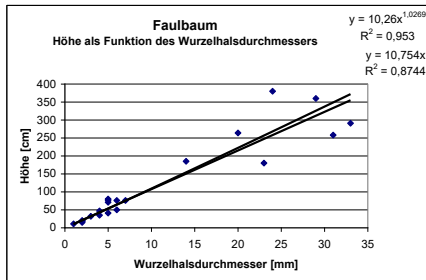
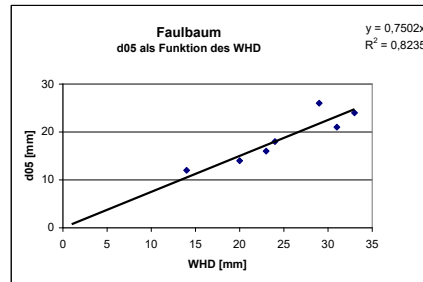
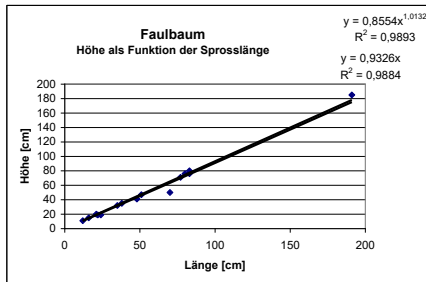


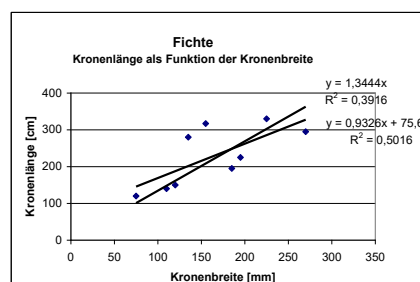
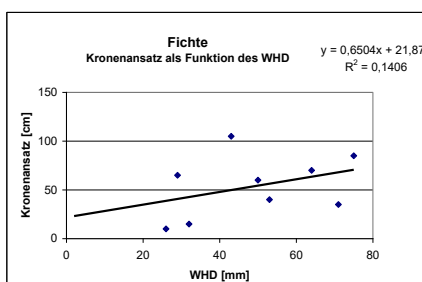
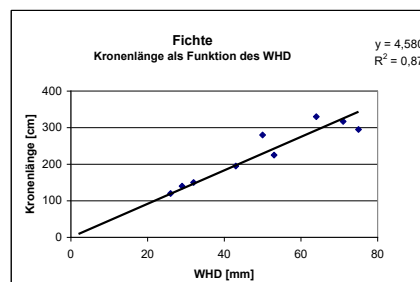
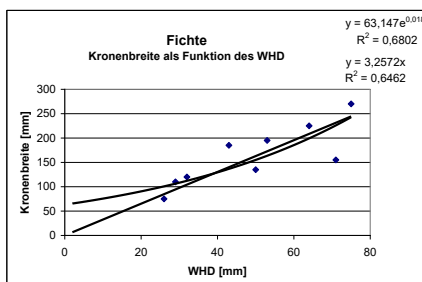
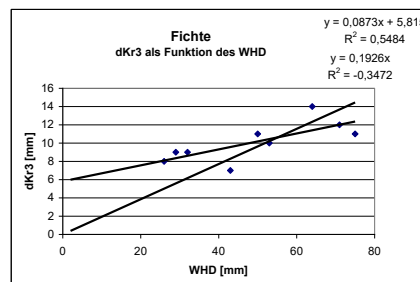
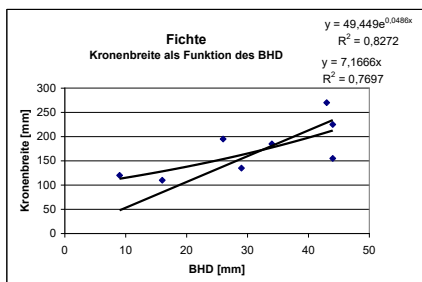
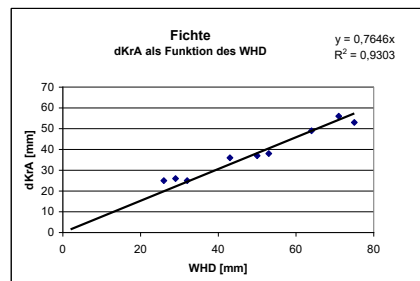
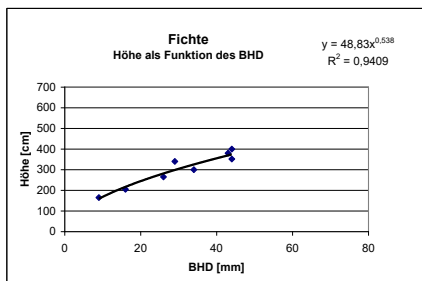
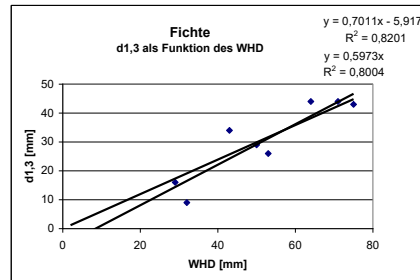
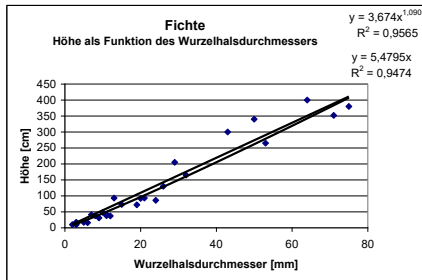
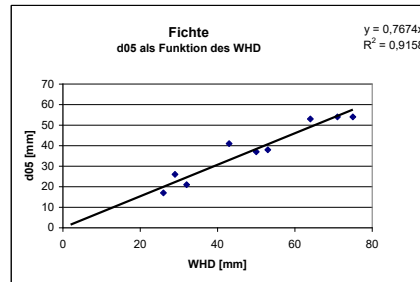
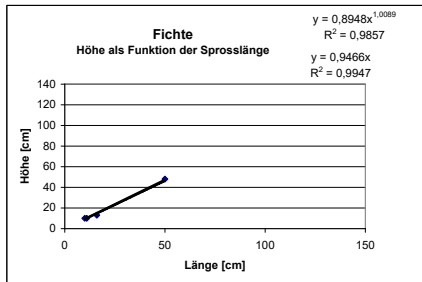
ohne 187,5; 460:  
 $y = 1,2058x$   
 $R^2 = 0,7394$



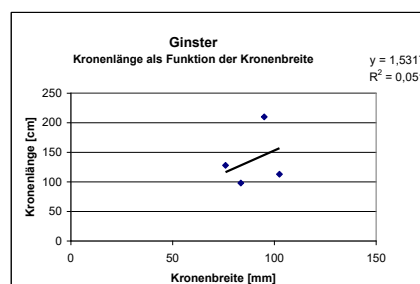
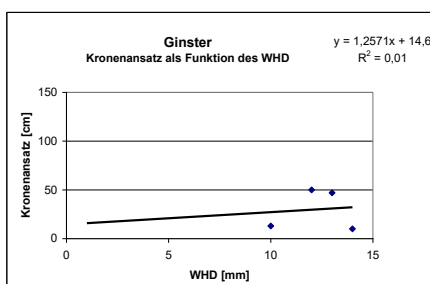
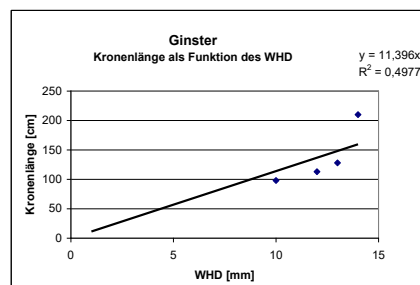
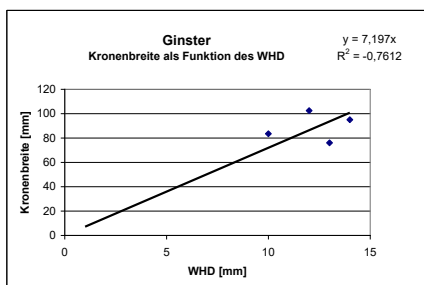
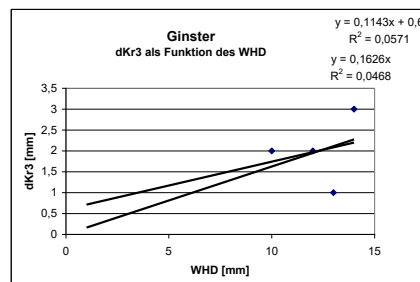
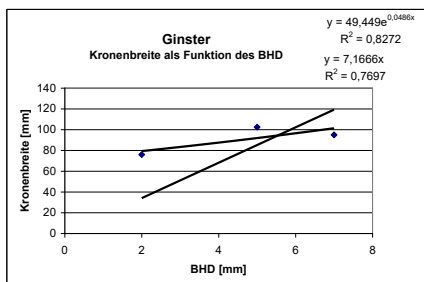
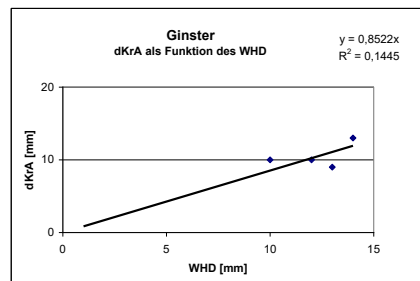
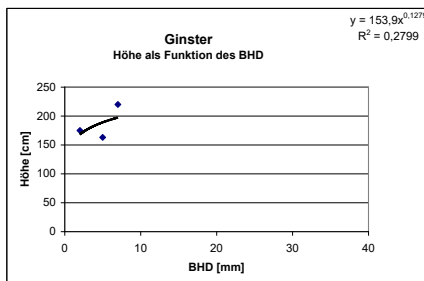
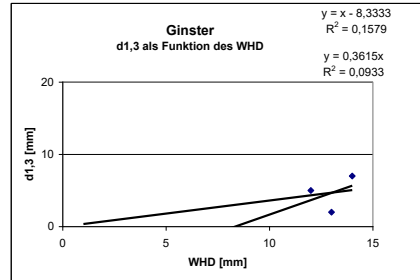
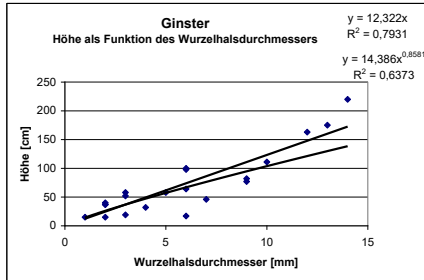
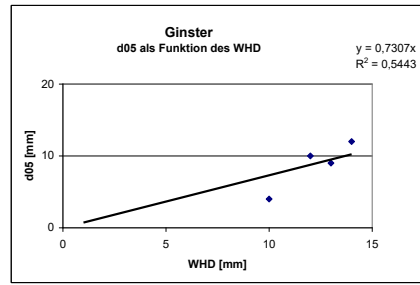
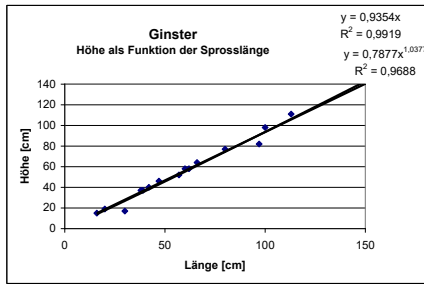


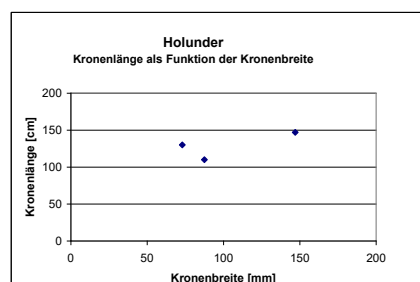
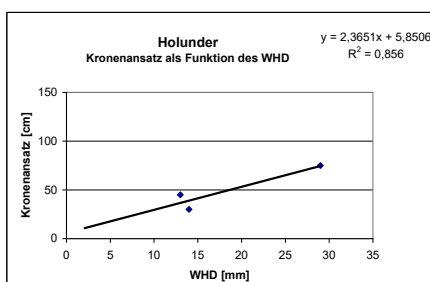
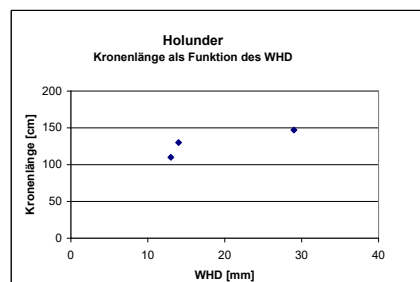
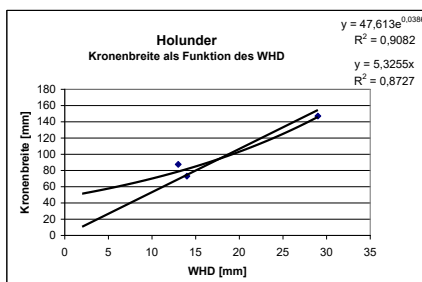
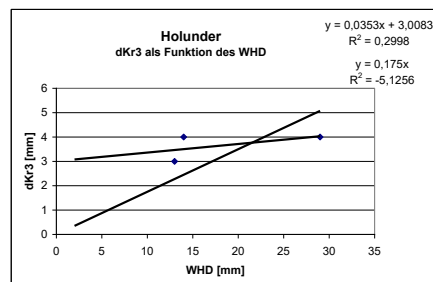
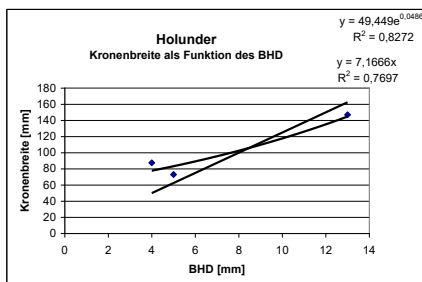
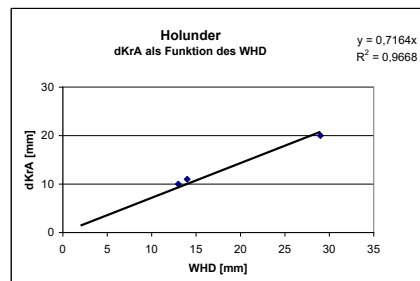
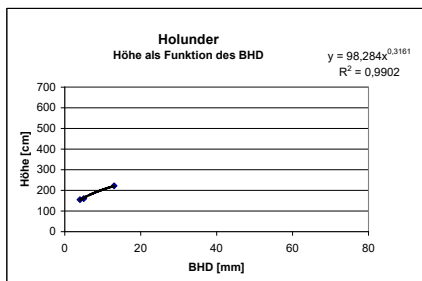
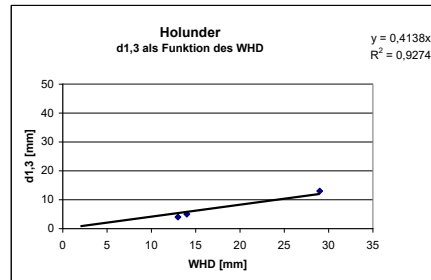
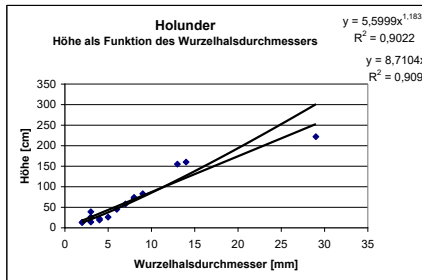
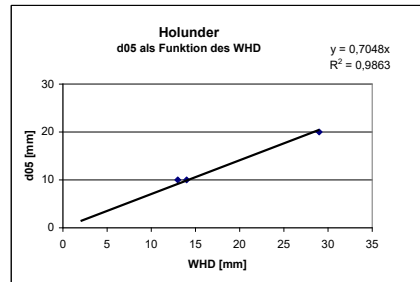
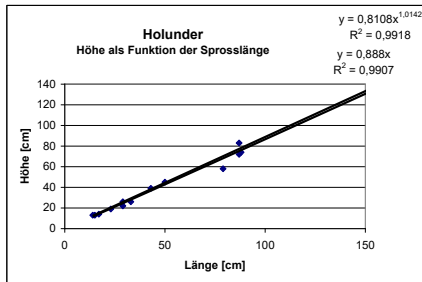


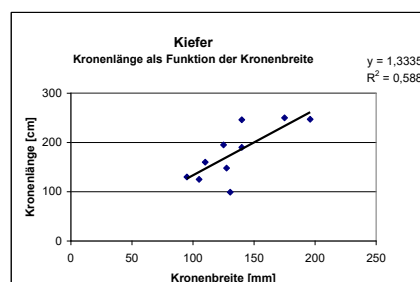
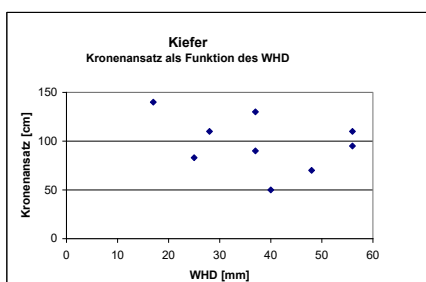
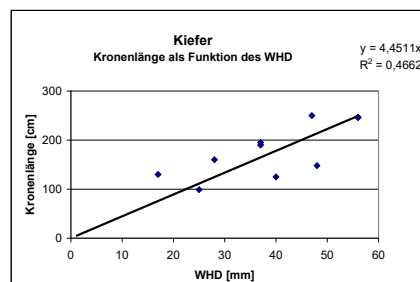
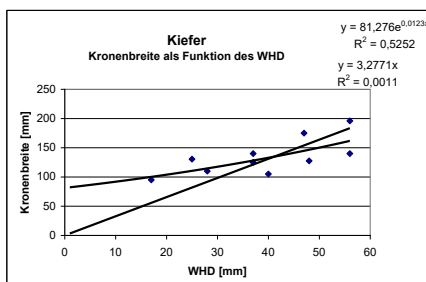
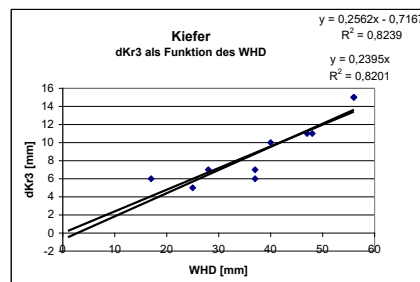
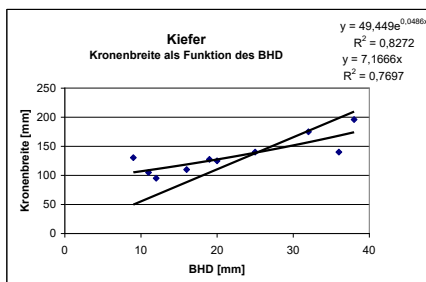
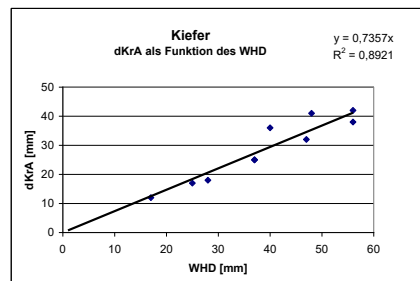
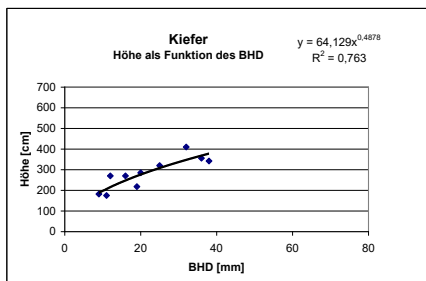
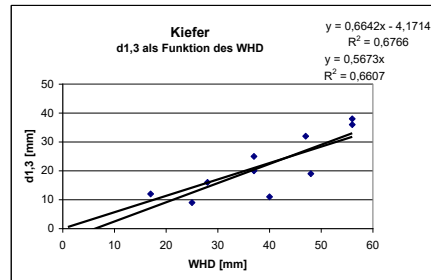
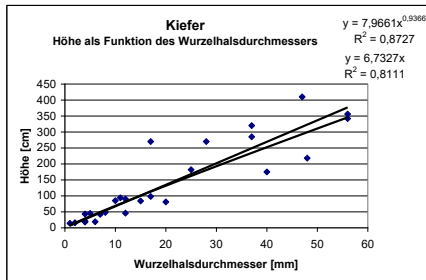
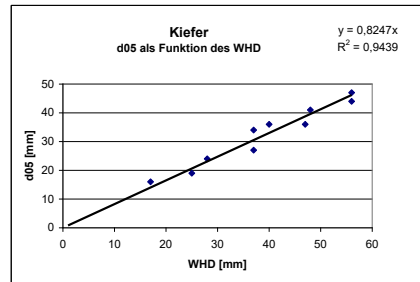
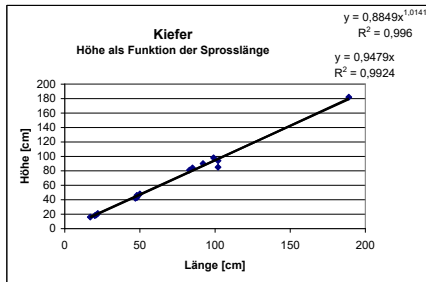




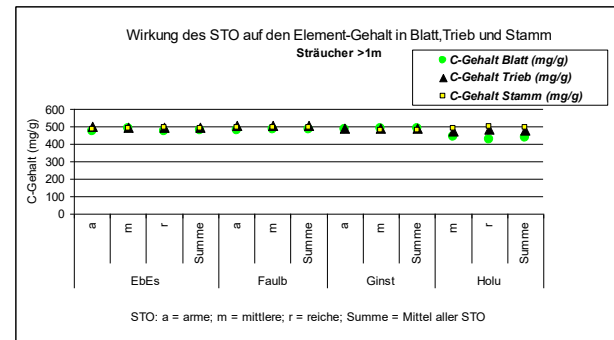
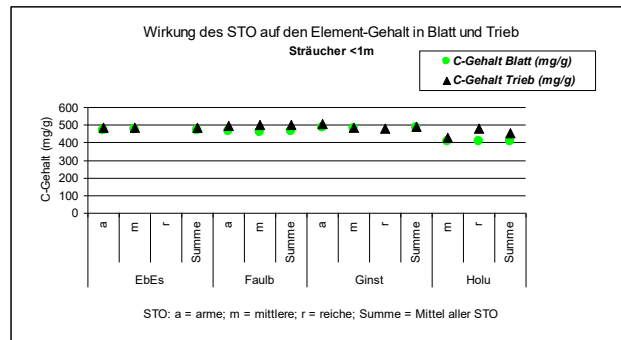
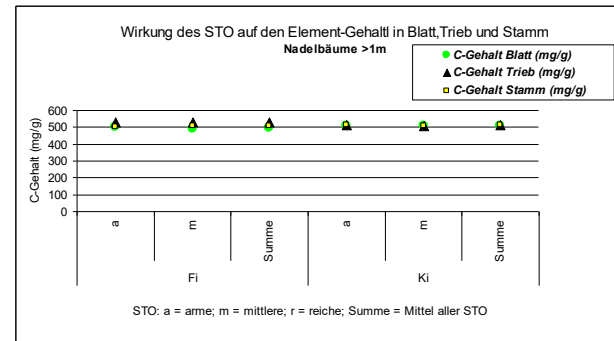
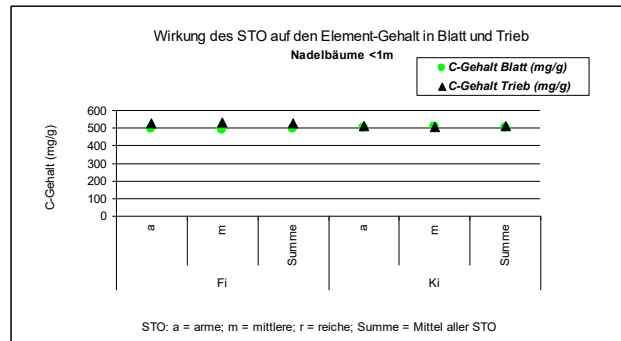
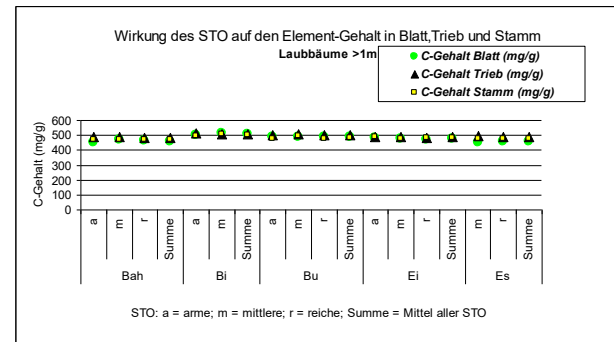
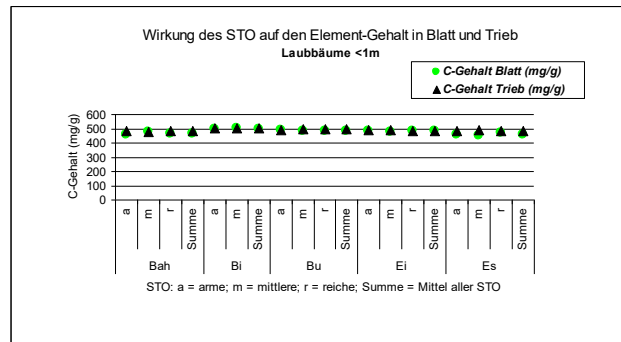




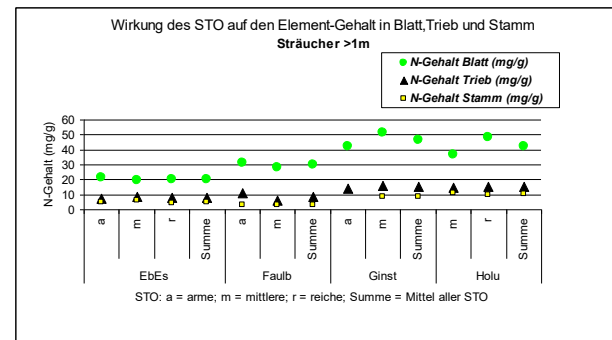
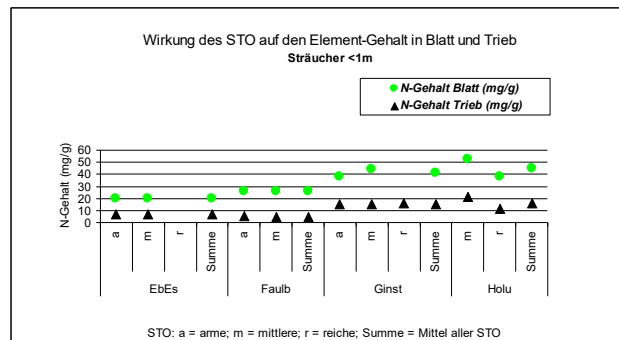
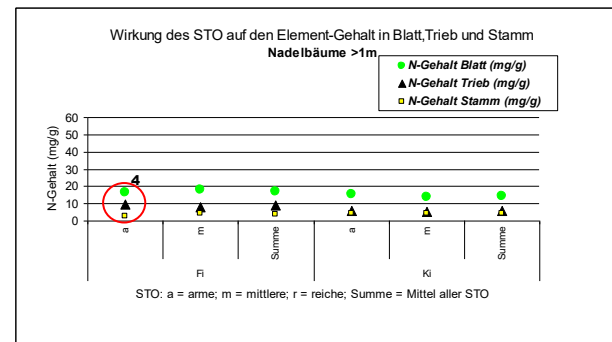
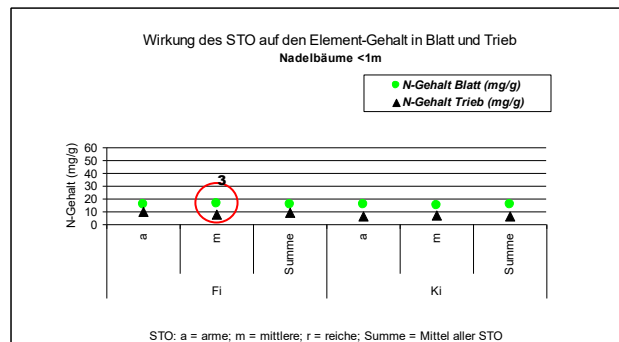
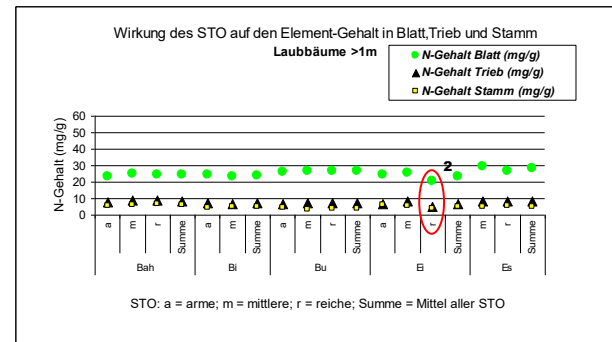
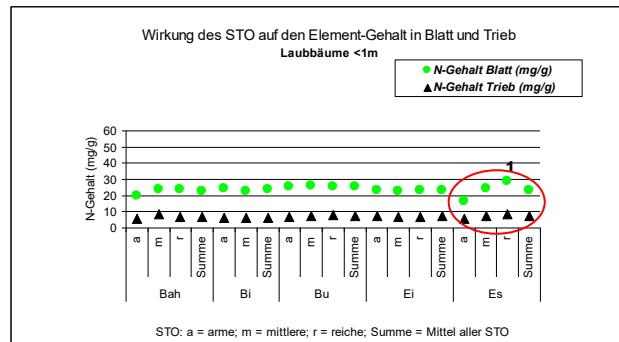




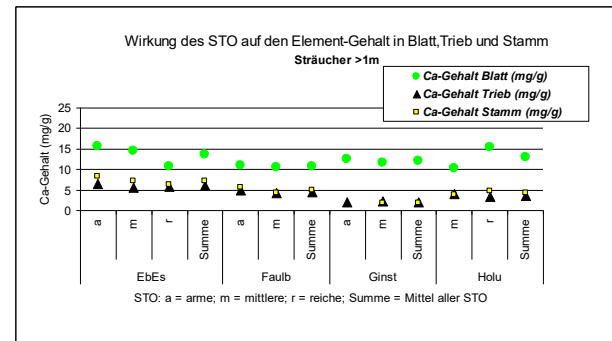
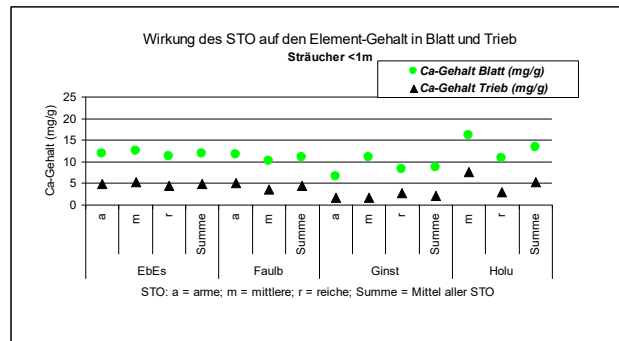
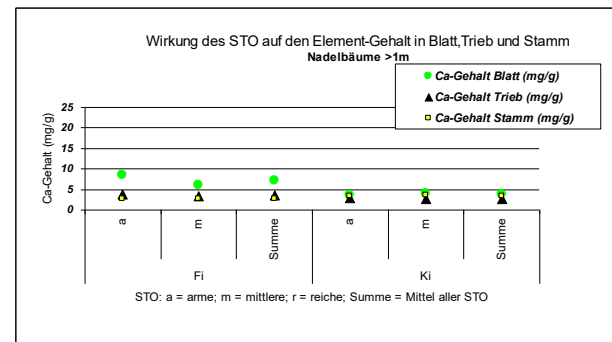
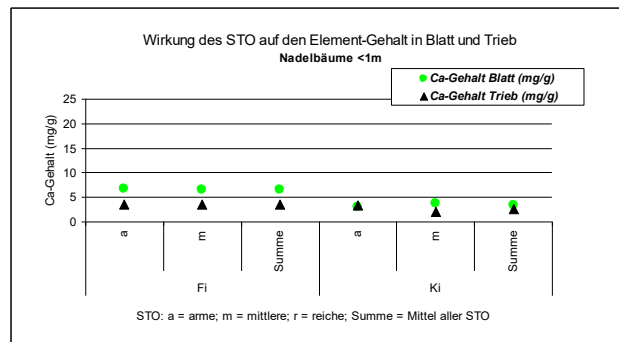
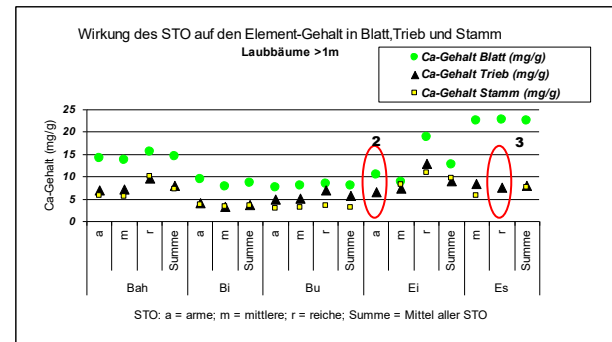
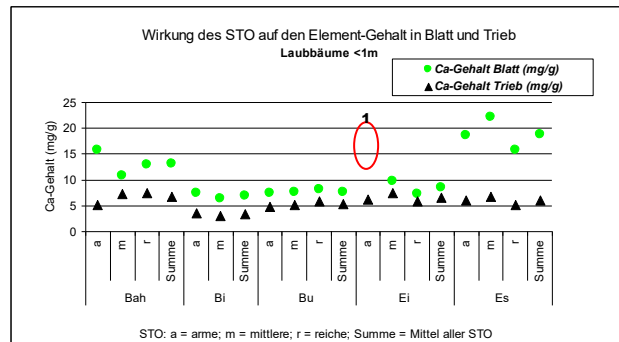
## Anhang 2: Elementgehalte der Stamm- und Strauchverjüngung getrennt nach Stammarten, Standorten und Kompartimenten



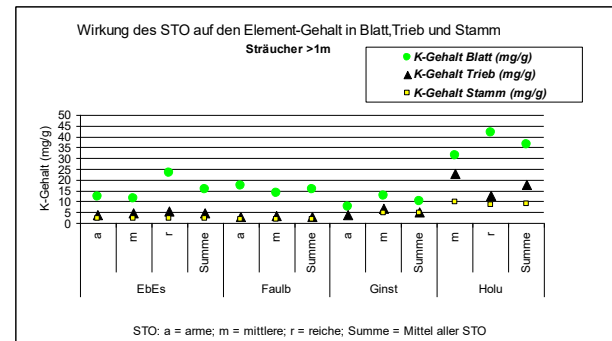
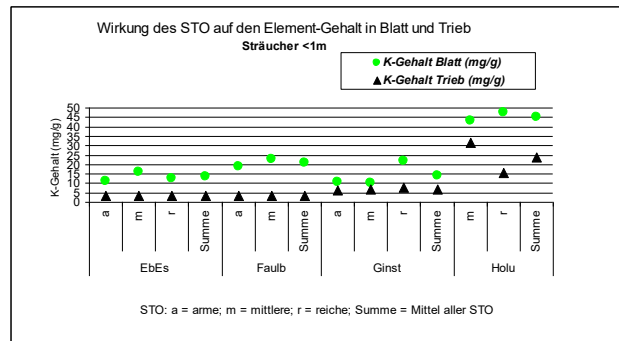
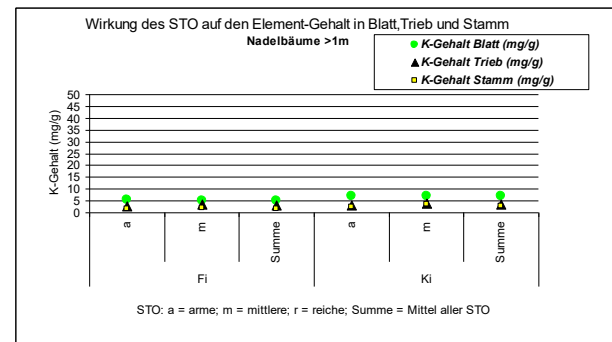
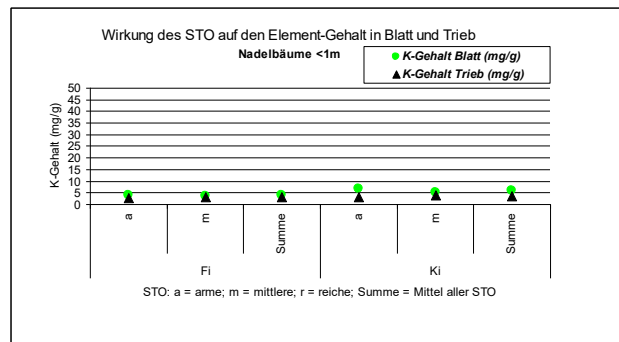
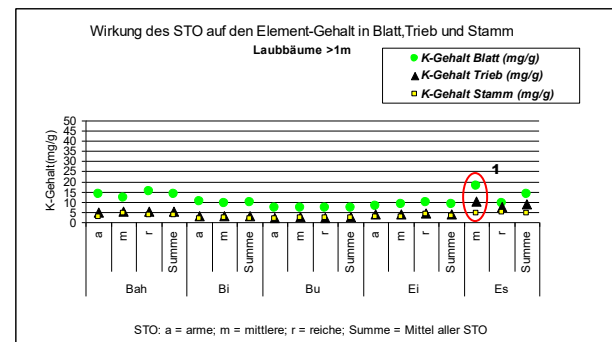
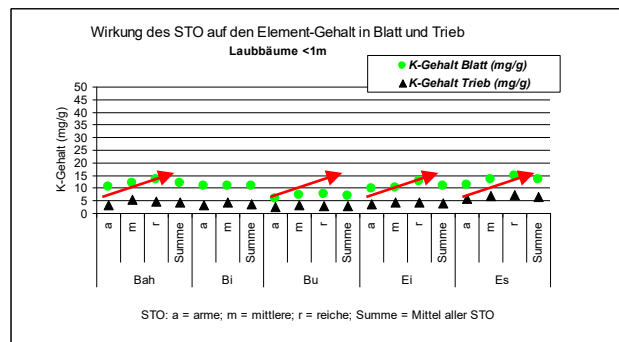
C: Keine gravierenden Unterschiede in Kompartimenten über Standortklassen (Ausn. Hol)



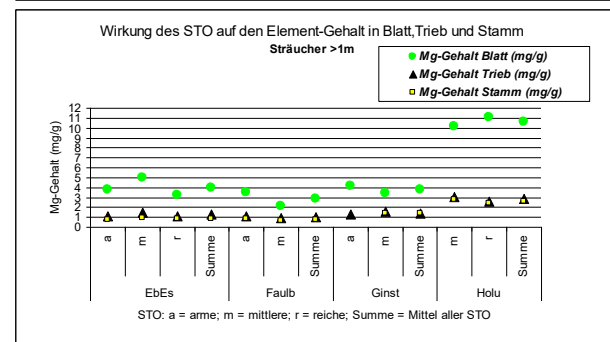
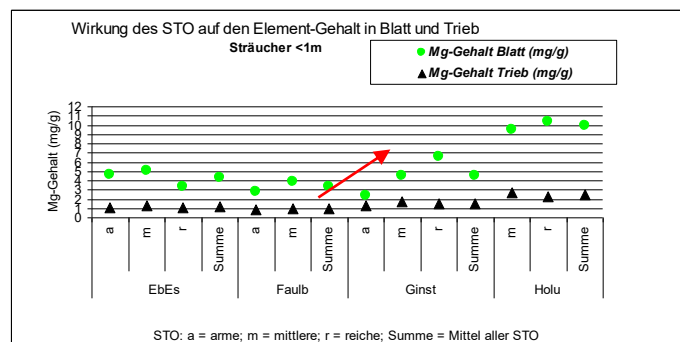
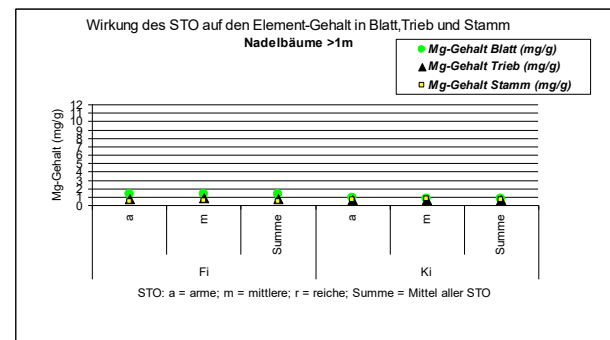
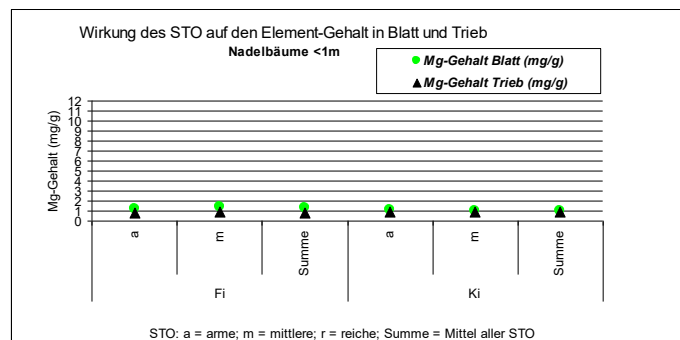
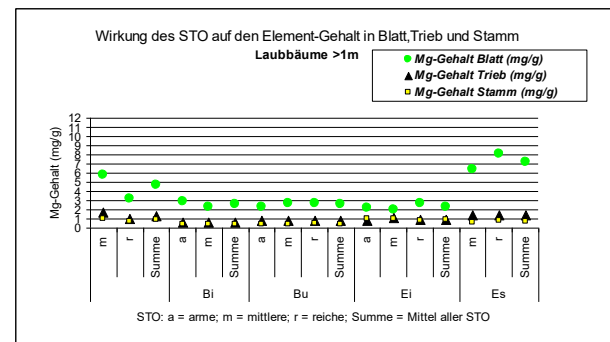
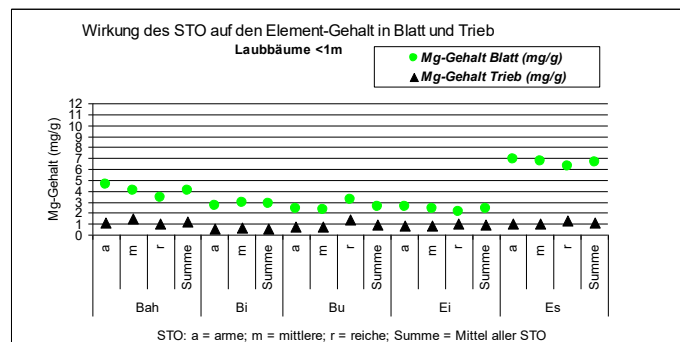
1: N-Konzentration-Es; alle STO; <1m und >1m: große Spreite 2: N-Konzentration Ei; reich; >1m: niedriger Wert : möglicherweise Mischprobe zu klein 3: N-Konzentration-Fi; mäßig; <1m; Trieb (30,9mg g<sup>-1</sup>) gestrichen und ersetzt durch: N-Konzentration-Fi ; mäßig; >1m; Trieb (8,2mg g<sup>-1</sup>), 4: N-Konzentration-Fi; arm; >1m; Trieb (20,1mg g<sup>-1</sup>) gestrichen und ersetzt durch N-Konzentration-Fi; arm; <1m; Trieb (9,7mg g<sup>-1</sup>)



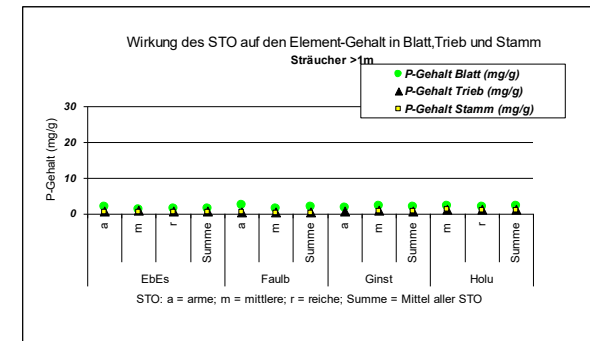
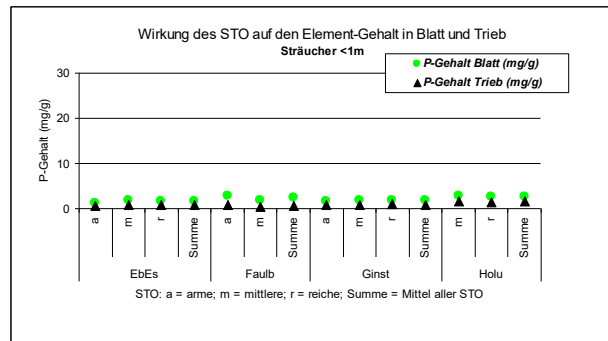
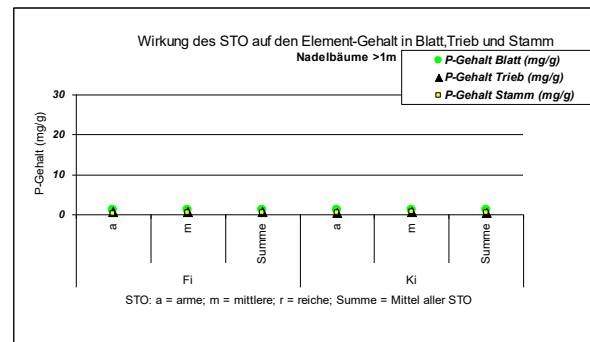
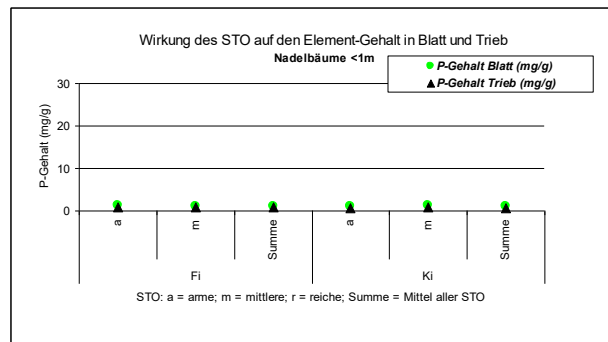
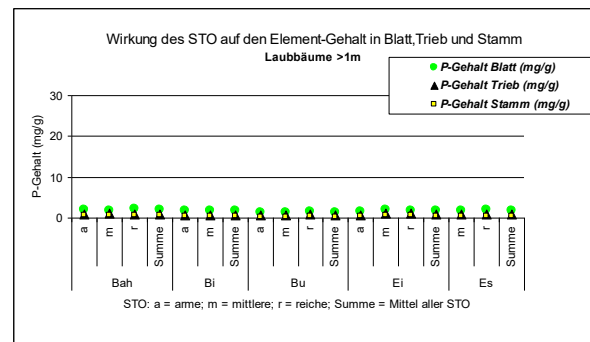
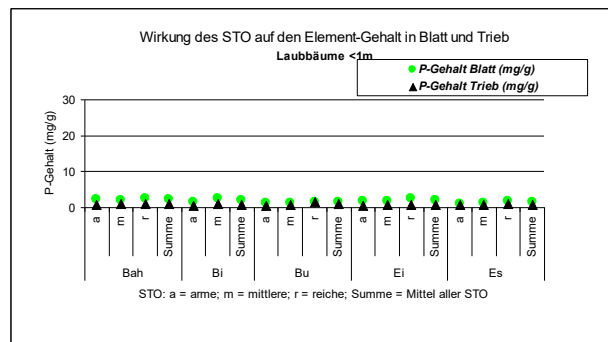
1: Ca-Konzentration-Ei; arm; <1m ; Blatt (18,24 mg g<sup>-1</sup>) gestrichen; Ursache unklar denn gute Mischprobe aus 8 Einzelbäumen von 3 USto; 2: Ca-Konzentration-Ei; arm; >1m ; Stamm (11,52 mg g<sup>-1</sup>) gestrichen; (>als Ca-Konzentration Trieb) 3: Ca-Konzentration-Es; reich; >1m; Stamm (9,24mg g<sup>-1</sup>) gestrichen (>als Ca-Konzentration Trieb)

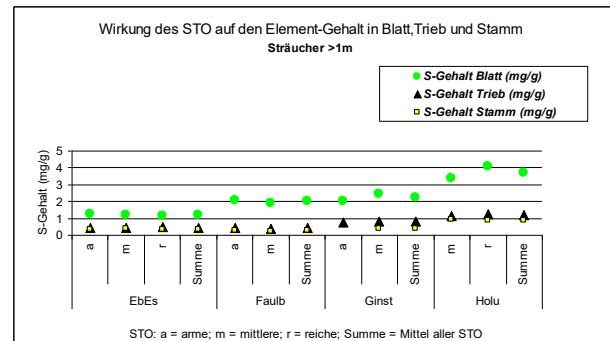
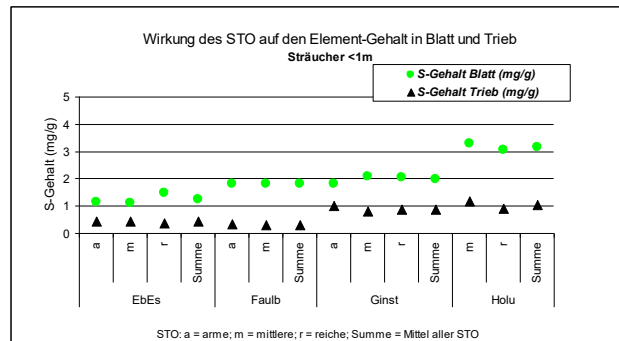
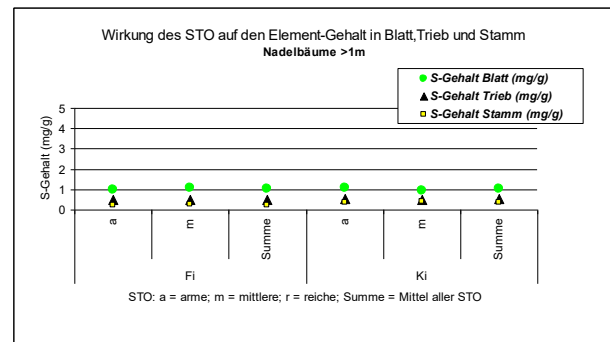
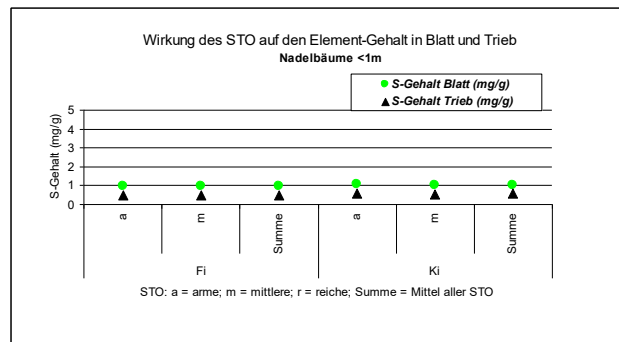
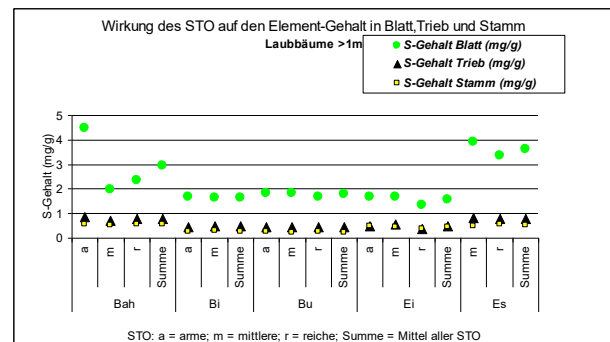
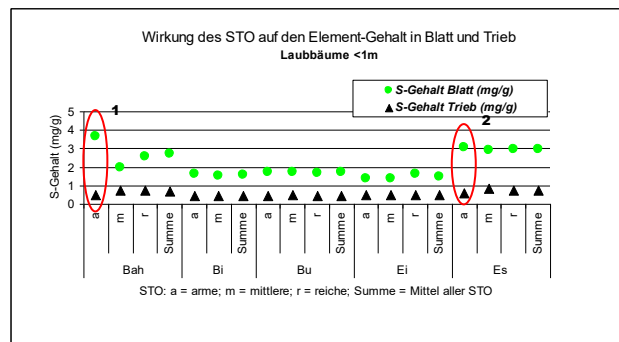


1: K-Konzentration-Es; mittel; alle Kompartimente hohe Werte; mögliche Ursache: STO UKS408









1: S-Konzentration-BAH; arm; <1m und >1m ; Blatt hoher Wert; Ursache unklar evt. STO 859 WSE (70093 BZE) a/m 2: S-Konzentration-Es; arm; Ursache: keine Mischprobe