

Zur feldmäßigen Inkulturnahme von Efeu (*Hedera helix* L. Araliaceae)

Adrian Kranvogel



INAUGURAL-DISSERTATION

zur Erlangung des Doktorgrades (Dr. agr)
im Fachbereich Agrarwissenschaften, Ökotoxologie und Umweltmanagement
der Justus-Liebig-Universität Gießen



schön sein ist gut
VVB LAUFERSWEILER VERLAG

**Aus dem Institut für Pflanzenbau und Pflanzenzüchtung I
der Justus-Liebig-Universität Gießen**
Professur für Pflanzenbau
Leiter: Prof. Dr. Bernd Honermeier

Zur feldmäßigen Inkulturnahme von Efeu
(*Hedera helix* L. Araliaceae)

Inaugural-Dissertation zur Erlangung des Doktorgrades (Dr. agr.) im Fachbereich
Agrarwissenschaften, Ökotoxologie und Umweltmanagement
der Justus-Liebig-Universität Gießen

vorgelegt von

Adrian Kranvogel, Eggolsheim

Gießen, im März 2013

Dissertation im Fachbereich Agrarwissenschaften,
Ökotoxikologie und Umweltmanagement
der Justus-Liebig-Universität Gießen

Dekan: Prof. Dr. Dr.-Ing. Peter Kämpfer

Prüfungskommission

Vorsitzende: Prof. Dr. Dr. Annette Otte

1. Gutachter: Prof. Dr. Bernd Honermeier

2. Gutachter: Prof. Dr. Günter Leithold

Prüfer: Prof. Dr. Diedrich Steffens

Prüfer: Prof. Dr. Hans-Peter Schwarz

INHALT

1. Einleitung und Zielstellung	1
2. Literaturübersicht.....	3
2.1 Geschichte und Bedeutung des Efeus	3
2.2 Inhaltsstoffe und Wirksamkeit.....	4
2.3 Gesetzliche Vorgaben zur Qualität der Droge	7
2.4 Botanische Charakterisierung von Efeu.....	8
2.4.1 Taxonomie.....	8
2.4.2 Phylognese	12
2.4.3 Morphologie.....	14
2.4.4 Phänologie.....	14
2.4.5 Variabilität.....	15
2.4.6 Standortansprüche.....	16
2.4.7 Verbreigungsstrategien, Blütenbiologie und Keimung.....	17
2.4.8 Vegetative Vermehrung.....	18
2.4.9 Krankheiten und Schädlinge	18
3. Material und Methoden	21
3.1 Charakterisierung des Versuchsstandorts	21
3.1.1 Geographische Lage und Bodeneigenschaften.....	21
3.1.2 Klima und Witterung.....	21
3.2 Versuchskonzept.....	23
3.2.1 Versuchsanlage	23
3.2.2 Dimensionierung der Versuchspartellen	23
3.2.3 Ausgangsmaterial und Etablierung	24
3.2.4 Pflege, Düngung und Bewässerung.....	25
3.2.5 Pflanzenschutz	25
3.2.6 Ernte.....	25
3.2.8 Aufbereitung des Ernteguts	26
3.2.9. Prüfmerkmale	26
3.2.10 Laboruntersuchungen (HPLC)	28
3.2.11 Statistische Auswertung.....	28
3.3 Charakterisierung der durchgeführten Versuche.....	29
3.3.1 Versuch Herkunftsvergleich	29
3.3.2 Versuch Pflanzdichte.....	44
3.3.3 Versuch Schnittregime	44

4. Ergebnisse	46
4.1 Ergebnisse des Versuchs Herkunftsvergleich	46
4.1.1 Internodien- und Blattstiele	46
4.1.2 Bonitur Frühjahrsaustrieb und Frostschäden	49
4.1.3 Bonitur der Biomasseentwicklung, Erträge und Eintrocknungsverhältnis	53
4.1.4 Inhaltsstoffe	64
4.2 Ergebnisse des Versuchs Pflanzdichte	73
4.2.1 Internodien- und Blattstiellänge	73
4.2.2 Erträge und Eintrocknungsverhältnis.....	74
4.2.3 Inhaltsstoffe	79
4.3 Ergebnisse des Versuchs Schnittregime	82
4.3.1 Länge der Internodien und Blattstiele	82
4.3.2 Erträge und Eintrocknungsverhältnis.....	84
4.3.3 Inhaltsstoffe	88
5. Diskussion.....	94
5.1 Ertragsleistung, Regenerationsvermögen und Winterhärte	94
5.2 Biomasseentwicklung, Internodien- und Blattstiellänge, relativer Stielanteil	97
5.3 Inhaltsstoffgehalte in Efeublättern.....	99
6. Zusammenfassung.....	104
6.1 Summary.....	107
7. Literaturverzeichnis.....	110
8. Anhang.....	116

TABELLEN

Tab. 1: Systematik der Gattung <i>Hedera</i> L.....	8
Tab. 2: Verbreitung, Chromosomenzahl und Trichomtypen von <i>Hedera</i> L.	9
Tab. 3: Unterscheidungsmerkmale zwischen <i>H. hibernica</i> und <i>H. helix</i>	11
Tab. 4: Ergebnisse von Bodenuntersuchungen an einer Mischprobe des Versuchsstandorts Artern..	21
Tab. 5: Witterungsdaten am Versuchsstandort Artern in den Jahren 2006, 2007 und 2008	22
Tab. 6: Maße der Parzellen im Versuch Herkunftsvergleich und im Versuch Schnittregime	23
Tab. 7: Maße der Versuchsparzellen im Versuch Pflanzdichte	24
Tab. 8: Pflanzabstände im Versuch Pflanzdichte.....	44
Tab. 9: Erntetermine im Versuch Schnittregime	45
Tab. 10: zeitlicher Ablaufplan der Merkmalserhebung in den durchgeführten Versuchen.	117
Tab. 11: technische Details der HPLC-Analytik.....	120
Tab. 12: Lageplan der Parzellenversuche.....	122
Tab. 13: Ablaufplan der Düngemaßnahmen in den Efeu-Parzellenversuchen	123

ABBILDUNGEN

Abb. 1: Verlauf der Lufttemperatur in den Jahren 2006 bis 2008 am Versuchsstandort Artern.....	22
Abb. 2: Verlauf der Niederschläge in den Jahren 2006 bis 2008 am Versuchsstandort Artern.....	22
Abb. 3: Versuchsanlage beim ersten Schnitt im Frühling 2006. (Foto).....	22
Abb. 4: Beispiel eines Pflanzhorstes (Foto).	24
Abb. 5: Beerntung einer Versuchsparzelle (Foto)	26
Abb. 6: Frisch geerntetes Versuchsmaterial (Foto).....	26
Abb. 7: Herkunft 01, Efeuform "Woerner" im Freilandversuch (Foto).	32
Abb. 8: Efeuform "Woerner". Foto aus dem Internet.....	32
Abb. 9: Herkunft 02, Efeuform "Modern Times" im Freilandversuch (Foto).	33
Abb. 10: Efeuform "Modern Times". Foto aus dem Internet	33
Abb. 11: Herkunft 03, Efeuform "Montgomery" im Freilandversuch (Foto)	33
Abb. 12: Efeuform "Montgomery". Foto aus dem Internet.....	33
Abb. 13: Herkunft 04, Efeuform "MB" im Freiland (Foto).	34
Abb. 14: Mutterpflanze der Linie „MB“ unter Glas (Foto).	34
Abb. 15: Herkunft 05, Efeuform „Wonder“ im Freilandversuch (Foto).	35
Abb. 16: Unter Glas vorgezogener Pflanzhorst der Efeuform „Wonder“ (Foto).....	35
Abb. 17: Herkunft 06, Efeuform „Hibernica“ im Freilandversuch (Foto).	35
Abb. 18: Typisches Blatt der Efeuform „Hibernica“ im Handel (Foto).....	35
Abb. 19: Herkunft 07, Efeuform „Stuttgart“ im Freilandversuch (Foto).	36
Abb. 20: Efeuform „Stuttgart“. Foto aus dem Internet.....	36
Abb. 21: Herkunft 08, Efeuform „Green Ripple“ im Freilandversuch (Foto)	37
Abb. 22: Efeuform „Green Ripple. Foto aus dem Internet.....	37
Abb. 23: Herkunft 09, Efeuform „Shamrock“ im Freilandversuch (Foto)	37
Abb. 24: Efeuform „Shamrock“. Foto aus dem Internet	37
Abb. 25: Herkunft 10, Efeuform „Good Self Branching“ im Freilandversuch (Foto).....	38
Abb. 26: Herkunft 11, Efeuform „Lady Kay“ im Freilandversuch (Foto)	39
Abb. 27: Efeuform „Lady Kay“. Foto aus dem Internet.....	39
Abb. 28: Herkunft 12, Efeuform „Teardrop“ im Freilandversuch (Foto).....	39
Abb. 29: Efeuform „Teardrop“ unter Glas vermehrt (Foto).....	39
Abb. 30: Herkunft 13, Efeuform „Eugen Hahn“ im Freilandversuch (Foto)	40
Abb. 31: Blätter der Efeuform „Eugen Hahn“. Foto aus dem Internet	40
Abb. 32: Herkunft 14, Efeuform „Ritterkreuz“ im Freilandversuch (Foto)	40
Abb. 33: Efeuform „Ritterkreuz“ Foto aus dem Internet	40
Abb. 34: Herkunft 15, Efeuform „Pittsburgh“ im Freilandversuch (Foto).....	41
Abb. 35: Efeuform „Pittsburgh“ Foto aus dem Internet	41
Abb. 36: Herkunft 16, Efeuform „Flamenco“ im Freilandversuch (Foto).....	41
Abb. 37: Efeuform „Manda's Crested“. Foto aus dem Internet.....	41
Abb. 38: Herkunft 17, Efeuform „Hestor“ im Freilandversuch (Foto).....	42
Abb. 39: Herkunft 06, Efeuform „Hibernica“ im Freilandversuch (Foto)	42
Abb. 40: Herkunft 27, Efeuform „Green Ripple“im Freilandversuch (Foto)	43
Abb. 41: Efeuform „Green Ripple“, Foto aus dem Internet	43
Abb. 42: Herkunft 28, Efeuform „Atropurpureum“ im Freilandversuch (Foto).....	43
Abb. 43: Herkunftsvergleich: Mittlere Internodienlänge von Efeu.....	47

Abb. 44: Herkunftsvergleich: Mittlere Blattstiellänge von Efeu	48
Abb. 45: Herkunftsvergleich: Mittlere Boniturnote für den Frühjahrsaustrieb von Efeu (ausgedrückt als relativer Anteil des Austriebs an der Sprossbasis am Gesamtaustrieb)	49
Abb. 46: Herkunftsvergleich: Mittlere Boniturnote für den Frühjahrsaustrieb von Efeu (ausgedrückt als relativer Anteil des Austriebs an der Ranke am Gesamtaustrieb)	49
Abb. 47: Herkunftsvergleich: Mittlere Boniturnote für die Frostschäden an Efeu in Abhängigkeit von Herkunft und Jahr	51
Abb. 48: Herkunftsvergleich: Mittlere Boniturnote für die Frostschäden je Efeu-Herkunft	51
Abb. 49: Versuchsanlage im Mai 2008 (Foto)	52
Abb. 50: Parzelle 4a (Herkunft 04, erste Wiederholung) im Mai 2008 (Foto)	52
Abb. 51: Parzelle 10 d (Herkunft 10, vierte Wiederholung) im Mai 2008 (Foto)	52
Abb. 52: Parzelle 06 b (Herkunft 06, zweite Wiederholung) im Mai 2008 (Foto)	52
Abb. 53: Parzelle 17 a (Herkunft 17, erste Wiederholung) im Mai 2008 (Foto)	52
Abb. 54: Parzelle 28 b (Herkunft 28, zweite Wiederholung) im Mai 2008 (Foto)	52
Abb. 55: Herkunftsvergleich: Mittlere Boniturnote für das Bilden von Biomasse in Abhängigkeit von Erntetermin und Jahr	53
Abb. 56: Herkunftsvergleich: Mittlere Boniturnote für das Bilden von Biomasse in Abhängigkeit von Herkunft und Erntetermin	54
Abb. 57: Herkunftsvergleich: Mittlerer Jahresertrag (g TM/m ²) an Efeu-Blattdroge je Herkunft	55
Abb. 58: Herkunftsvergleich: Ertrag an Efeu-Blattdroge (g TM/m ²) je Herkunft, dargestellt als Ertragssumme je Versuchsjahr	55
Abb. 59: Herkunftsvergleich: Mittlerer Ertrag an Efeu Blattdroge (g TM/m ²) in Abhängigkeit von Herkunft und Erntetermin	56
Abb. 60: Herkunftsvergleich: Mittleres Eintrocknungsverhältnis von Efeublättern (1 zu n) in Abhängigkeit von Herkunft und Erntetermin	58
Abb. 61: Herkunftsvergleich: Mittlerer Ertrag der Stielfraktion von Efeu (1 zu n) in Abhängigkeit von Herkunft und Erntetermin	59
Abb. 62: Herkunftsvergleich: Mittlerer Jahresertrag (g TM/m ²) an Efeu-Stielfraktion je Herkunft	60
Abb. 63: Herkunftsvergleich: Mittlerer Jahresertrag (g TM/m ²) an Efeu-Stielfraktion je Herkunft dargestellt als Ertragssumme je Versuchsjahr	60
Abb. 64: Herkunftsvergleich: Mittleres Eintrocknungsverhältnis (1 zu n) der Efeu-Stielfraktion in Abhängigkeit von Herkunft und Erntetermin	61
Abb. 65: Herkunftsvergleich: Mittlerer relativer Anteil der Stielfraktion am Gesamtertrag Herba, in Abhängigkeit von Erntetermin und Jahr	62
Abb. 66: Herkunftsvergleich: Mittlerer relativer Anteil der Stielfraktion am Gesamtertrag Herba, dargestellt als Jahresmittelwert je Herkunft	62
Abb. 67: Herkunftsvergleich: Mittlerer relativer Anteil der Stielfraktion in Abhängigkeit von Herkunft und Erntetermin	63
Abb. 68: Herkunftsvergleich: Mittlerer Hederacosid-C-Gehalt (% TM) in Abhängigkeit von Herkunft und Erntetermin	65
Abb. 69: Herkunftsvergleich: Mittlerer Hederacosid-C-Gehalt in den Efeu-Blättern, dargestellt als Jahresmittelwert je Herkunft	66
Abb. 70: Herkunftsvergleich: Mittlerer Hederacosid-C-Gehalt in den Efeublättern (% TM) je Herkunft	66

Abb. 71: Herkunftsvergleich: Mittlerer α -Hederin-Gehalt in den Efeublättern (% TM) in Abhängigkeit von Herkunft und Erntetermin	67
Abb. 72: Herkunftsvergleich: Mittlerer α -Hederin-Gehalt in den Efeu-Blättern (% TM), dargestellt als Jahresmittelwert je Herkunft	68
Abb. 73: Herkunftsvergleich: Mittlerer α -Hederin-Gehalt in den Efeublättern (% TM) je Herkunft	68
Abb. 74: Herkunftsvergleich: Mittlerer Chlorogensäure-Gehalt (% TM) in Abhängigkeit von Herkunft und Erntetermin	69
Abb. 75: Herkunftsvergleich: Mittlerer Chlorogensäure-Gehalt in den Efeu-Blättern (% TM), dargestellt als Jahresmittelwert je Herkunft	70
Abb. 76: Herkunftsvergleich: Mittlerer Chlorogensäure-Gehalt in den Efeublättern (% TM) je Herkunft.....	70
Abb. 77: Herkunftsvergleich: Mittlerer Rutosid-Gehalt (% TM) in Abhängigkeit von Herkunft und Erntetermin	71
Abb. 78: Herkunftsvergleich: Mittlerer Rutosid-Gehalt in den Efeu-Blättern (% TM), dargestellt als Jahresmittelwert je Herkunft	72
Abb. 79: Herkunftsvergleich: Mittlerer Rutosid-Gehalt in den Efeublättern (% TM) je Herkunft	72
Abb. 80: Versuch Pflanzdichte: Mittlere Internodienlänge (cm) in Abhängigkeit von Pflanzdichte und Erntetermin	73
Abb. 81: Versuch Pflanzdichte: Mittlere Blattstiellänge (cm) in Abhängigkeit von Pflanzdichte und Erntetermin	74
Abb. 82: Versuch Pflanzdichte: Mittlerer Blattdrogenertrag ($\text{g TM}/\text{m}^2$) in Abhängigkeit von Pflanzdichte und Erntetermin	75
Abb. 83 Versuch Pflanzdichte: Ertrag an Efeu-Blattdroge in Abhängigkeit von der Pflanzdichte.	75
Abb. 84: Versuch Pflanzdichte: Mittleres Eintrocknungsverhältnis (1 zu n) der Efeublätter in Abhängigkeit von Pflanzdichte und Erntetermin	76
Abb. 85: Versuch Pflanzdichte: Ertrag an Efeu-Stielfraktion in Abhängigkeit von der Pflanzdichte.....	76
Abb. 86: Versuch Pflanzdichte: Mittlerer Ertrag an Efeu-Stielfraktion in Abhängigkeit von Pflanzdichte und Erntetermin	77
Abb. 87: Versuch Pflanzdichte: Mittleres Eintrocknungsverhältnis (1 zu n) der Efeu-Stielfraktion in Abhängigkeit von Pflanzdichte und Erntetermin	77
Abb. 88: Versuch Pflanzdichte: Mittlerer relativer Anteil der Stielfraktion am Gesamtertrag (TM) in Abhängigkeit von Pflanzdichte und Erntetermin.....	78
Abb. 89: Versuch Pflanzdichte: Mittlerer Hederacosid-C-Gehalt (% TM) in Efeublättern in Abhängigkeit von Pflanzdichte und Erntetermin	79
Abb. 90: Versuch Pflanzdichte: Mittlerer α -Hederin-Gehalt (% TM) in Efeublättern in Abhängigkeit von Pflanzdichte und Erntetermin	80
Abb. 91: Versuch Pflanzdichte: Mittlerer Chlorogensäure-Gehalt (% TM) in Efeublättern in Abhängigkeit von Pflanzdichte und Erntetermin	80
Abb. 92: Versuch Pflanzdichte: Mittlerer Rutosid-Gehalt (% TM) in Efeublättern in Abhängigkeit von Pflanzdichte und Erntetermin	81
Abb. 93: Versuch Schnittregime: Mittlere Internodienlänge in Abhängigkeit von Schnittregime und Versuchsjahr	82
Abb. 94: Versuch Schnittregime: Mittlere Internodienlänge in Abhängigkeit vom Schnittregime.	82
Abb. 95: Versuch Schnittregime: Mittlere Blattstiellänge in Abhängigkeit von Schnittregime und Versuchsjahr	82

Abb. 96 Versuch Schnittregime: Mittlere Blattstiellänge in Abhängigkeit vom Schnittregime	82
Abb. 97: Versuch Schnittregime: Mittlere Internodienlänge in Abhängigkeit von Schnittregime, Erntetermin und Versuchsjahr	83
Abb. 98: Versuch Schnittregime: Mittlere Blattstiellänge in Abhängigkeit von Schnittregime, Erntetermin und Versuchsjahr	83
Abb. 99: Versuch Schnittregime: Mittlerer Ertrag an Efeublättern (g TM/m ²) in Abhängigkeit von Schnittregime und Versuchsjahr	84
Abb. 100: Versuch Schnittregime: Mittlerer Ertrag an Efeublättern (g TM/m ²) in Abhängigkeit vom Schnittregime	84
Abb. 101: Versuch Schnittregime: Mittlerer Ertrag (g TM/m ²) an Efeu-Stielfraktion in Abhängigkeit von Schnittregime und Versuchsjahr	85
Abb. 102: Versuch Schnittregime: Mittlerer Ertrag (g TM/m ²) an Efeu-Stielfraktion in Abhängigkeit vom Schnittregime	85
Abb. 103: Versuch Schnittregime: Mittlerer Ertrag an Efeublättern (g TM/m ²) in Abhängigkeit von Schnittregime, Erntetermin und Versuchsjahr	86
Abb. 104: Versuch Schnittregime: Mittlerer Ertrag an Stielfraktion (g TM/m ²) in Abhängigkeit von Schnittregime, Erntetermin und Versuchsjahr	86
Abb. 105: Versuch Schnittregime: Mittleres Eintrocknungsverhältnis (1 zu n) von Efeublättern in Abhängigkeit von Schnittregime und Versuchsjahr	87
Abb. 106 Versuch Schnittregime: Mittleres Eintrocknungsverhältnis (1 zu n) von Efeublättern in Abhängigkeit vom Schnittregime	87
Abb. 107: Versuch Schnittregime: Mittleres Eintrocknungsverhältnis (1 zu n) von Efeu-Stielfraktion in Abhängigkeit von Schnittregime und Versuchsjahr	87
Abb. 108: Versuch Schnittregime: Mittleres Eintrocknungsverhältnis (1 zu n) von Efeu-Stielfraktion in Abhängigkeit vom Schnittregime.	87
Abb. 109: Versuch Schnittregime: Mittlerer relativer Anteil der Efeu-Stielfraktion am Gesamtertrag in Abhängigkeit von Schnittregime und Versuchsjahr	88
Abb. 110: Versuch Schnittregime: Mittlerer relativer Anteil der Efeu-Stielfraktion am Gesamtertrag in Abhängigkeit vom Schnittregime	88
Abb. 111: Versuch Schnittregime: Mittlerer relativer Anteil der Efeu-Stielfraktion am Gesamtertrag in Abhängigkeit von Schnittregime, Erntetermin und Versuchsjahr	88
Abb. 112: Versuch Schnittregime: Mittlerer Hederacosid-C-Gehalt in Efeublättern in Abhängigkeit von Schnittregime und Versuchsjahr	89
Abb. 113: Versuch Schnittregime: Mittlerer Hederacosid-C-Gehalt in Efeublättern in Abhängigkeit vom Schnittregime	89
Abb. 114: Versuch Schnittregime: Mittlerer Hederacosid-C-Gehalt in Efeublättern in Abhängigkeit von Schnittregime, Erntetermin und Versuchsjahr	89
Abb. 115: Versuch Schnittregime: Mittlerer α -Hederin-Gehalt in Efeublättern in Abhängigkeit von Schnittregime und Versuchsjahr	90
Abb. 116: Versuch Schnittregime: Mittlerer α -Hederin-Gehalt in Efeublättern in Abhängigkeit vom Schnittregime	90
Abb. 117: Versuch Schnittregime: Mittlerer α -Hederin-Gehalt in Efeublättern in Abhängigkeit von Schnittregime, Erntetermin und Versuchsjahr	90
Abb. 118: Versuch Schnittregime: Mittlerer Chlorogensäure-Gehalt in Efeublättern in Abhängigkeit von Schnittregime und Versuchsjahr	92

Abb. 119: Versuch Schnittregime: Mittlerer Chlorogensäure-Gehalt in Efeublättern in Abhängigkeit vom Schnittregime	92
Abb. 120: Versuch Schnittregime: Mittlerer Chlorogensäure-Gehalt in Efeublättern in Abhängigkeit von Schnittregime, Erntetermin und Versuchsjahr	92
Abb. 121: Versuch Schnittregime: Mittlerer Rutosid-Gehalt in Efeublättern in Abhängigkeit von Schnittregime und Versuchsjahr	93
Abb. 122: Versuch Schnittregime: Mittlerer Rutosid-Gehalt in Efeublättern in Abhängigkeit vom Schnittregime	93
Abb. 123: Versuch Schnittregime: Mittlerer Rutosid-Gehalt in Efeublättern in Abhängigkeit von Schnittregime, Erntetermin und Versuchsjahr	93
Abb. 124: 3-, 2- und 1-Schnitt-Variante im Versuch Schnittregime, Anfang April 2007 (Foto)	96
Abb. 125: Strukturformel von Hederacosid C	116
Abb. 126: Strukturformel von α -Hederin	116
Abb. 127: Strukturformel von Chlorogensäure	116
Abb. 128: Strukturformel von Rutosid	116

GLOSSAR

Blattfraktion, auch Blattmasse	Blätter und Blattstiele
DM	Dry matter (Trockenmasse)
FM	Feuchtmasse (Gewicht der erntefrischen Pflanzenteile)
GD	Grenzdifferenz
Herba	lat. für Kraut; hier. die Gesamtheit oberirdischen Pflanzenteile
Herkunft	Hier: eine der verglichenen Efeulinien verschiedener Herkunft
p	Signifikanzwert
Stielfraktion, auch Stielmasse	Entblätterte Ranken (Sprossachsen) des Efeus
TM	Trockenmasse (Gewicht der getrockneten Pflanzenteile)

1 EINLEITUNG UND ZIELSTELLUNG

Als „Charakterart sommergrüner Laubwälder“ (DIERSCHKE, 2005) ist der immergrüne Kletterstrauch Efeu allgemein bekannt. Er ziert Freiflächen, Gärten und Parkanlagen. Sowohl als Bodendecker als auch als Kletterpflanze findet der Efeu im Gartenbau Verwendung und ist in den verschiedensten Zuchtformen als Zimmerpflanze erhältlich. Als beliebtes und symbolträchtiges Ornament mit hohem Wiedererkennungswert ist er auch in Kunst und Kultur zu Hause.

Darüber hinaus wird der Efeu meist als Giftpflanze angesehen; aber dass er bereits seit der Antike als Arzneipflanze geachtet wird, ist im Allgemeinen eher unbekannt. Dennoch erfreuen sich gerade in neuerer Zeit Hustenmittel auf der Basis von Efeuextrakten wachsender Beliebtheit. Alleine in Deutschland werden jährlich mehr als 200 t getrockneter Efeublätter für Pharmazwecke verarbeitet. Die Rohware stammt aktuell vollständig aus Wildsammlungen und die Hauptherkunftsregionen sind Gebiete Südosteuropas und der Türkei. Die Efeublätter werden von Hand aus Wildbeständen gesammelt und meist unter natürlichen Bedingungen (d.h. ohne künstliche Wärme- und Luftzufuhr) getrocknet. So entstehen in der Regel sehr kleine Chargen, die anschließend zu größeren Rohwarencargen zusammengefasst und weitergehandelt werden. Aufgrund wechselnder Rahmenbedingungen bei Sammlung und Trocknung wird das natürliche Potential des Ausgangsmaterials nicht immer optimal genutzt. Charakteristisch für die Beschaffungsart Wildsammlung sind demzufolge stark schwankende Qualitäten und heterogene Rohwarencargen. Hingegen wird eine durch Arzneimittelzulassung und Arzneibuchmonographie klar definierte Mindestqualität gefordert. Daher können Rohwarencargen nur selektiv genutzt werden und die Mengenplanung der Rohware ist schwierig.

Nachdem sich die Naturheilkunde anhaltender Popularität erfreut und besonders seitdem die pharmakologische Forschung die Wirkungsweise von Efeu-Inhaltsstoffen auf das respiratorische System entschlüsselt hat (RUNKEL, PRENNER, & HÄBERLEIN, 2005), nimmt die Nachfrage nach Phytotherapeutika auf Efeubasis stetig zu. Um dieser Nachfrage zu begegnen, wird die Inkulturnahme mit dem Ziel eines kontrollierten Vertragsanbaus von Efeu ins Auge gefasst. Zum einen sorgt dies für kalkulierbare Rohstoffmengen. Zum anderen können auch qualitätsrelevante Parameter gezielt beeinflusst werden, um gleichbleibend hohe Qualitäten zu erzielen.

Bislang existiert noch kein kommerzieller landwirtschaftlicher Freilandanbau. Hingegen wird in geringem Ausmaß ein gärtnerischer Unterglasanbau betrieben. Es handelt sich dabei einerseits um massenweise Produktion von getopften Efeu-Schmuckformen für den Zierpflanzen Sektor und andererseits um Jungpflanzenvermehrung bestimmter Efeutypen für den Sektor Landschaftsarchitektur und Gartenbau. Diese gärtnerischen Anbausysteme sind auf das Produktionsziel „verkaufsfähige Topfpflanzen“ ausgerichtet. Im Vergleich zu landwirtschaftlichen Anbauformen sind sie durch hohen Aufwand (Material, Arbeit, Energie etc.), einen raschen Produktionszyklus und geringen Flächenverbrauch gekennzeichnet. Zur Erzeugung größerer Drogenmengen sind diese Systeme aus Kosten- und Kapazitätsgründen nicht geeignet.

Bei Arznei- und Gewürzpflanzen ist Anbauware meist teurer als Wildsammelware, weil die Aufwendungen für den Anbau (Pacht, Feldvorbereitung, Kulturetablierung, -führung, -pflege, Ernte etc.) deutlich höher sind als jene für das Sammeln in der Natur. Insofern unterliegt ein pflanzlicher Rohstoff, der bis dato ausschließlich aus Wildsammlung gewonnen wurde, einem immensen Preisdruck. Bei der Inkulturnahme einer Wildpflanze gilt es daher, ein möglichst rationelles Anbausystem zu entwickeln.

Efeu ist eine Waldpflanze und in seiner Juvenilphase ein schattenliebender Bodendecker und Kletterstrauch. Es liegt also zunächst nahe, diese natürlichen Ansprüche bei der Etablierung eines Anbausystems weitgehend zu berücksichtigen. Wie bei verschiedenen anderen Arznei- und Gewürzpflanzen bietet sich zunächst das Anbausystem „Halbkultur“ an. Dabei wird das Aufkommen der gewünschten Spezies an ihrem natürlichen Standort durch Säh- und/oder Pflanzmaßnahmen künstlich erhöht um die Flächenproduktivität zu steigern. Je nach Rahmenbedingungen erfolgt die Ernte meist auf einem sehr geringen technischen Niveau.

Im Fall von Efeu kämen typische Waldstandorte in Betracht. An Stelle gezielter Sortenwahl, wären die jeweils vorliegenden Naturtypen zu nutzen. Geeignete Flächen mit ausreichender Größe und angemessenen logistischen Bedingungen zu finden, ist schwierig. Darüber hinaus schränkt der Naturstandort Wald die Möglichkeiten eines Einsatzes kostensparender technischer Hilfsmittel stark ein, so dass die Unterschiede zwischen Wildsammlung und Halbkultur eher gering wären. Letztendlich wurden die Vorteile einer Halbkultur von Efeu als zu gering eingeschätzt und das Modell verworfen.

Aus Effizienzgründen müssen Feldanbausysteme in Erwägung gezogen werden. Zunächst ist es naheliegend, auch auf dem Feld den natürlichen Ansprüchen von Efeu möglichst gerecht zu werden und seine ursprünglichen Naturraumbedingungen dort zu simulieren. Als wesentliche Bestandteile eines solchen Systems wären Rankhilfen und Beschattung vorzusehen. Es liegt allerdings auf der Hand, dass sich derart aufwändige Maßnahmen, wie sie auch im Wein-, Hopfen, Obst- oder Beerenanbau üblich sind, empfindlich im Drogenpreis niederschlagen würden. Dass der Anbauerfolg in einem günstigen Verhältnis zum diesem Aufwand stehen würde, wurde als unwahrscheinlich eingeschätzt. Daher wurde auch dieses Modell verworfen.

Als kostengünstigste Alternative wurde schließlich als Anbausystem die feldmäßige Bodenkultur gewählt. Hierbei steht nicht der „artgerechte Anbau“ sondern die Effizienz der Produktion durch maschinellen Einsatz und damit die technische Beherrschbarkeit der Kultur Efeu im Vordergrund. Um einen Beitrag zur Inkulturnahme von Efeu zu leisten und Grundlagen für einen gewerbsmäßigen Anbau dieser Arzneipflanze zu erarbeiten, wurden die folgenden Fragestellungen bearbeitet:

- Gibt es Herkünfte, die sich besonders für einen Anbau eignen?
- Reicht die Regenerationsfähigkeit von Efeu für eine wiederholte Beerntung aus?
- Welches Schnittregime ist bei Efeu am besten geeignet im Hinblick auf
 - Schnitthäufigkeit?
 - Schnittzeitpunkt?
- Welche Pflanzdichte eignet sich am besten?
- Wie wirken sich die verschiedenen Einflussfaktoren auf Ertragsleistung und innere Qualität aus?

2 LITERATURÜBERSICHT

2.1 GESCHICHTE UND BEDEUTUNG DES EFEUS

Mit der europäischen Mythologie ist der Efeu verwoben wie kaum eine andere Pflanze. Schon beim griechischen Dichter Sophokles (497/496 bis 406/405 v. Chr.) findet der Efeu Erwähnung: „O sehet, es erregt mir den Geist der Efeu (*kissos*), der zum bacchischen Lusttaumel mich entrückt.“ Solche Zitate belegen, dass Efeuranken bei der kultischen Verehrung des Gottes Dionysos bzw. Bacchus benutzt wurden. Dieser trug auch den Beinamen *Kissophoros* („Efeuträger“). Das ägyptische Pendant zu Dionysos ist Osiris, dessen Kultpflanze ebenfalls der Efeu war. Bei den antiken Römern war Efeu auch die Pflanze des Apollon. Die frühen Christen betteten ihre Toten auf die immergrünen Efeublätter, die ihnen ein Sinnbild für Ewigkeit und Unsterblichkeit waren (HEIECK, 1992).

Man ist sich nicht gänzlich einig, wie der Efeu zu seinem Namen kam. Jedenfalls verwendeten bereits Virgil (70 bis 19 v. Chr.) und Plinius (23 bis 79 n. Chr.) die Bezeichnungen *hedera* und *helix*, welche später auch von Linné (1707 bis 1778) in den wissenschaftlichen Name für Efeu übernommen wurden. Die antiken Griechen kannten wohl drei Worte für ihn: Mit „*kissos*“ meinte man den Efeu im Allgemeinen. „*Elix*“ oder „*helix*“ wurde die Juvenilform genannt und „*edera*“ oder „*hedera*“ war der Name für die Adultform (HEIECK, 1992). „*Hedera*“ leitet sich wahrscheinlich von „*hédra*“ (griech. = ((fester)Sitz) ab. Alle drei Vokabeln sind möglicherweise auf das altindische „*gedh*“ (= fassen, umklammern) zurückzuführen (HEIECK, 1992) von dem sich auch das keltische Wort „*hedea*“ (= Seil) ableitet (fid-Gesundheitswissen.de, 2011) und auch die griechische Vokabel „*helissei*“ (= sich winden, drehen). Der Name „*Hedera helix*“ leitet sich also von der Wuchsform dieser Pflanze ab.

Ein anderes markantes Charakteristikum des Efeus sind seine immergrünen Blätter. Seit jeher verbindet man mit solchen Gewächsen den Begriff Ewigkeit, weil sie im Winter eben nicht ihr Laub abwerfen und vergehen. So leitet sich der neuhochdeutsche Name „*Efeu*“ von der germanischen Wortwurzel „*iewa*“, „*iwe*“ (ewig) ab. Auf denselben Ursprung gehen auch die Worte „*lfte*“ (holländisch), „*lfig*“ (angelsächsisch) und „*Ivy*“ (englisch) zurück (HEIECK, 1992).

Wie viele andere Pflanzen wurde auch der Efeu schon in der Antike als Heilmittel verwendet. Allerdings gibt es nur wenige Gemeinsamkeiten zwischen den antiken und den modernen, pharmazeutisch belegten Indikationen. Von Hippokrates (um 460 bis 370 v. Chr.) wurde er als Heilmittel gegen Milzbeschwerden, Gicht, Ohren- und Kopfschmerzen, Lungenleiden und Fieber beschrieben. Dioskurides (1. Jhd. n. Chr.) empfahl ihn zur äußeren Anwendung gegen Menstruationsbeschwerden, Kopf-, Ohren- und Zahnschmerzen und Brandwunden. Er wusste auch, dass die Ranke giftige Anteile in sich trägt und warnte ausdrücklich vor der inneren Einnahme des Efeusaftes, da dieser eine „Geistesstörung“ verursachen könne (forum-naturheilkunde.de, 2012). Hildegard von Bingen (1098 bis 1179) schrieb dem Efeu eine kühlende Wirkung zu, der - äußerlich angewendet – bei unregelmäßigen Blutungen sowie gegen Gelbsucht hilfreich sein sollte. In Verbindung mit Beinwell empfahl sie Efeu auch gegen Eingeweidebrüche. Sie vertrat die Auffassung, dass die Krankheit in die Pflanze überginge und dadurch eine baldige Genesung zu erwarten sei. Von inneren Anwendungen dieser „schädlichen Ranke“ riet sie jedoch explizit ab. (forum-naturheilkunde.de, 2012).

Als Arzneipflanze hat sich Efeu erneut im 16. Jahrhundert etabliert und erhielt zunehmend Aufmerksamkeit als Mittel gegen entzündliche Reizungen der Schleimhäute im Mund- und Rachenraum. Darüber hinaus nutzte man ihn gern gegen Nasenpolypen, Rachitis, Ischias, Milzleiden

und Gicht. Der Universalgelehrte Leonardo da Vinci (1452 bis 1519) beobachtete die positiven Effekte der Ranke bei Wildschweinen: sie hatten ihre Unpässlichkeiten mit dem Vertilgen von Efeublättern kuriert. Der Botaniker und Arzt Hieronymus Bock (1498 bis 1554) empfahl Efeu prophylaktisch bei Trunkenheit (forum-naturheilkunde.de, 2012). Der deutsche Theologe und Botaniker Otto Brunfels (1488 bis 1534) berichtet in seinem «Contrafayt Kreuterbuch» (1532) von der empfängnisverhütenden und sogar abtreibenden Wirkung der Pflanze. (forum-naturheilkunde.de, 2012).

Efeu wird also schon seit der Antike gegen die verschiedensten Beschwerden eingesetzt. Seine Anerkennung als wirkungsvolle pflanzliche Arznei gegen Husten und Bronchitis erhielt er jedoch erst im 19. Jahrhundert. Der Legende nach sei einem Arzt aufgefallen, dass Kinder, die aus Bechern tranken, die aus Efeuholz gefertigt waren, seltener Husten bekämen. (Trinkgefäße aus Efeuholz waren bereits in der Antike üblich, da man daran glaubte, mit ihnen verwässerten Wein entlarven zu können; forum-naturheilkunde.de, 2012).

Erst in jüngster Zeit wurde der Wirkmechanismus der Efeuinhaltsstoffe entschlüsselt und die Wirkung als potentes Hustenmittel pharmakologisch belegt (RUNKEL, PRENNER, & HÄBERLEIN, 2005). Aktuell erfreuen sich auf Efeuxtrakt basierende Phytotherapeutika wachsender Beliebtheit.

2.2 INHALTSSTOFFE UND WIRKSAMKEIT

Das Europäische Arzneibuch (Ph. Eur. 6. Ausgabe, 2008) definiert als Droge, aus der der pharmazeutisch eingesetzte Extrakt gewonnen wird, die getrockneten Blätter. In ihnen finden sich Saponine, phenolische Inhaltsstoffe (Rutosid, Kämpferol-3-Rhamnosid, Chlorogensäure, Kaffeesäure, Scopolin), Polyine (Falcarinol, Didehydrofalcarinol) und ätherisches Öl (Methylethylketon, Methylisobuthylketon, Capronaldehyd, *trans*-2-Hexanal, *trans*-2-Hexanol, Furfurol, Maltol) sowie die Sesquiterpene β -Elemen und Germacren B (HORZ & REICHLING, HagerROM, 2003; WICHTL, 2002). Bei vier in Ägypten wachsenden Linien von *Hedera helix* wurden die Alkaloide Emetin und Cephaelin nachgewiesen (MEHRAN, et al. 1975). Anderen Quellen zufolge (RUSCHE, 1979), lassen sich diese Alkaloide in Spuren auch in europäischen Provenienzen feststellen. Laut HAGER (1998) fehlen dazu verlässliche Untersuchungen, weshalb der Sachverhalt einer Überprüfung bedürfe.

Laut HAGER & BLASCHEK (1998) ist in der Sprossachse von Efeu ein Gummiharz unterschiedlicher Zusammensetzung sowie ätherisches Öl zu finden. Nähere Angaben zu deren Zusammensetzung fehlen. Darüber hinaus fand man in der Sprossachse in geringen Konzentrationen Substanzen aus der Stoffgruppe der Polyine. Die Rinde der Zweige und die Blätter enthalten eine Reihe phenolischer Inhaltsstoffe wie Scopolin, Chlorogensäure und Isoquercitrin. BEDIR et al. (2000) wiesen in den Beeren sechs verschiedene Triterpensaponine nach, von denen zwei bis dato in Efeu noch unbekannt waren. Efeusamen enthalten ca. 35 % fettes Öl dessen Hauptbestandteil zu 60 bis 80 % Petroselinssäure ist. Nach einem Nachtfrost hat man auf den Beeren einen raureifartigen Überzug beobachtet, der sich als reine Galaktose erwies (HAGER & BLASCHEK, 1998).

Es können also eine ganze Reihe verschiedener Substanzen aus Efeu isoliert werden. Als wichtigste Stoffklasse betrachtet man aber die Saponine (MAYER et al., 1987), die in allen Teilen der Pflanze vorkommen. Nach BÜECHI & BOLLI (2003) enthalten Efeublätter 2 bis 6 % Triterpen-Saponine. Saponine sind glykosidische Pflanzeninhaltsstoffe, die mit Wasser gelöst wie Seifen einen haltbaren Schaum ergeben. Ihr Name leitet sich vom lateinischen Sapo (= Seife) ab. Wegen ihrer gemeinsamen physikalisch-chemischen sowie ihrer physiologischen Eigenschaften werden sie zu einer einzigen Gruppe sekundärer Pflanzeninhaltsstoffe zusammengefasst (WATZL, 2001). Die wesentlichen

physiologischen Eigenschaften der Saponine sind ihre hämolytische Aktivität (Zerstörung der Erythrozyten), die Toxizität gegenüber Fischen und die Komplexbildung mit Cholesterin. Saponine bestehen aus einem Grundstrukturelement (Aglycon oder Sapogenin) und variablen Zuckeranteilen. Ein Saponin ist ein Glycosid, in dem ein Aglycon, mit einer oder mehreren Zuckerketten glykosidisch verbunden, vorliegt. Ein Aglycon mit einer Zuckerkette nennt man Monodesmosid, eines mit zwei Zuckerketten Bidesmosid. (MAYER et al, 1987). Die Saponinfraktion in Efeublättern besteht hauptsächlich aus bidesmosidischen Hederagenin-, Oleanolsäure- und Bayogeninglycosiden; in geringen Mengen liegt auch das Monodesmosid α -Hederin vor (HAGER & BLASCHEK, 1998).

Nach HAGER & BLASCHEK (1998) sind die Hauptsaponine des Efeus Hederacosid C (Abb. 125) und das daraus durch Esterhydrolyse und auch Fermentation entstehende α -Hederin (früher Helixin, Abb. 126) mit jeweils Hederagenin (Hederidin, Caulosapogenin, Melanthigenin) als Aglycon. Weitere Efeu-Saponine sind Hederacosid B und das daraus (analog zum α -Hederin) entstehende β -Hederin mit jeweils Oleanolsäure als Aglycon. Die beteiligten Zucker sind Glucose, Rhamnose und Arabinose. Das von SCHEIDEGGER et al. (1955) beschriebene Hederacosid A wurde von anderen Wissenschaftlern nicht mehr aufgefunden und man geht davon aus, dass er mit einer untypischen Efeu-Linie arbeitete (HAGER & BLASCHEK, 1998). Allerdings hat man zwischenzeitlich die Hederasaponine B, C, D, E, F, G (= Caulosid F) H, I nachgewiesen (ELIAS et al., 1991). Darüber hinaus wird neuerdings auch noch von Hederasaponin X gesprochen (ROTH & DAUNDERER, 2007). Die Saponine B, C, D, E, F, G, H, I liegen ungefähr in dem Verhältnis 70:1.000:45:10:40:15:6:5 vor (HAGER & BLASCHEK, 1998), was verdeutlicht, dass Hederacosid C quantitativ mit Abstand das bedeutendste Efeusaponin ist.

Nach DEMIRCI et al. (2004) können die Gehalte an den Saponinen Hederacosid C und α -Hederin in Abhängigkeit von Blattform und Herkunft sowie Vegetationsstadium stark variieren. Die gefundenen Gehalte an Hederacosid C lagen zwischen 0 und 14,63 %, während jene an α -Hederin zwischen 0 und 6,17 % schwankten. Die α -Hederinwerte lagen in jungen blühenden Trieben mit 1,62 % höher als in alten blühenden Trieben (0,18 %). Blätter von nicht blühenden (Anm.: juvenilen) Trieben wiesen Hederacosid C-Gehalte von durchschnittlich 6,53 % auf, während Blätter von blühenden Trieben (Anm.: adulten) niedrigere Werte von 4,72 % zeigten. α -Hederin wurde in juvenilen Blättern überhaupt nicht gefunden. Vergleichsdroge aus dem Handel wies einen Hederacosid C-Gehalt von 4,5 % und einen α -Hederin-Gehalt von 0,7 % auf. Das Versuchsmaterial wurde unmittelbar nach der Probengewinnung gefriergetrocknet. Ob dies auch bei der Vergleichsdroge der Fall war, geht aus der Quelle nicht hervor.

Neben den Saponinen sind die Polyphenole Rutin (Abb. 127) und Chlorogensäure (Abb. 128) hervorzuheben, da sie ein beträchtliches antioxidatives Potential besitzen (SCHÄFER, 2006). Zivilisationskrankheiten wie Darmkrebs und Entzündungen des Verdauungstraktes sind nicht selten auf ernährungsbedingt übermäßig vorhandene Oxidantien (ROS, reactive oxygen species) zurückzuführen. Oxidativer Stress steht in Zusammenhang mit degenerativen Krankheiten wie Krebs, Arteriosklerose und Diabetes. Antioxidanzien sind Substanzen, die ROS direkt durch Abfangen von Radikalen (NIJVELDT et al., 2001 in SCHÄFER, 2006) oder durch Chelatbildung mit Übergangsmetallen (VAN ACKER et al., 1998 in SCHÄFER, 2006) oder indirekt durch Modulation der Zellantwort (TALALAY, et al., 1995 in SCHÄFER, 2006) beseitigen.

Im Allgemeinen wird der Efeu als giftig eingestuft (ROTH & DAUNDERER, 2007, HAGER, 1998). Zwar sind tödliche Vergiftungsfälle durch Efeublätter noch nie beschrieben worden, der Verzehr einer größeren Menge von Efeublättern soll bei einem 3-jährigen Jungen jedoch zu folgenden Symptomen geführt haben: „starke Benommenheit mit Halluzinationen, klonische Krämpfe; erhöhte Temperatur,

erweiterte Pupillen, beschleunigter Puls; im Gesicht, am Rücken und an den Beinen ein scharlachartiger Hautausschlag; eine emetische oder abführende Wirkung wurde nicht beobachtet“ (HAGER & BLASCHEK, 1998).

Es gibt eine ganze Reihe von dokumentierten Fällen, bei denen es durch Kontakt mit dem Pflanzensaft zu schweren Hautausschlägen und Dermatiden gekommen ist (HAGER & BLASCHEK, 1998). Man macht dafür im Wesentlichen die Polyacetylene Falcarinol und Didehydrofalcarinol verantwortlich. Besonders das Falcarinol ist chemisch sehr aktiv, so dass das Sensibilisierungspotential von Extrakten (besonders ätherische Auszüge) aus frischen Efeublättern als mittelstark eingestuft wird. Nach HAGER (1998) ist eine Vergiftung durch Efeubeeren unwahrscheinlich, weil sie trockenhäutig sind, bitter schmecken und ein Brennen im Rachen auslösen. „Der Verzehr von 2-3 Beeren verursachte bei Kleinkindern Bauchkrämpfe, Erbrechen, Gesichtsrötung und Somnolenz. Bei leichter Symptomatik ist eine Behandlung der auftretenden gastrointestinalen Beschwerden angezeigt, notwendigenfalls ist Erbrechen auszulösen“.

„Therapeutisch wird Efeu als Expectorans bei obstruktiven Atemwegserkrankungen mit produktivem Husten als Begleiterscheinung eingesetzt“ (RUNKEL et al., 2005). Der eigentliche Arzneistoff ist dabei der pflanzliche Extrakt aus den Efeublättern. Dieser unterliegt dem Arzneimittelgesetz von 1978, welches für alle Arzneimittel eine Zulassung vorschreibt. Sie fordert im Wesentlichen den Nachweis der pharmazeutischen Qualität, Wirksamkeit und Unbedenklichkeit eines Arzneimittels, sowie dessen klare Definition mittels einer exakt beschriebenen Herstellungsweise und Analytik (RUNKEL et al., 2005). Therapeutisch nutzt man sowohl die sekretolytische als auch die bronchospasmolytische Wirkung. Klinische Studien mit Efeutrockenextrakt belegen eine deutliche Verbesserung wichtiger Lungenfunktionsparameter und eine Verbesserung des Wohlbefindens der Patienten. Neben der Wirksamkeit ist die sehr gute Verträglichkeit von Efeu-Zubereitungen durch toxikologische Untersuchungen sowie durch klinische Studien und Praxisdokumentationen belegt (GULYAS et al., 1992; MEYER-WEGENER et al., 1993; MANSFELD, 1997; MANSFELD, 1998; LÄSSIG, 1996; HECKER, 1997; HECKER, 1999; HECKER, 2002; KRAFT, 2004; HEAN, 1996 in RUNKEL et al., 2005).

Man ging ursprünglich von verschiedenen möglichen physiologischen Wirkmechanismen aus, die sich aber im Experiment nicht nachweisen ließen. Eine Theorie besagt beispielsweise, dass Efeuinhaltsstoffe die Magenschleimhaut in einer Art und Weise reizen, dass damit eine reflektorische Reizung des Nervus vagus einhergeht, was wiederum eine vermehrte Sekretproduktion in den Becherzellen der Bronchialschleimhaut auslöst (WAGNER & WIESENAUER (1995) in (BÜECHI & BOLLI, 2003)). „Angesichts der nachgewiesenen guten Verträglichkeit erscheint es jedoch eher unwahrscheinlich, dass eine Schleimhautreizung der entscheidende Mechanismus sein soll“ (BÜECHI & BOLLI, 2003). Eine andere Theorie geht davon aus, dass eine Verflüssigung des Schleims und eine Viskositätsreduzierung über die Herabsetzung der Grenzflächenspannung eine wichtige Rolle spielen könnte (BÜECHI & BOLLI, 2003).

In jüngster Zeit konnte die Arbeitsgruppe um Prof. Dr. Hanns Häberlein entscheidende Beiträge zur Aufklärung des Wirkmechanismus von Efeu leisten (HÄBERLEIN, 2005; SIEBEN, et al., 2009; HÄBERLEIN, 2005). Mittels der Fluoreszenz-Korrelations-Spektroskopie (FCS) konnten molekulare und zellbiologische Vorgänge in lebenden Alveolarzellen sichtbar gemacht werden, die einen möglichen Wirkmechanismus von Efeublättertrockenextrakt plausibel nachweisen. Die FCS ermöglicht es, Wechselwirkungen zwischen einem Liganden und seinem Rezeptor zu untersuchen. Voraussetzung ist, dass die zu untersuchenden Substanzen fluoreszieren. Tun sie dies nicht von Natur aus, müssen Sie, wie hier, chemisch modifiziert werden.

Die vorliegenden Ergebnisse legen nahe, dass α -Hederin einen β_2 -adrenergen Effekt hat, der eine Verflüssigung des Schleims und eine Entspannung der Bronchialmuskulatur auslöst. Dieser Mechanismus konnte nicht für Hederagenin oder Hederacosid C nachgewiesen werden. Hederacosid C kann jedoch als Prodrug angesehen werden, denn in vivo wird es durch Esterasen in α -Hederin umgewandelt (HÄBERLEIN, 2005). Nach (ALBERT, 1958) sind Prodrugs pharmakologisch inaktive Verbindungen, die erst durch einen metabolischen Umwandschritt in einen aktiven Wirkstoff überführt werden. α -Hederin beeinflusst die β_2 -Rezeptoren in der Lunge. Diese befinden sich in den Membranen von Alveolarepithelzellen einerseits und von Bronchialmuskelzellen andererseits. Bei den Alveolarepithelzellen löst die Anbindung des Neurotransmitters Adrenalin an die β_2 -Rezeptoren eine Wirkkaskade aus, die letztendlich dazu führt, dass die Alveolarepithelzellen mittels Exocytose Surfactant absondern. Dieses ist ein Oberflächenfaktor, der maßgeblich dazu beiträgt, dass die Oberflächenspannung des Flüssigkeitsfilms an der Alveolenoberfläche im Vergleich zu wässrigen Grenzschichten deutlich geringer ist. Dadurch wird der Gasaustausch erleichtert und der Schleimtransport verbessert. Bei der glatten Bronchialmuskulatur führt die Erregung der β_2 -Rezeptoren (ebenfalls durch eine Wirkkaskade) zu einer Erniedrigung der intrazellulären Calcium-Konzentration, was eine Relaxation der Bronchialmuskulatur bewirkt. Die β_2 -adrenergen Rezeptoren befinden sich in so genannten funktionalen Mikrodomänen (lipid rafts, caveolae) in den Zellmembranen. Nach Erregung durch Adrenalin funktionieren sie wie eine Art Schleuse, die Moleküle passieren lässt, die die erwähnten Wirkkaskaden anstoßen. Wenn die Reizstärke (also die Adrenalin-Konzentration, bzw. die Konzentration an Adrenalin-Rezeptorkomplex) eine bestimmte Schwelle überschreitet, stülpen sich die β_2 -adrenergen Rezeptoren in die Zellmembran ein und werden in Form von Endosomen oder „coated pits“ mittels Endocytose in die Zelle aufgenommen. Dieser Vorgang wird Internalisierung der β_2 -adrenergen Rezeptoren genannt. Er bewirkt eine Reduktion der Anzahl der membranständigen Rezeptoren und reguliert so die Signalübertragung. Im Normalfall löst also die Aktivierung der Rezeptoren eine Signalkaskade aus und anschließend werden die Rezeptoren internalisiert. Basierend auf den Ergebnissen von RUNKEL et al. (2005) geht man nun davon aus, dass α -Hederin die Internalisierung von β_2 -adrenergen Rezeptoren hemmt. Adrenalin kann dann dissoziieren und die Rezeptoren können erneut erregt werden (SIEBEN, et al., 2009). In einer klinischen Studie erwies sich Efeuextrakt in der Behandlung von unkomplizierter chronischer Bronchitis dem synthetischen Sekretolytikum Ambroxol als ebenbürtig (MEYER-WEGENER et al., 1993).

2.3 GESETZLICHE VORGABEN ZUR QUALITÄT DER DROGE

Das europäische Arzneibuch (Ph. Eur. 6. Ausgabe, 2008) definiert die Droge „*Hederae folium*“ als „die im Frühjahr geernteten, getrockneten, ganzen oder geschnittenen Blätter von *Hedera helix* L.“

Die inhaltsstofflichen Anforderungen des Ph. Eur. sind die folgenden:

„*Gehalt*: mindestens 3,0 Prozent Hederacosid C ($C_{59}H_{96}O_{26}$; M_r 1221), bezogen auf die getrocknete Droge“

Die makroskopische Identität der Droge wird folgendermaßen beschrieben:

„*Das gesamte Blatt ist ledrig, 4 bis 10 cm lang und breit, am Grund herzförmig. Die Blattspreite ist handförmig 3- bis 5-fach gelappt; die Blattabschnitte sind mehr oder weniger dreieckig und ganzrandig. Die Blattoberseite ist dunkelgrün mit einer helleren, strahlenförmig verlaufenden*

Nervatur; die Blattunterseite ist mehr graugrün und die Nervatur ist hier deutlich erhaben. Der Blattstiel ist lang, zylindrisch, etwa 2 mm im Durchmesser und in Längsrichtung gefurcht. Auf den Blattstielen und der Oberfläche jüngerer Blätter befinden sich verstreut weiße Haare. Die älteren Blätter sind kahl. Gelegentlich können ganzrandige, eiförmig-rhombische bis lanzettliche, 3 bis 8 cm lange Blätter der blütentragenden Sprosse vorhanden sein.“

Die Prüfung auf Reinheit der Droge ist wie folgt geregelt:

Fremde Bestandteile: höchstens 10 Prozent verfärbte Bestandteile, höchstens 10 Prozent Stängelanteile und höchstens 2 Prozent andere fremde Bestandteile.

Trocknungsverlust: höchstens 10,0 Prozent, mit 1,000 g pulverisierter Droge durch 2 h langes Trocknen bei 105 °C bestimmt.

Asche: höchstens 10,0 Prozent

2.4 BOTANISCHE CHARAKTERISIERUNG VON EFEU

2.4.1 TAXONOMIE

Die Gattung Efeu wird wie folgt taxonomisch eingeordnet (ITIS Report (Integrated Taxonomic Information System), 2012).

Tab. 1: Systematik der Gattung *Hedera* L.

(itis.gov, ITIS Report (Integrated Taxonomic Information System, 2012))

Reich	Plantae	Pflanzen
Unterreich	Tracheobionta	Gefäßpflanzen
Division	Magnoliophyta	Bedecktsamer (Angiospermae)
Klasse	Magnoliopsida	Zweikeimblättrige (Dicotyledonae)
Unterklasse	Rosidae	Rosenähnliche
Ordnung	Apiales	
Familie	Araliaceae	Araliengewächse, Ginsengewächse
Gattung	<i>Hedera</i> L.	Efeu

„Die Einteilung der Gattung *Hedera* L. in Arten war von jeher umstritten und wurde demzufolge sehr verschieden gehandhabt“ (HEIECK, 1992). „Über die Taxonomie der verschiedenen Efeuarten (*Hedera* ssp.) gibt es beträchtliche Uneinigkeit“ (METCALFE, 2005).

Efeu ist als Zierpflanze sehr beliebt und eine ganze Reihe von Studien haben die Verwandtschaftsverhältnisse der verschiedenen kommerziell genutzten Formen untersucht (z.B. VOSS, 1896; TOBLER, 1912; LAWRENCE & SCHULZE, 1942; ROSE 1997 in VARGAS et al., 1999). Über die Phylogenie und Taxonomie der Wildtypen des Efeus wurde bis zum Ende der 1990er Jahre vergleichsweise wenig gearbeitet. Efeu ist in der vegetativen (juvenilen) Phase sehr veränderlich und die Blüten der generativen (adulten) Phase können taxonomisch kaum genutzt werden. Aus diesem Grund wurden für gewöhnlich die meisten Formen und Rassen der Art *Hedera helix* L. zugeordnet (VARGAS, McALLISTER, MORTON, JURY, & WILKINSON, 1999).

SEEMANN (1868) führte die Erscheinungsform der Trichome (Anm. Pflanzenhaare, Schuppenhaare, Sternhaare) auf den Blättern als Unterscheidungsmerkmal der verschiedenen Efeuarten ein (siehe auch HIBBERD, 1893; TOBLER, 1912; LAWRENCE & SCHULTZE, 1942; McALLISTER 1981; McALLISTER, 1988; LUM & MAZE, 1989; ROSE 1996 in ACKERFIELD & WEN, 2002).

McALLISTER legte eine überarbeitete Systematik der Gattung *Hedera* vor, die sowohl morphologische als auch zytologische Merkmale berücksichtigte (McALLISTER 1981, McALLISTER 1988, RUTHERFORD, McALLISTER & MILL, 1993). Sie weist 12 Arten auf (siehe Tab. 2).

Tab. 2: Verbreitung, Chromosomenzahl und Trichomtypen von *Hedera* L. aus ACKERFIELD & WEN (2002) nach McALLISTER (1981)

Taxon	Anzahl Chromosomen	Ploidiestufe	Vorkommen	Trichomtyp
<i>H. algeriensis</i> Hibbert	2n = 96	4x	Mittelmeerküste Algeriens und Tunesiens	hyphenförmig
<i>H. azorica</i> Carr.	2n = 48	2x	Azoren	sternförmig
<i>H. canariensis</i> Willd.	2n = 48	2x	Kanarische Inseln	hyphenförmig
<i>H. colchica</i> K. Koch	2n = 192	8x	Kaukasus, Türkei	hyphenförmig
<i>H. cypria</i> McAllister	2n = 144	6x	Troodos-Gebirge auf Zypern	hyphenförmig
<i>H. helix</i> L. subsp. <i>helix</i>	2n = 48	2x	Europa (Scandinavien, Bulgarien, Westtürkei, Zypern, Griechenland, Kreta) und Ukraine	sternförmig
<i>H. helix</i> L. f. <i>poetarum</i> (Nyman) McAllister & Rutherford			Italien und westliches Transkaukasien	sternförmig
<i>H. helix</i> L. subsp. <i>rhizomatifera</i> McAllister	2n = 48	2x	Südspanien	sternförmig
<i>H. hibernica</i> Carr.	2n = 96	4x	Atlantikküste Europas von Irland über Südwest-England und Frankreich bis Südwest-Spanien	sternförmig
<i>H. maderensis</i> K. Koch ex Rutherford subsp. <i>maderensis</i>	2n = 144	6x	Madeira	hyphenförmig
<i>H. maderensis</i> K. Koch ex Rutherford subsp. <i>iberica</i> McAllister	2n = 144	6x	Gibraltarregion Algeriens und Lissabon-Region in Portugal und Spanien	hyphenförmig
<i>H. maroccana</i> McAllister	2n = 48	2x	Marokko	hyphenförmig
<i>H. nepalensis</i> K. Koch var. <i>nepalensis</i>	2n = 48	2x	Nepal, Kaschmir	hyphenförmig
<i>H. nepalensis</i> var. <i>sinensis</i> Rehder	2n = 48	2x	Südwest China	hyphenförmig
<i>H. pastuchovii</i> G. Woronow	2n = 144	6x	Kaukasus, Elburz-Gebirge im Iran	hyphenförmig
<i>H. rhombea</i> Miq.	2n = 48	2x	Taiwan, Japan, Südkorea	hyphenförmig

ACKERFIELD & WEN (2002) ordnen, basierend auf morphometrischen Untersuchungen, die verschiedenen Efeu-Taxa in ein Dendrogramm ein, bei dem unter Berücksichtigung der Ausprägung der Sternhaare die folgende Einteilung getroffen wird:

Hyphenförmige Trichome, Untergruppe 1:

- *H. nepalensis* var. *sinensis*
- *H. nepalensis* var. *nepalensis*

Hyphenförmige Trichome, Untergruppe 2:

- *H. algeriensis*
- *H. canariensis*
- *H. colchica*
- *H. cypria*
- *H. maderensis* subsp. *iberica*
- *H. maderensis* subsp. *maderensis*
- *H. maroccana*
- *H. pastuchovii*
- *H. rhombea*

Innerhalb der Gruppe der Taxa mit sternförmigen Trichomen können wiederum drei verschiedene Untergruppen erkannt werden:

Sternförmige Trichome, Untergruppe 1:

- *H. helix* (*H. helix* subsp. *helix*) und *H. helix* f. *poetarum*

Sternförmige Trichome, Untergruppe 2:

- *H. hibernica*

Sternförmige Trichome, Untergruppe 3:

- *H. azorica*

Nach ACKERFIELD & WEN (2002) beinhaltet die Art *Hedera helix* L. lediglich die Subspezies *H. helix* subsp. *poetarum*. *Hedera hibernica* (G. Kirchn.) D.C. McClint wird als eigene Art angesehen.

Aufwendige morphometrische und genetische Untersuchungen (VARGAS, 2002; GRIVET & PETIT, 2002; ACKERFIELD 2002) haben in neuerer Zeit zu einer starken Diversifizierung der Gattung *Hedera* geführt indem eine ganze Reihe von Taxa als eigene Arten beschrieben worden sind. Im Wesentlichen wird dabei die von McALLISTER postulierte Systematik (Tab.2) unterstützt.

Besonders die Abgrenzung von *Hedera helix* und *Hedera hibernica* wird sehr kontrovers diskutiert. Verschiedene Autoren (LAWRENCE & SCHULZE, 1942; POYARKOVA, 1973; KENT, 1991; STACE, 1997 in ACKERFIELD & WEN, 2002) behandeln dieses Taxon als *Hedera helix* ssp. *hibernica* während andere (wie (BEAN, 1915; McALLISTER, 1990; ROSE, 1997 in ACKERFIELD 2002) *Hedera hibernica* als eigene Art ansprechen.

Nach McALLISTER et al. (1990) besteht die Art *Hedera helix* L. im weiteren Sinn („sensu lato“) aus der diploiden Subspezies *Hedera helix* L. und der tetraploiden Subspezies *Hedera hibernica* (Kirchner) Bean. Streng betrachtet („sensu stricto“) bilden die genannten Subspezies eigene Arten. Sie beschreiben deutliche Unterschiede in den Verbreitungsgebieten beider Taxa. *Hedera hibernica* kommt hauptsächlich an der Atlantikküste Europas vor während *H. helix* über ganz Europa bis in die Ukraine verbreitet ist. McALLISTER et al. (1990) nennen verschiedene Unterscheidungsmerkmale, anhand derer sie eine separate Artenzuordnung postulieren (Tab 3).

Tab. 3: Unterscheidungsmerkmale zwischen *H. hibernica* und *H. helix* nach McALLISTER (1981)

Taxon	<i>Hedera hibernica</i> (Kirchner) Bean	<i>Hedera helix</i>. L.
Wuchs	sehr wüchsig; hat oft lange Internodien von bis zu 18 cm oder länger. Junge Triebe können dick und sukkulent sein.	deutlich weniger wüchsig, insgesamt langsames Wachstum. Internodien meist ziemlich kurz. Neuzuwachs oft dünn und drahtig.
Blattgröße	Blätter in ihrer Form sowohl zwischen verschiedenen Phasen (vegetativ, generativ), als auch zwischen verschiedenen Individuen sehr wechselhaft aber generell deutlich größer, bis zu 10 cm breit und 10 cm lang an feuchten und geschützten Standorten.	Blattform zwischen verschiedenen Stadien und bei verschiedenen Individuen ebenfalls sehr stark wechselnd aber generell deutlich kleiner.
Blätter der vegetativen Phase	Die Blätter der vegetativen Phase sind meist die größten und ähneln den Blättern der Übergangs- und der adulten (generativen) Phase ziemlich stark. Die Spitze des Mittellappens ist meist abgerundet.	Die Blätter der vegetativen Phase, überwiegend in Bodennähe hervorgebracht, sind an der ganzen Pflanze fast immer die kleinsten. Die Spitze des Mittellappens ist meist spitz zulaufend.
Beschaffenheit der Blätter	Die Blätter sind normalerweise geschmeidig lederartig, oft fleischig-wachsig.	Die Blätter sind von ledriger, oft papierener Textur, aber dünn an den Rändern.
Blattfarbe	Während der kalten Jahreszeit können die Interkostalfelder eine rosa oder hellbronzene Tönung annehmen. Die Blattadern heben sich dann apfelgrün ab. Einige Typen mit geringerer Anthocyanfärbung haben nur rötliche Blattränder oder dunkeln überhaupt nicht. In seltenen Fällen werden die Blätter rötlich-kastanienbraun.	Während der kalten Jahreszeit, besonders in frostigen Lagen, können die Blätter vollständig violett-schwarz werden; die Grundfarbe dunkelt beträchtlich.
Blatt-epidermis	Die Epidermis ist ziemlich vollständig sichtbar und kann dicker erscheinen, weil die Blattränder nach oben gewölbt sind.	Die Epidermis ist nicht gut zu sehen weil die Blattränder nach unten gewölbt sind.
Blattsinus	Der Blattsinus sind meistens tief und bogenförmig; die Blätter können trichterförmig aufgerollt sein.	Der Sinus kann tief sein aber die Spreite ist normalerweise flach.
Blatt-nervatur	Während der vegetativen Phase ist die Nervatur fast nie erhaben und unterscheidet sich in der Färbung nur wenig vom Untergrund. Die Färbung der Nervatur ist meist lediglich etwas blässer als die der Interkostalfelder oder gelblich-grün.	Während der vegetativen Phase ist die Nervatur auf dem Blatt fasst immer stark erhaben, oft silbrig-weiß, seltener umrandet mit blässlicher Färbung.
Trichome	Die Sternhaare scheinen spärlich wegen der parallel zur Blattoberfläche liegenden Haarstrahlen. Sie sind oft beige oder mehr orange-braun.	Die Trichome erscheinen als gräulich-weißer Flaum auf neuen Trieben, weil die Haarstrahlen sich ineinander verhaken sowie in verschiedenen Winkeln von der Blattoberfläche abstehen und somit das Licht in verschiedenen Winkeln reflektieren.
Pflanzen-saft	Der Pflanzensaft riecht stark oft kiefernartig und süß	Der Pflanzensaft riecht viel schwächer und normalerweise eher säuerlich.

Wenn sich auch die erwähnten Autoren über die Differenzierung einig sind, so wird doch bei allen die sehr enge Verwandtschaft zwischen *H. helix* und *H. hibernica* deutlich, die näher ist, als zu allen anderen Taxa der Gattung *Hedera* (McALLISTER 1990 IN ACKERFIELD 2002, VARGAS et al., 1999, ACKERFIELD & WEN 2002). Man geht davon aus, dass das diploide Taxon *H. helix* der mütterliche Elter des tetraploiden Taxons *H. hibernica* ist (ACKERFIELD & WEN, 2002).

Bemerkenswert ist, dass sich die neuere Systematik des Efeus in der Fachwelt bisher nicht vollständig durchgesetzt hat. Beispielsweise sieht STACE (1997) *H. hibernica* als eine Subspezies von *H. helix* an: subsp. *hibernica* (G. Kirchn.) D.C. McClint. Er ordnet die folgenden Subspezies der Art *H. helix* zu:

- subsp. *helix* L. („common British ivy“)
- subsp. *hibernica* (G. Kirchn.) D.C. McClint („irisch ivy“)
- subsp. *poetarum* (gelbfrüchtige, aus dem Mittelmeerraum stammende Subspezies)

Eine Datenabfrage im Sys Tax (Database System for Systematics and Taxonomy, Universität Ulm & Ruhr-Universität Bochum) ergibt die folgenden Informationen zu *Hedera hibernica*:

1. *Hedera helix* L. ssp. *hibernica* (G.Kirchn.) D.C.McClint.
2. *Hedera hibernica* (G.Kirchn.) Bean
3. *Hedera hibernica* (G.Kirchn.) Bean 'Grünpfeil'

An erster Stelle wird hier die Zuordnung von *hibernica* als eine Subspezies von *Hedera helix* L. genannt.

2.4.2 PHYLOGENESE

Nach DÖRING (2007) besteht die Familie der Araliaceae aus 47 Gattungen und über 1.350 Arten. Sie wird unterteilt in zwei Unterfamilien: *Hydrocotyloideae* (ca. 4 Gattungen) und *Aralioideae* (ca. 43 Gattungen). Zu letzteren zählen bekannte Arzneipflanzen wie der Ginseng (asiatischer Ginseng *Panax ginseng*; amerikanischer Ginseng *Panax quinquefolium*) und *Eleutherococcus* MAXIM. aber auch Zierpflanzen wie *Schefflera arboricola* oder *Fatsia japonica*. Heutzutage bewohnt diese Gattung vorwiegend die Tropen; in Mitteleuropa ist Efeu der einzige Vertreter der *Aralioideae*.

Nach VALCÁCEL et al (2003) befindet sich das Genzentrum der Familie der Araliaceen in der Region Südasiens, Australien und Neukaledonien. Man geht davon aus, dass die Gattung *Hedera* in Asien entstanden ist und sich anschließend über weite Erdteile ausgebreitet hat.

Fossilienfunde belegen beispielsweise die Anwesenheit von *Hedera* in Nordamerika und Europa bereits in der Kreidezeit (vor 145 Mio. Jahren bis 65 Mio. Jahren), als auch hier tropisches Klima herrschte. Funde aus dem Alttertiär (Eozän, vor 50 Mio Jahren) zeigen die Anwesenheit der Gattung sogar in Grönland und Alaska und bis zum Jungtertiär (Miozän, vor 25 Mio Jahren) noch in Nordamerika (HEIECK, 1992). Man geht davon aus, dass *Hedera helix* L. erst in der Endphase des Tertiärs (Pliozän vor ca. 5 bis 2,5 Mio Jahren) entstanden ist, als das Klima sich nicht wesentlich von unserem heutigen unterschied (HEIECK, 1992).

Extreme Klimaveränderungen leiteten anschließend die Eiszeit des Quartärs ein. Es wird unterteilt in Pleistozän (das eigentliche Eiszeitalter) und das Holozän (die Nacheiszeit), in dem wir uns noch heute befinden. Die meisten Pflanzen des Tertiärs wurden während des Pleistozäns aus Mitteleuropa verdrängt, einige wenige, wie der Efeu, überdauerten in vereinzelt Refugien, um sich nach der Eiszeit erneut auszubreiten. Sie werden als Tertiärrelikte bezeichnet. Der Efeu (*Hedera helix* L.) gilt in Mitteleuropa als laurophylls Tertiärrelikt (DIERSCHKE, 2005), wobei der Begriff „laurophyll“ (wörtlich „lorbeerblättrig“, im übertragenen Sinn: immergrün) auf den Ursprung des Efeus aus dem Vegetationstyp der subtropischen immergrünen Lorbeerwälder hindeutet.

Eine ganze Reihe von Arbeiten beschäftigt sich auf der Ebene des Genoms mit der Phylogenie der Gattung *Hedera* (VARGAS, McALLISTER, et al., 1999; VALCÁCEL, FIZ, & VARGAS, 2003; GRIVET & PETIT, 2002; ACKERFIELD & WEN, 2002). Man geht im Wesentlichen von vier Hauptabstammungslinien aus, die sich in der DNS ihrer Chloroplasten unterscheiden und infolgedessen als Chlorotypen I bis IV bezeichnet

werden. VARGAS et al. (2003) schlagen ein Szenario vor, in dem die erste Besiedlung Europas durch asiatische Vorfahren des Efeus im Mittelmeerbecken stattfand (Chlorotyp I). Dort erfolgte eine Differenzierung in vier Chlorotypen (ein ursprünglicher, asiatischer Chlorotyp I und drei neu hinzugekommene Chlorotypen II bis IV). In dieser Zeit könnte die Gattung *Hedera* in Asien ausgestorben sein, denn die heute in Asien anzutreffenden *Hedera*-Arten weisen nicht den asiatischen Chlorotyp I auf, sondern allein den mediterranen Chlorotyp III, was auf eine Wiederbesiedlung Asiens mit mediterranem Efeu hindeutet. Somit werden drei Zentren der Diversifikation von *Hedera* angenommen. Das primäre ist das Diversifikationszentrum der Familie der Araliaceae an sich (Südasiens, Australien, Neukaledonien), wo möglicherweise *Hedera* des Chlorotyps I entstanden ist. Das zweite Diversifikationszentrum liegt im westlichen Mittelmeerbecken. Das dritte sind die makaronesischen Archipele (Azoren, Kanaren, Madeira), auf denen die Taxa *H. azorica*, *H. maderensis* ssp. *maderensis* und *H. canariensis*, zurückgehend auf jeweils einzelne Besiedlungsereignisse, entstanden sind (VALCÁCEL, FIZ, & VARGAS, 2003).

Die Differenzierung von verschiedenen Chlorotypen zieht nicht zwingend die Aufteilung in verschiedene Arten nach sich. Beispielsweise sind in der Art *Hedera helix* ssp. *helix*, so wie sie aktuell definiert wird, alle vier Chlorotypen anzutreffen. Auch bei polyploiden *Hedera*-Taxa (wie z.B. *H. hibernica*) treten mehrere Chlorotypen in ein und demselben Taxon auf. Dies ist ein Hinweis auf rege Hybridisierungs- und Polyploidisierungsprozesse bei der Diversifizierung der Gattung *Hedera* und zeigt, dass die einzelnen Arten sich wahrscheinlich „netzartig“ herausgebildet haben, indem verschiedene Vorfahren aus unterschiedlichen Regionen hybridisierten und sich aufeinander zu entwickelten. Aber auch diese verschiedenen Vorfahren müssen gemeinsamer Abstammung gewesen sein, denn man ist sich in der Fachwelt einig darüber, dass es sich bei den heute definierten Efeu-Arten um monophyletische, das heißt, auf einen gemeinsamen Vorfahren zurückgehende Arten handelt. Die Herausbildung der Taxa in *Hedera* liegt, entwicklungsgeschichtlich betrachtet, relativ kurze Zeit zurück, worauf die geringe Divergenz der DNS verschiedener Taxa hindeutet (ACKERFIELD 2002).

Dass *Hedera* tatsächlich ein Tertiärrelikt ist, ist nicht zweifelsfrei erwiesen, aber sehr wahrscheinlich, da verschiedene Eigenheiten dieser Gattung darauf hindeuten. So ist beispielsweise der Blürrhythmus (Blüte zwischen September und Januar) nicht im Einklang mit dem mitteleuropäischen Klima, sondern ähnelt eher jenem von tropisch-subtropischen Pflanzen.

Was den europäischen Kontinent anbelangt, hat *Hedera* die letzte Eiszeit wohl in drei Refugien überdauert: auf der spanischen Halbinsel, dem Balkan und den Alpen (oder Italien) (LANG, 1994 IN (DIERSCHKE, 2005; GRIVET & PETIT, 2002), von wo aus sich die Gattung über ganz Europa verbreitet hat. Die Gattung *Hedera* ist ziemlich jung und Diversifizierungsprozesse haben sehr rasch stattgefunden, was mit der rapiden Klimaerwärmung nach der letzten Eiszeit im Zusammenhang stehen könnte. Letztlich liegt genau darin vielleicht ein Grund für die Kontroversen bei der Klassifizierung der verschiedenen *Hedera*-Taxa (ACKERFIELD 2002).

Man könnte *Hedera* als mitteleuropäische Gattung mit asiatischen Vorfahren ansehen. ELLENBERG (1988; IN METCALFE, 2005) bezeichnet den Efeu als mitteleuropäische Spezies, deren Verbreitungsgebiet sich von Nordafrika über die Mittelmeerregion bis nach Norwegen, und ostwärts bis nach Litauen, die Ukraine, Armenien, Georgien und den Iran erstreckt. In Mitteleuropa kann er also als einheimische Pflanze mit südostasiatischer Abstammung angesehen werden.

Eingeschleppt wurde Efeu in Australien, Brasilien, Kanada, Hawaii, Neuseeland und den Vereinigten Staaten (LAROQUE, 1998 IN GRIVET & PETIT 2002) sowie in Indien und Südafrika (METCALFE 2005).

2.4.3 MORPHOLOGIE

„Der Efeu gehört zu den wenigen immergrünen Laubgehölzen unserer mitteleuropäischen Flora. Man bezeichnet ihn als Liane oder Kletterstrauch“ (DIERSCHKE, 2005). In seinen Erscheinungsformen ist er sehr wechselhaft und vor allem seine Blätter zeigen eine große Variationsbreite in ihrer Form und Größe (Heterophyllie). Es lassen sich drei Erscheinungsformen des Efeus unterscheiden:

- Bodendecker (juvenil)
- Kletterranke oder Liane (juvenil)
- Strauch oder kleiner Baum (adult)

Wie alle Vertreter der Gattung *Hedera* hat er eine lange Juvenilphase, während der er keine Blüten ausbildet und somit steril ist. In dieser Zeit trägt er die typischen, wechselständig angeordneten, ahornartigen, drei- bis fünfblättrigen Blätter, auf denen sich die Nervatur sehr deutlich hell absetzt. Bei ungünstigen, von Kahlfrösten geprägten klimatischen Bedingungen bleibt er dauerhaft in seiner Juvenilform und ist nur am Boden zu finden, wo er sich als Chamaephyt in die Krautschicht der Wälder einfügt und so, vor zu starkem Frost geschützt, überdauert. In dieser Form verbreitet er sich ausschließlich vegetativ durch Anwurzeln der Bodenranken (DIERSCHKE, 2005)

Unter klimatisch besseren Bedingungen verlässt er die Krautschicht und erklimmt als Phanerophyt, mithilfe seiner für die Jugendform typischen, sprossbürtigen Haftwurzeln, Baumstämme oder Felswände (DIERSCHKE, 2005). Auch in dieser Erscheinungsform kann er dauerhaft bleiben, wenn die Umstände (Belichtung, Temperatur, Wasserverfügbarkeit) nicht günstig genug sind. Unter optimalen klimatischen Voraussetzungen, bei ungestörtem Wachstum an einem Baum oder Felsen, werden nach 7 bis 8 Jahren die Blätter zunehmend ungelappter, mehr herzförmig, bis schließlich das Altersstadium erreicht ist (HEIECK, 1992). In der Adultphase sind die Blätter ungelappt, spitz-eiförmig bis lanzettlich geformt und spiralig an den Zweigen der nun strauchartig wachsenden Pflanze angeordnet. Blätter der Juvenilphase und Blätter der Adultphase, sowie Übergangsformen können an derselben Pflanze auftreten (Blattdimorphismus, Heterophyllie), wobei sich die juvenilen Teile eines Sprosses im unteren, beschatteten Bereich und die adulten im stärker belichteten oberen Bereich befinden. Fertile Triebe haben keine Haftwurzeln und stehen deshalb ab oder hängen herunter. „Die Baumform des Efeus wird auch als *fo. arborescens* oder *fo. arborea* gesondert benannt. Demnach könnte man die Bodenform als *fo. repens* bezeichnen.“ (DIERSCHKE, 2005).

Erst in der Adultphase bringt der Efeu Blüten und Früchte hervor, die endständig in kugeligen Dolden angeordnet sind. Die Efeublüte ist grünlich gelb und besteht aus einem fleischigen Fruchtknoten mit Griffel und Narbe, 5 Staubblättern mit eiförmigen Staubbeuteln sowie 5 Blütenblättern. Die Blüten sind zwittrig und insektenbestäubt. Die „beerenartigen Steinfrüchte“ (DIERSCHKE, 2005) sind, je nach Art des Efeus, in reifem Zustand schwarz, gelborange oder rotorange (*ssp. poetarum*) gefärbt und enthalten 1 – 5 Samen. Ihre Frischmasse beträgt zwischen 20 und 60 mg und sie haben eine Durchmesser von 5,5 - 7,5 mm x 5,5 - 8,7 mm (GRIME, et al., 1970; in METCALFE, 2005).

2.4.4 PHÄNOLOGIE

„Der Neuaustrieb durch Auswachsen der Sprossenden beginnt sowohl in der Boden- als auch in der Baumform erst relativ spät, an der Grenze Frühling-Sommer im Mai“ (DIERSCHKE, 2005). Die Blätter werden 3 – 4 Jahre alt und zeigen jahreszeitlich bedingt wechselnde Chlorophyllgehalte. Der Anthocyanengehalt in den Blättern ist während der kalten Jahreszeit erhöht (METCALFE 2005). Die

Blattbildung findet kontinuierlich während der gesamten Vegetationsperiode statt, der Hauptblattfall ist im späten Frühling und beträgt ca. 0,8 t Biomasse pro ha. BADRE et al. (1998; in METCALFE, 2005) beziffern den Nährstoffgehalt der abgefallenen Blattmasse wie folgt:

- N: 0,80 g/100 g TM
- P: 0,031 g/100 g TM
- K: 0,77 g/100 g TM
- Mg: 0,31 g/100 g TM

Das Blattwerk kann sich an niedrige Temperaturen anpassen. Nach einer ausreichenden Abhärtungsphase können Temperaturen von bis zu -25 °C toleriert werden, wobei adulte Pflanzen eine höhere Frosttoleranz aufweisen als juvenile (ANDERGASSEN & BAUER, 2002). Maximale Kältetoleranz wird durch niedrige Lichtintensität und kurze Photoperioden induziert (STEPONKUS & LANPHEAR, 1967). Zusammen mit einer erhöhten Anthocyankonzentration scheint ein erhöhter Pegel an wasserlöslichen Proteinen und Zuckern Bestandteil des Mechanismus zur Erzeugung der Frosttoleranz zu sein. Der Gehalt an wasserlöslichen Zuckern ist in den Blättern im Januar am höchsten, der Gesamtzuckergehalt (also auch Komplexzucker) steigt zwischen Februar und Mai um 200 % hauptsächlich wegen Stärkebildung (FISCHER & FELLER, 1994 in METCALFE 2005). PARKER (1962; in METCALFE, 2005) berichtet von Retranslokation der gelösten Stoffe in neu hinzu wachsende Biomasse. Der Gesamtzuckergehalt sinkt im Frühling, steigt im Spätsommer an und sinkt wieder im Spätherbst.

2.4.5 VARIABILITÄT

Polymorphismus, Phasenwechsel, phänotypische Variabilität

„Phänotypisch betrachtet sind juvenile Blätter Schattenblätter und adulte Blätter Lichtblätter. Juvenile Blätter besitzen eine niedrigere Photosynthesekapazität und können sich schlechter an wechselnde Belichtungsstärken anpassen“ (HOFLACHER & BAUER, 1982; BAUER & THÖNI, 1988 in METCALFE, 2005). *„Das natürliche Umschalten bei der Morphogenese von der Juvenil- zur Adultphase ist eine Folge differenzieller DNS-Replikation, welche auf grundlegende Veränderungen der DNS-Expression in adultem Gewebe zurückgeht. Diese Veränderung ist zum einen qualitativer (durch Heterochromatin-Unterrepräsentation) also auch quantitativer Natur (durch Polyploidisierung)“* (SCHÄFFNER & NAGL, 1979 in METCALFE, 2005). Charakteristisch beim Phasenwechsel ist, dass die jeweilige Phase (Juvenil- bzw. Adultphase) relativ stabil ist und selbst nach Stecklingsvermehrung oder Pfropfung meist erhalten bleibt. Unter ungünstigen Bedingungen können bis zum Phasenwechsel mehrere Jahrzehnte vergehen. HEGI (1965) gibt als untere Grenze ein Alter von 8 – 10 Jahren an. Zuweilen (besonders in nördlichen oder hohen Lagen) wird die Adultform überhaupt nicht erreicht. *„Neben dem Alter und günstigem Klima ist wohl auch das Lichtangebot mit entscheidend“* (DIERSCHKE, 2005).

Nach (WAREING & FRYDMAN (1976) enthalten Sprossspitzen von juvenilen Trieben deutlich mehr Gibberilinsäure als jene von adulten Trieben. Genauso weisen auch die Wurzeln juveniler Pflanzen signifikant höhere Gibberilinsäurekonzentrationen auf als jene von adulten Pflanzen. Die Autoren schließen daraus, dass die Morphogenese des Efeus von der Gibberilinsäureversorgung durch die Wurzeln abhängt und vermuten, dass bei kriechend wachsendem Efeu die Juvenilphase unter anderem deshalb erhalten bleibt, weil der Abstand zu den nodialen, in Substrat verhafteten Wurzeln, ziemlich gering ist. Im Umkehrschluss wird die Ausbildung der Adultform begünstigt, wenn der

Abstand zwischen verwurzelten Pflanzenteilen und Sprossspitzen zunimmt, da nun weniger Gibberellinsäure zu den Sprossspitzen transportiert wird. Applikation von Auxin kann bei juvenilen Trieben die Blüte auslösen (ZEEUW & LEOPOLD 1956, zitiert in SINOTT 1960; in METCALFE, 2005). Adulte Pflanzen können durch Gibberellinsäure in die Juvenilform zurückgeführt werden (ROBINS, 1957, zitiert in SINOTT, 1960; ROGLER & HACKETT 1975; WAREING & FRYDMANN 1976; ZIMMERMANN et al., 1985 in METCALFE, 2005), oder auch durch Kälteschock oder Röntgenstrahlung (FRANK & RENNER, 1956 zitiert in SINOTT, 1960 in METCALFE, 2005). Auf natürlichem Weg kann eine Zurückführung in die Jugendform auch hervorgerufen werden durch Bedingungen mit wenig Licht und hohen Temperaturen. Ebenso können Stecklinge von Adultformen wieder in die Juvenilphase zurückfallen (DAHL, 1998; in METCALFE, 2005). ANDERGASSEN & BAUER (2002) zufolge begünstigt Blattverlust durch Frostscha den die Aufrechterhaltung der Juvenilform.

Genotypische Variabilität

Über das wechselnde Erscheinungsbild in Abhängigkeit von der jeweiligen Lebensphase hinaus, zeigt die Gattung *Hedera* an sich eine erhebliche Variabilität hinsichtlich des Genotyps. Diese mag teilweise auf Hybridisierungsprozesse in der Phylogenese zurückzuführen zu sein, liegt aber auch an der ausgeprägten Neigung junger Efeutriebe zur freien Mutation (METCALFE, 2005). Vegetative Vermehrung mutierter Triebe führt meist zur Aufrechterhaltung der entstandenen Eigenschaften bei den so entstandenen Nachkommen. Auf diesen Vorgang geht die Vielzahl der im Handel vorhandenen Sorten zurück. Allerdings haben CLARKE et al. (2006) beobachtet, dass im Handel erhältliche Sorten in natürlicher Umgebung mit der Zeit ihre typischen Sorteneigenschaften zum Teil wieder verlieren. So verschwand beispielsweise die Neigung zur Selbstverzweigung oder auch die Panaschierung.

2.4.6 STANDORTANSPRÜCHE

„Der Efeu ist eine Charakterart sommergrüner Laubwälder...“ (DIERSCHKE, 2005). Nach DAHL (1998; in Metcalfe, 2005) ist er ein „atlantisches Element der europäischen Flora mit einer ausgesprochen südwestlichen Verbreitung.“ Von PRESTON & HILL (1997; in METCALFE, 2005) wird Efeu als Pflanze der südlich-gemäßigten Zone klassifiziert; strenger betrachtet gehört *H. helix* zu den Pflanzen der südlich-gemäßigten und *H. hibernica* zu jenen der ozeanischen südlich-gemäßigten Zonen (PRESTON et al., 2002; in METCALFE, 2005). ELLENBERG (1988; in METCALFE 2005) bezeichnet den Efeu als einen Indikator für eher warme Bedingungen vom Tiefland bis in die Bergregionen, aber besonders für submontane bis gemäßigte Regionen. Er ist eine Halbschattenpflanze mit Hauptvorkommen in tieferen (bis submontan-gemäßigten) Bereichen unter allgemein ozeanischem Klima auf frischen Böden und gegenüber Säuregrad und Stickstoffversorgung indifferent (ELLENBERG et al., 1992, in DIERSCHKE ,2005). Efeu gedeiht und fruchtet normalerweise in Gegenden mit kühlen bis warmen Sommern (Durchschnittstemperatur des wärmsten Monats > 13 °C) aber nicht in Regionen mit kalten Wintern (Durchschnittstemperatur des wärmsten Monats < - 1,5 °C (IVERSEN, 1944 in METCALFE, 2005). Gut abgehärtete Pflanzen können Temperaturen von bis zu -25 ° C überleben, indem sie die Konzentration an wasserlöslichen Proteinen und Zuckern in den Blättern erhöhen (STREET & ÖPIK, 1984 in METCALFE, 2005). Die eingeschränkte Kältetoleranz könnte der limitierende Faktor für die nördliche und östliche Ausbreitung des Efeus innerhalb Europas sein (IVERSEN, 1944 in METCALFE, 2005). ELLENBERG (1988; in METCALFE, 2005) geht davon aus, dass die zunehmende Winterkälte der

Auslöser dafür ist, dass der Efeu tendenziell aufhört als Kletterpflanze in Erscheinung zu treten und immer mehr zum Bodendecker wird, je östlicher und nördlicher er auftritt.

„Der Efeu ist relativ anspruchslos bezogen auf Wasser- und Nährstoffversorgung, meidet in Mitteleuropa aber sehr saure und nasse Standorte, während er im atlantischen Westen eine breite Standortamplitude besitzt“ (DIERSCHKE, 2005). „Die Ansprüche an die Bodenfeuchtigkeit scheinen sogar eher gering, wie der teilweise gute Wuchs auf warm-trockenen Waldstandorten zeigt.“ (DIERSCHKE, 2005). Laut BANNISTER (1976; in METCALFE, 2005) ist Efeu sehr empfindlich gegenüber Salz. Gegenüber Trockenheit ist Efeu relativ tolerant, aber nach HUNTLEY & BIRKS (1983; in METCALFE, 2005) könnte zu starke Trockenheit der Verbreitung des Efeus in bestimmten Mittelmeerregionen Grenzen auferlegen. Letztlich verträgt Efeu jahreszeitlich bedingte Trockenheit gut.

Insgesamt bevorzugt Efeu frische, gut mit Wasser und Nährstoffen versorgte Böden und meidet Staunässe. Dementsprechend findet man ihn häufiger auf schwereren, lehmhaltigen Böden und seltener auf nährstoffarmen, zur Austrocknung neigenden, sandigen Böden (METCALFE, 2005).

2.4.7 VERBREITUNGSSTRATEGIEN, BLÜTENBIOLOGIE UND KEIMUNG

In Mitteleuropa setzt die Blüte ab August ein und kann bis November andauern, in Südeuropa sogar bis Januar (METCALFE, 2005). In Mitteleuropa entstehen und reifen die Früchte von November bis April (DIERSCHKE, 2005). Die Samen werden hauptsächlich durch Vögel verbreitet und die Passage durch den Verdauungstrakt ist für die Erlangung der Keimfähigkeit offenbar notwendig, denn die Anwesenheit von Fruchtfleisch um den Samen unterbindet die Keimung. In der Samenbank des Bodens sind Efeusamen nicht persistent. Auf Standorten, an denen Efeu bereits anwesend ist, ist die vegetative Vermehrung durch Bewurzelung von Ranken wahrscheinlich die wichtigere Verbreitungsart im Vergleich zur sexuellen Reproduktion (METCALFE, 2005).

Bedingt durch die Verbreitung durch Vögel, können mit einem einzigen Kotwurf mehrere Efeusamen gemeinsam abgelegt werden. „Efeu besitzt eine kurzlebige Samenbank, aber eine hohe Keimfähigkeit“ (DIERSCHKE 2005). KOLLMANN, (1994; in DIERSCHKE, 2005) fand eine Keimfähigkeit von bis zu 88 % bei einer Keimdauer von 10 – 15 Tagen. Dementsprechend können in der Natur Gruppen von Keimlingen mit einer sehr hohen Pflanzendichte von bis zu 50 Individuen pro m² gefunden werden, wo sie unter guten Bedingungen andere Pflanzen verdrängen und als „dichte Monokultur“ gedeihen. Unter suboptimalen Umständen kommen Efeupflanzen nur in ausgesprochen geringer Bestandesdichte vor.

In der Natur keimen Efeusamen innerhalb von zwei Wochen, aber es ist bei Samen, die mit der Hand von Fruchtfleisch befreit wurden, auch schon eine Dormanz von bis zu 30 Tagen beobachtet worden. Handreinigung führt zu einer Keimrate von nahezu 100 % (METCALFE, 2005). Im Gegensatz dazu, bewirkt das Trocknen der Früchte, dass die Samen absterben (CLERGEAU, 1992; in METCALFE, 2005). „Efeu erwies sich als ausgesprochener Dunkelkeimer, der auch unter dichtem Gestrüch aufläuft, dort allerdings gegenüber Freiland nur eine geringe Überlebensrate aufwies“ (DIERSCHKE 2005).

Der Efeu spielt in Keimungsphänologie und –erfolg eine Sonderrolle, da er nur unter sehr guten Bedingungen blüht und fruchtet. Generell tritt die Baumform seltener auf als die Juvenilform und in den nördlichen Habitaten tritt die generative Verbreitung völlig hinter die vegetative zurück. Bei *Hedera hibernica* zeigt sich in besonderem Maß die für den Efeu charakteristische Fähigkeit, ausgedehnte, substratfreie Zonen zu überwinden und sich erneut festzuwurzeln. Vegetative Vermehrung ist gerade bei Polyploiden ein häufig auftretendes Verbreitungsprinzip (ACKERFIELD, 2002) und so ist auch bei *H. hibernica* im Gegensatz zu *H. helix* die Neigung zum Klettern eher gering

(MCALLISTER & RUTHERFORD, 1990). *H. hibernica* besitzt die Fähigkeit, sich mittels schnell wachsender, langer Triebe rasch in der Horizontalen auszubreiten und dabei konkurrierende Vegetation zu verdrängen (MCALLISTER & RUTHERFORD, 1990).

In den USA und Kanada gilt der Efeu als invasiver Neophyt. Anhand von Genanalysen an Efeuproben aus British Columbia, Oregon und Washington ermittelten CLARKE et al. (2006), dass es sich bei 85 % von 119 Proben um *H. hibernica* handelte und nur bei 15 % *H. helix*. Sie beobachteten, dass *H. hibernica* sich übereinander schiebende Vegetationsschichten ausbildet, während *H. helix* meist nur einschichtig wächst.

„In frischen, geschützten Lagen ist der Tetraploide (Anm.: H. hibernica) fähig, den Waldboden, Wegränder und Klippen in einer Art und Weise zu dominieren, zu der der Diploide sogar unter besten Bedingungen unfähig zu sein scheint, (...) sogar durch Mähen lässt er sich nicht zurückdrängen“(MCALLISTER & RUTHERFORD, 1990).

2.4.8 VEGETATIVE VERMEHRUNG

Laut ROSE (1997) sind die meisten Efeufornen leicht zu vermehren. Im Freiland bilden am Boden kriechende Triebe Wurzeln an den Nodien. Abgeschnittene ganze Triebe oder daraus gewonnene Schnittlinge lassen sich leicht verpflanzen und wurzeln am neuen Standort meist gut an. Zur Steigerung des Anwucherfolgs kann das Vermehrungsmaterial im Sandbeet vorkultiviert und später verpflanzt werden. In der kommerziellen Vermehrung, die große Anzahlen bei maximalem Bewurzelungserfolg erfordert, sind die genannten Methoden nicht angemessen. Auch können Baum- und andere aufrecht wachsende Formen auf diese Weise überhaupt nicht vermehrt werden. Bei professioneller Efeuproduktion greift man daher auf die Methode der Vermehrung mittels Stecklingen zurück, die von Mutterpflanzen aus dem Unterglasanbau gewonnen werden (ROSE, 1997). Für gewöhnlich verwendet man Kopfstecklinge oder 1-, 2- oder 3-Blatt-Stecklinge. Die Stecklingsvermehrung erfordert keine besonderen Bedingungen. Selbstverständlich ist auf eine ausreichende Wasserversorgung bei Vermeidung von Staunässe zu achten. Der pH-Wert des Substrats sollte sich im Bereich 6 – 7 bewegen. Die Nährstoffnachlieferung des Substrats sollte eher moderat sein (PENNISI et al., 2001). Durch eine gezielte Steuerung der Gewächshaustemperatur lässt sich die Produktivität (verbessertes Rankenwachstum) und die Kosteneffizienz der kommerziellen Efeuproduktion optimieren (POLLET, et al., 2008)

HORREL et al. (1989) wollten ursprünglich nachweisen, dass durch die Gabe des Gibberellin-inhibitors Paclobutrazol bei juvenilen Efeuranken der Phasenwechsel zum Adultstadium ausgelöst wird. Wider Erwarten hatte diese chemische Behandlung jedoch zur Folge, dass die Pflanzen verlängerte Triebe hervorbrachten, welche auch an nicht mit Oberflächen in Berührung kommenden Nodien Adventivwurzeln ausbildeten. Möglicherweise besteht hierin ein Ansatz zur Effizienzsteigerung in der Stecklingsproduktion.

2.4.9 KRANKHEITEN UND SCHÄDLINGE

In der Literatur wird eine ganze Reihe von Efeukrankheiten erwähnt (PENNISI ., 2001). Im Folgenden werden die bedeutendsten kurz beschrieben (University of Illinois, 1999; MULLEN & HAGAN, 1999; SUZUKI et al., 2002; PLENK & RICHTER, 2006).

Efeukrebs (*Xanthomonas campestris* pv. *hederae*)

Das häufigste Krankheitssymptom beim Efeu sind Blattflecken, welche von verschiedenen Erregern ausgelöst werden können. Die häufigste Blattfleckenkrankheit sind *Xanthomonas*-Blattflecken oder Efeukrebs, verursacht durch das Bakterium *Xanthomonas campestris* pv. *hederae*. Die Symptomatik beginnt mit „Fettflecken“, kleine, ölig-transparente Flecken auf der Blattoberseite, die sich später braun verfärben und eine rote Zonierung zeigen. Im fortgeschrittenen Stadium bilden sich vertrocknete, meist von einem gelblichen Hof umgebene, grau-braune Nekrosen, die später aufplatzen und ausbrechen. Hauptsächlich gelangt das Bakterium über Verletzungen in die Pflanze, jedoch auch über natürliche Öffnungen. Werden Spross oder Blattstiel befallen, reagieren die Pflanzen oft mit Verzweigung und Aufhellung, oder aber die oberhalb der Infektion liegenden Bereiche sterben komplett ab. Das Bakterium überdauert in Boden und Pflanzenresten. Es gelangt mit Spritzwasser (Regen oder Überkopfbewässerung) auf die Pflanzen und gedeiht am besten bei hohen Temperaturen und hoher Luftfeuchtigkeit.

Brennfleckenkrankheit, Efeuanthraknose (*Colletotrichum trichellum*)

Diese Pilzerkrankung gehört, wie auch der Efeukrebs, zu den häufigsten Blattfleckenkrankheiten beim Efeu. Auf den Blättern zeigen sich mehr oder weniger kreisrunde Flecken entlang der Blattadern, die sich später zu größeren, dann unregelmäßig geformten Nekrosen vereinen können. Letztere sind in der Mitte meist hell und am Rand dunkelbraun verfärbt. Unter feuchten Bedingungen kommt es schnell zur Bildung von Fruchtkörpern, die kleine durchsichtige Sporen hervorbringen, die mit Spritzwasser verbreitet werden. Charakteristisch für diesen Pilz sind kleine, spitze, schwarze Borsten (Setae), die aus dem Fruchtkörper herausragen und bereits mit der Lupe erkennbar sind.

Scaphaeloma hederae

Die Symptomatik dieser Pilzerkrankung ähnelt jener der Efeuanthraknose stark. Borstige Setae sind hier allerdings nicht zu erkennen.

Unspezifische Blattflecken

Verschiedene andere Pilze können ebenfalls eine Blattfleckensymptomatik auslösen, treten jedoch weit seltener auf als die vorher genannten:

Phyllosticta concentrica

Phyllosticta hedericola

Cercospora hederae

Coniothyrium ssp.

Corynespora ssp.

Sphaeropsis hedericola (*S. hederae*)

Ramularia hedericola

Ödeme

Die Symptomatik von Ödemen beginnt mit kleinen, flüssigkeitsgefüllten Bläschen an den Unterseiten bodennaher Blätter. Es können aber auch Blattstiele und noch unverholzte Triebe betroffen sein. Es handelt sich generell um eine Folge überhöhter Wasserversorgung, welche überwiegend in Gewächshäusern und seltener im Freiland auftritt. Die betroffenen Pflanzenteile bilden Verbräunungen und schorfige Warzen aus.

Triebsterben (*Phytophthora ssp.*)

Verschiedene Arten des pilzlichen Schaderregers *Phytophthora* können unterschiedliche Anzeichen hervorrufen. Meist beginnt die Symptomatik mit einer fahlen Färbung einzelner Triebe oder ganzer Pflanzen. Befallene Individuen fallen durch ihr schwaches Wachstum auf. Mit Fortschreiten der Krankheit treten Welkeerscheinungen auf; die untersten Blätter trocknen ein und rollen sich nach unten. Verschiedentlich treten Blattflecken und seltener Wurzelfäule auf. Wie die meisten *Phytophthora*-Arten werden auch jene am Efeu mit dem Wasser, der Erde oder mit infizierten Pflanzenteilen verbreitet.

Wurzelfäule (*Rhizoctonia solani*)

Dieser pilzliche Erreger führt zum Faulen der Wurzeln und kann auf den Blättern großflächige verbräunte Flecken sowie Blattverbleichung hervorrufen. Andere Kennzeichen sind schwacher, verzwergter Wuchs, Welke sowie Nekrosen.

Es wird deutlich, dass die bedeutenderen Schäden an Efeu durch Pilze und Bakterien und weniger durch Insekten verursacht werden. In freier Natur treten die genannten Krankheiten immer wieder auf, jedoch ohne die Population an sich ernsthaft zu gefährden. Schädigungen größeren Ausmaßes sind erst dann zu befürchten, wenn die Pflanze intensiven Kulturmaßnahmen unterworfen wird, wie es vornehmlich unter Glas der Fall ist. Es stehen eine Reihe Fungizide zur Verfügung, auf die, je nach Zulassungssituation, zurückgegriffen werden kann. In erster Linie sollten die Regeln der guten fachlichen Praxis berücksichtigt werden, um größeren Probleme bereits im Vorfeld vorzubeugen. Im Zentrum steht dabei die Arbeit mit sauberem und nicht infektiösem Material und ein angepasstes Wassermanagement.

- Stets neues Topfmaterial verwenden; keine Wiederverwendung von gebrauchtem Material
- Verwendung sauberer Werkzeuge; Kontakt der Werkzeuge mit dem Boden vermeiden
- Reinigung und Desinfektion von Werkzeugen und Arbeitsflächen nach jeder Kultur
- Ausschließliche Verwendung von wüchsigem und gesundem Ausgangsmaterial
- Sofortige Vernichtung befallener Pflanzenteile oder ganzer Pflanzen
- Keine Überkopfbewässerung oder ggf. nur bis Mittag, damit die Blattoberflächen bis zum Abend abtrocknen können.
- Sicherstellen, dass die Blattoberflächen möglichst trocken bleiben
- Wahl einer Standraumverteilung, die angemessene Luftzirkulation zulässt.

3. MATERIAL UND METHODEN

3.1 CHARAKTERISIERUNG DES VERSUCHSSTANDORTS

3.1.1 GEOGRAPHISCHE LAGE UND BODENEIGENSCHAFTEN

Für die Versuche wurden Versuchsanbauflächen der Fa. PHARMAPLANT GmbH genutzt, einem in Artern ansässigen Dienstleistungsunternehmen im Bereich Forschung und Entwicklung.

Artern befindet sich am Nordrand des Thüringer Beckens auf 51° 22“ nördlicher Breite und 11° 18“ östlicher Länge. Die Versuchsfelder befinden sich in einer Höhenlage von 164 m über NN. Mit einer Ackerzahl von 75 liegen insgesamt gute Bodenbedingungen vor. Eckdaten zu den Bodengegebenheiten des Standorts sind unten stehender Tabelle zu entnehmen.

**Tab. 4: Ergebnisse von Bodenuntersuchungen
an einer Mischprobe des Versuchsstandorts Artern aus dem Jahr 1997**

Bodenentstehung:	Unterer Buntsandstein, überlagert durch umgelagerten Löß und angetragenen pleistozänen Flußschotter
Standortgruppe:	Berglehm- und Bergtonstandorte
Standortregionaltyp:	Berglöß- Rendzina
Bodengruppe:	4, sandig schluffiger Lehm Feinanteil (< 0,006 mm): 29 % Tonanteil (< 0,002 mm): 22 %
pH-Wert:	7,1 - 7,4
CaCO ₃ :	4,0 %
Humus-Gehalt:	3,2 - 3,4 %
P-Gehalt (CAL.- Methode):	23,2 mg/100g; Gehaltsstufe C
K-Gehalt (CAL.- Methode):	13 mg/100g; Gehaltsstufe B
Mg-Gehalt (Methode nach Schachtschabel)	8,4 mg/100 g; Gehaltsstufe B

3.1.2 KLIMA UND WITTERUNG

Thüringen liegt in der gemäßigten Klimazone Mitteleuropas. Es wird durch verschiedene Mittelgebirge vom maritimen Einfluss der westlichen Meere weitgehend abgeschirmt, so dass ein eher kontinental geprägtes Klima vorherrscht, welches durch kalte Winter und trockene Sommer charakterisiert ist. Das Thüringer Becken befindet sich in der Mitte des Freistaates und ist durch ein milderes Klima geprägt als die übrigen Regionen dieses Bundeslandes. Es liegt im Regenschatten der Mittelgebirge Thüringer Wald und Harz und gehört zu den trockensten Gebieten Deutschlands. Die mittleren Jahresniederschläge lagen in den Jahren 1971 bis 2000 bei 400 bis 500 mm (Deutscher Wetterdienst in KUNKA, 2004).

Das erste Versuchsjahr 2006 begann am Versuchsstandort Artern mit relativ niedrigen Temperaturen. Der Vegetationsbeginn (allgemeines Überschreiten des Tagesmittels der Lufttemperatur von 5°C) setzte im Vergleich zu den Versuchsjahren 2007 und 2008 ziemlich spät ein, nämlich erst Ende März (Abb. 1). Mit einer Summe von 364 mm war das gesamte Jahr relativ niederschlagsarm (Tabelle 2) und auch das trockenste von allen drei Versuchsjahren. Das Temperaturmaximum wurde im Juli erreicht, der gleichzeitig auch ein sehr trockener Monat war. Die

Jahre 2006 und 2008 verliefen typisch für die Region und waren gekennzeichnet durch eine relativ niedrige Gesamtniederschlagssumme und eine ausgeprägte Frühjahrstrockenheit.

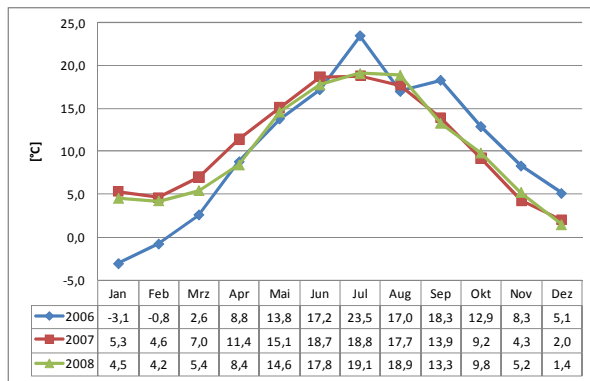


Abb. 1: Verlauf der Lufttemperatur (Monatsmittelwerte in °C) in den Jahren 2006 bis 2008 am Versuchsstandort Artern.

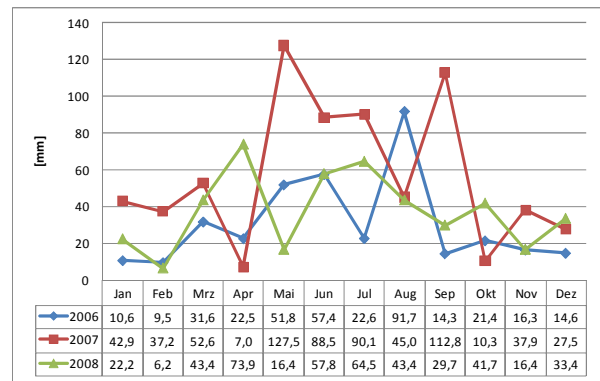


Abb. 2: Verlauf der Niederschläge (Monatssummen in mm) in den Jahren 2006 bis 2008 am Versuchsstandort Artern.

Jahr	Januar bis Dezember		Januar bis Juli	
	Summe	Mittelwert	Summe	Mittelwert
Temperatur (°C)				
2006		10		9
2007		11		12
2008		10		11
Anzahl Frosttage				
2006	73		66	
2007	44		22	
2008	59		33	
Anzahl Niederschlagstage				
2006	141	12	79	11
2007	176	15	103	15
2008	158	13	92	13
Niederschlagsmenge (mm)				
2006	364	30	206	29
2007	679	57	446	64
2008	449	37	284	41
Sonnenscheindauer (h)				
2006	1.713	143	1.115	159
2007	1.741	145	1.211	173
2008	1.595	133	1.148	164

Tab. 5: Witterungsdaten, ausgedrückt als Summen und Mittelwerte am Versuchsstandort Artern in den Jahren 2006, 2007 und 2008



Abb. 3: Versuchsanlage beim ersten Schnitt im Frühling des ersten Versuchsjahres 2006. Eigenes Foto.

Gemessen an den üblichen regionalen klimatischen Gegebenheiten zeigte das zweite Versuchsjahr 2007 einen ungewöhnlichen Verlauf. Mit 446 mm lag die Niederschlagssumme in den Monaten Januar bis Juli in etwa doppelt so hoch wie in den Jahren 2006 und 2008. In diesem Zeitraum betrug die Niederschlagsmenge bereits mehr als die Gesamtjahresmenge in 2006 und 2008.

Im Vergleich zu den beiden anderen Jahren begann die Vegetationsperiode bereits ziemlich früh. Die mittleren Tageslufttemperaturen lagen bereits Ende Februar oft über 5° C. Der April war vergleichsweise warm und trocken. Anschließend setzten anhaltende Niederschläge ein, wobei die Temperaturen bis Juni dennoch über jenen der Jahre 2006 und 2008 lagen. Insgesamt war die erste Hälfte des Jahres 2007 ausgesprochen warm und feucht. Der Zeitraum von September bis Dezember war in den Jahren 2006 und 2008 relativ niederschlagsarm, während in 2007 der September (nach dem Mai) der Monat mit der höchsten Niederschlagssumme war.

3.2 VERSUCHSKONZEPT

3.2.1 VERSUCHSANLAGE

Auf einem Areal von rund 1.200 m² wurden die Versuche in Form direkt aneinander grenzender, randomisierter Blockanlagen angelegt. Im Einzelnen handelte es sich um die folgenden Versuchsanordnungen:

- Versuch Pflanzdichte: 4 Wiederholungen x 3 Varianten = 12 Parzellen
 - Versuch Schnitthäufigkeit: 4 Wiederholungen x 3 Varianten = 12 Parzellen
 - Versuch Herkunftsvergleich: 4 Wiederholungen x 19 Herkünfte = 76 Parzellen
- SUMME: 100 Parzellen

Vorarbeiten, wie die Beschaffung und Vermehrung der verschiedenen Herkünfte, nahmen den Zeitraum zwischen Frühjahr 2004 bis Frühsommer 2005 in Anspruch. Nach maschineller Grundbodenbearbeitung und Pflanzbettvorbereitung wurden die Feldversuche von Hand im Zeitraum vom 18. bis 22. Juli 2005 angelegt.

Um Einflussfaktoren aus der Vermehrungsphase des Ausgangsmaterials zu minimieren, wurde der Zeitraum zwischen Pflanztermin (Sommer 2005) und erstem Ernteschnitt (Frühjahr 2006) als Etablierungsphase definiert. Die gesamte Feldversuchsanlage überdauerte zunächst also den Winter 2005/2006 sowie das darauf folgende Frühjahr, bevor die ersten Ernteschnitte durchgeführt wurden. Die Datenerfassung erfolgte in den drei Versuchsjahren 2006, 2007 und 2008. Zum Ende des dritten Versuchsjahres 2008 wurden die Parzellen umgebrochen.

3.2.2 DIMENSIONIERUNG DER VERSUCHSPARZELLEN

Mit Ausnahme des Versuchs „Pflanzdichte“ wurden alle Versuche mit einer Pflanzdichte von 6,67 Pflanzstellen pro m² angelegt. Diese ergibt sich aus einer Reihenweite von 50 cm und einem Pflanzabstand von 30 cm in der Reihe (Tab. 6). Jeweils die äußersten Pflanzstellen einer Parzelle wurden als Parzellenrand definiert. Bei den Ernten wurde dieses Material zwar genauso geschnitten wie die Parzellenkerne; es wurde anschließend jedoch verworfen. Sämtliche in dieser Arbeit vorliegenden Daten stammen aus den Kernparzellen, um Verfälschungen durch Randeffekte auszuschließen.

Tab. 6: Maße der Parzellen im Versuch Herkunftsvergleich und im Versuch Schnittregime

Reihenweite [m]	Pflanzabstand [m]	Bestandesdichte [Pflanzstellen pro m ²]	Gesamtparzelle						Kernparzelle					
			Anzahl Reihen	Anzahl Pflanzstellen je Reihe	Länge [m]	Breite [m]	Fläche [m ²]	Anzahl Pflanzstellen absolut	Anzahl Reihen	Anz. Pfl je Reihe	Länge [m]	Breite [m]	Fläche [m ²]	Anzahl Pflanzstellen absolut
0,50	0,30	6,67	4,00	7	2,10	2,00	4,20	28	2	5	1,50	1,00	1,50	10

Beim Versuch zum Einfluss der Pflanzdichte auf verschiedene Merkmale mussten die Parzellengrößen der Pflanzdichtevarianten technisch bedingt variieren. Die Variation in der Pflanzdichte beruht ausschließlich auf unterschiedlichen Pflanzabständen innerhalb der Pflanzreihe, während in allen Varianten ein konstanter Reihenabstand von 50 cm eingehalten wurde. Die Parzellen des Prüfglieds mit der mittelstarken Pflanzdichte von 6,67 Pflanzstellen/m² entsprachen mit einer Gesamtfläche

von 4,20 m² den Parzellen der anderen Versuche. Davon abweichend betragen die Gesamtfläche der Variante mit der niedrigsten (5 Pflanzstellen/m²) und der höchsten Pflanzdichte (10 Pflanzstellen/m²) 4,80 m² bzw. 3,20 m² (siehe Tab. 4). In allen Versuchen waren die einzelnen Parzellen durch Wege voneinander getrennt, die zwischen 60 cm und 200 cm breit waren.

Tab. 7: Maße der Versuchspartellen im Versuch Pflanzdichte

Pflanzdichtevarianten	Reihenweite [m]	Pflanzabstand [m]	Gesamtparzelle						Kernparzelle					
			Anzahl Reihen	Anzahl Pflanzstellen je Reihe	Länge [m]	Breite [m]	Fläche [m ²]	Anzahl Pflanzstellen absolut	Anzahl Reihen	Anzahl Pflanzstellen je Reihe	Länge [m]	Breite [m]	Fläche [m ²]	Anzahl Pflanzstellen absolut
10,0 Pflanzstellen/m ²	0,5	0,20	4	8	1,60	2,00	3,20	32	2	6	1,20	1,00	1,20	12
6,7 Pflanzstellen/m ²		0,30		7	2,10		4,20	28		5	1,50		1,50	10
5,0 Pflanzstellen/m ²		0,40		6	2,40		4,80	24		4	1,60		1,60	8

3.2.3 AUSGANGSMATERIAL UND ETABLIERUNG

Als Ausgangsmaterial wurden Formen des Efeus verwendet, die aus privaten Sammlungen und aus spezialisierten Efeu-Gärtnereien stammten. Man definiert derzeit ca. 16 Efeuarten (ACKERFIELD &



Abb. 4: Beispiel eines Pflanzhorstes, wie sie zur Etablierung der Versuche verwendet wurden. Eigenes Foto.

WEN, 2002); das Europäische Arzneibuch lässt jedoch lediglich Blätter der Art *Hedera helix* L. als Droge zu. Es gibt mehrere Hundert Efeu-Zierformen, die überwiegend der Art *Hedera helix* L. zugeordnet werden. In selteneren Fällen gehen sie aus anderen Efeu-Arten hervor. Ein Ziel der Arbeit war es, Efeu-Typen zu finden, die sich für einen industriellen Feldanbau besonders eignen. Im Vordergrund standen dabei einerseits Qualitätsfaktoren, andererseits agronomisch-technische Gesichtspunkte wie Ertragsstärke, Beerntbarkeit und Regenerationsvermögen. Zwar variiert auch natürlich vor-

kommender Efeu in seiner Erscheinungsform relativ stark, bei den Efeu-Zierformen ist die Variationsbreite der Phänotypen jedoch ungleich größer. Dadurch erscheint die Chance, Typen mit besonderer Anbaueignung zu finden, bei den Zierformen höher als bei den Wildformen. Zunächst wurden die gesammelten Efeu-Herkünfte in professionellen Gartenbaubetrieben unter Glas vermehrt, um Ausgangsmaterial in ausreichender Zahl und einheitlicher Qualität zu erhalten. Dazu wurden 1- bis 2-Blattstecklinge der jeweiligen Herkunft verwendet. Je 6 dieser Stecklinge wurden für einen Pflanztopf mit 9 cm Durchmesser aufgewendet. Das Resultat war Zierpflanzenware, wie sie beispielsweise auch in Baumärkten und Gartencentern angeboten wird, charakterisiert durch einen vitalen, buschigen Wuchs, gut durchwurzeltem Pflanzballen und ca. 15 bis 35 cm lange Ranken. Ein solcher Ballen (künftig als „Horst“ bezeichnet) wurde pro Pflanzstelle als Ausgangsmaterial verwendet. Da im Grunde jeder bewurzelte Steckling als Einzelpflanze zu betrachten ist, handelt es sich bei der fertigen Topfware genau genommen um „Pflanzenhorste“ und keine Einzelstecklinge.

3.2.4 PFLEGE, DÜNGUNG UND BEWÄSSERUNG

Im ersten Versuchsjahr 2006 erfolgte die Unkrautkontrolle mittels Handhacke, Jäten und Radschiebehacke. Eine maschinelle Unkrautregulierung fand nicht statt. Im April 2006 wurde die Radschiebehacke noch in den Versuchspartellen zwischen den Reihen verwendet. In der Folgezeit, als die Reihen zugerankt waren, kam dieses Gerät innerhalb der Versuchspartellen nicht mehr zur Anwendung. Die Hauptmethode zur Unkrautregulierung war das Jäten von Hand. Herbizide wurden nicht eingesetzt.

Die Versuche „Pflanzdichte“ und „Herkunftsvergleich“ wurden in allen Jahren identisch gedüngt. Das Stickstoffdüngenniveau lag hier bei 80 kg N/ha im ersten Jahr und jeweils 100 kg/ha Reinstickstoff in den beiden Folgejahren.

Der Versuch „Schnitthäufigkeit“ wurde im ersten Jahr mit 40 kg/ha Stickstoff nur verhalten gedüngt und in den beiden folgenden Jahren auf dem gleichen Niveau wie die übrigen Versuche (100 kg N/ha). In den Jahren 2006 und 2008 erfolgte in allen Versuchen eine Grunddüngung mit je 40 kg/ha K₂O. Bedingt durch die Düngerform Korn-Kali® entspricht dies gleichzeitig einer Nährstoffversorgung mit 6 kg/ha MgO, 3 kg/ha Natrium und 4 kg/ha Schwefel. Eine Aufstellung der Düngemaßnahmen findet sich in Tab. 13 im Anhang.

Während der Etablierungsphase im Jahr 2005 und im ersten Versuchsjahr 2006 wurden sämtliche Versuchspartellen mit einem Rollregner bewässert. Die Bewässerung im Jahr 2006 erfolgte in den Monaten Mai bis Juli und erfasste alle Partellen in gleicher Weise. In den Jahren 2007 und 2008 wurde nicht bewässert.

3.2.5 PFLANZENSCHUTZ

Herbizide wurden in keinem der Versuche eingesetzt. Nennenswerter Befall durch Schadinsekten war nicht zu verzeichnen; Insektizide waren daher nicht nötig. Allerdings war ein deutlicher Befall mit Blattflecken festzustellen, der wahrscheinlich auf eine Infektion mit dem Bakterium *Xanthomonas campestris* pv. *hederae* zurückzuführen ist. Aus diesem Grund wurden die Versuche 2006 im Zeitraum zwischen KW 20 und KW 39, jeweils im Abstand von ca. 2 Wochen, insgesamt 10 Mal mit dem Präparat *Cuprozin* (Wirkstoff Kupferhydroxid) behandelt. Nachdem sich in 2006 kein erkennbarer Erfolg der Spritzung gegen die Blattflecken eingestellt hatte, fanden in den folgenden Jahren keine Pflanzenschutzmaßnahmen mehr statt.

3.2.6 ERNTE

Feldmäßig angebaute Arzneipflanzen werden zur Blattgewinnung typischer Weise mit Mähladern geerntet. Das anfallende Erntegut wird mit dem pharmazeutischen Terminus „Herba“ bezeichnet. „Herba“ nennt man die Gesamtheit aller oberirdischen Pflanzenteile. Bei den hier beschriebenen Versuchen sind dies die Sprossachsen, sowie die Blätter und Blattstiele der Efeupflanzen.

Die Versuchspartellen wurden manuell mit Heckenscheren beerntet. Es wurde eine konstante Schnitthöhe von 8 bis 10 cm definiert. Diese wurde unter Zuhilfenahme eines Zollstocks eingehalten. Dabei wurde dieser bei jedem Schnittvorgang senkrecht in den Bestand gehalten, so dass er auf dem Boden aufsaß. Anschließend wurde alles Material oberhalb der festgelegten Höhe geschnitten und als Erntegut entnommen.



Abb. 5: Beerntung einer Versuchspartzele (erster Schnitt im ersten Versuchsjahr 2006). Eigenes Foto.



Abb. 6: Frisch geerntetes Versuchsmaterial. Eigenes Foto.

3.2.8 AUFBEREITUNG DES ERNTEGUTS

Weil das Europäische Arzneibuch nicht „Herba“, sondern „Folium“, also nur die Blätter, als Droge definiert, darf nur ein Teil des Gesamtertrags arzneilich genutzt werden. Um zu ermitteln, wie hoch dieser ist, wurde das Erntegut in frischem Zustand manuell, durch Abstreifen der Blätter, fraktioniert. Dabei entstand eine „Stielfraktion“, bestehend aus den Sprossachsen der Ranken und eine „Blattfraktion“, bestehend aus Blattspreiten und Blattstielen. Beide Fraktionen wurden vor und nach dem Trocknen verwogen.

Die Trocknung erfolgte mit Hilfe eines Umlufttrockners (Versuchstrockner „Hygrex TR 8.000“; Baujahr 2003; Firma Hellmann-HYGREX, Hamburg) bei einer konstanten Lufttemperatur von 42 °C, bis zu einer Restfeuchte von ca. 8 %. Bis zur Analyse wurde das Material unzerkleinert in Papiertüten verpackt, dunkel, kühl und trocken gelagert.

3.2.9. PRÜFMERKMALE

Es wurden insgesamt 17 Merkmale geprüft (siehe Tab. 10 im Anhang), anhand derer die Ertragsleistung des Efeus und die Qualität der resultierenden Droge bewertet wurden.

Frosthärte

Die Frosthärte wurde mittels Bonitur erfasst. Dazu wurden Noten zwischen 1 und 5 vergeben; auch halbe Boniturnoten wurden verwendet (z.B. 4,5). Mit der niedrigsten Note wurden die geringsten, mit der höchsten die größten Frostschäden bewertet. Die Herkünfte mit der besten Frostresistenz sind also durch die niedrigsten Boniturnoten gekennzeichnet. Jede Versuchspartzele wurde einzeln bewertet, so dass für jede Variante bzw. Herkunft in jedem Jahr aus vier Wiederholungspartzele vier Boniturnoten hervorgingen.

Als immergrüne Pflanze verliert der Efeu sein Laub im Winter normalerweise nicht. Während der kalten Jahreszeit nehmen die Blätter eine mehr oder weniger stark ausgeprägte Anthocyanfärbung an und der Habitus ist welk. Zum Vegetationsbeginn hin wandelt sich die Blattfärbung oft in ein „schmutziges Grün“ oder „Graugrün“. Zu diesem Zeitpunkt kann noch nicht beurteilt werden, welche Blätter überleben werden. Erst ziemlich spät im Frühjahr, nämlich Ende April / Anfang Mai setzt der Blattfall ein. Sozusagen als Spätfolge des Winters kann ungefähr zu Beginn des Austriebs, nach

vorheriger Verbräunung, mitunter totaler Blattverlust auftreten, welcher mit der Boniturnote 5 bewertet wurde.

Zum einen ist eine ausreichende Winterhärte unter Bedingungen des Feldanbaus Voraussetzung dafür, dass Efeu als Dauerkultur geführt werden kann. Zum anderen trägt winterhartes Laub wesentlich zu Unkrautunterdrückung bei und ist gleichzeitig Grundlage für eine kräftige Regeneration während der Vegetationsperiode.

Austrieb

Zum Austriebsbeginn Anfang Mai wurde mittels Bonitur ermittelt, an welcher Stelle der Austrieb erfolgte. Grundgedanke dabei war, dass ein Austrieb an der Sprossbasis als eine Art Bestockung betrachtet werden kann und zu einer natürlichen Vermehrung von Haupttrieben führt. Ein Austrieb an den Ranken hingegen trägt lediglich zum Massenzuwachs der einzelnen Ranke bei.

Die Bonitur erfolgte durch Vergabe von jeweils zwei Prozentzahlen je Parzelle: eine Prozentangabe für den Austrieb an der Sprossbasis und eine für den Austrieb an den Ranken. In Summe bilden beide Zahlen stets 100 %. Auf diese Weise wird sichtbar, an welcher Stelle die Pflanzen in überwiegendem Maß austrieben. In jeder der vier Wiederholungsparzellen je Variante bzw. Herkunft wurden für die Bonitur jeweils fünf Pflanzen aus dem Parzellenkern ausgewählt und bonitiert. Der Prozentwert für jede Einzelparzelle ist dementsprechend ein Mittelwert aus fünf einzelnen Boniturnoten.

Länge von Blattstielen und Internodien

Die Ausprägung von Blattstielen und Internodien ist ein wesentliches Charakteristikum des Wuchstyps. Dieser ist maßgeblich für die maschinelle Beerntbarkeit der Kultur. Es wurde davon ausgegangen, dass die Länge von Blattstielen und Internodien Merkmale sind, die sich unter dem Einfluss verschiedener Faktoren deutlich verändern können. Neben einer sortentypischen Ausprägung dieser Merkmale könnten auch Maßnahmen der Bestandesführung einen Einfluss darauf haben. Darüber hinaus erschien es möglich, dass sich auch Faktoren wie Klima und Alter der Pflanzen auf die Länge der Blattstiele und Internodien auswirken.

Die Länge der Internodien und Blattstiele wurde mit einem Zollstock nach dem folgenden Schema gemessen. Zunächst wurden fünf Pflanzhorste aus dem jeweiligen Parzellenkern ausgewählt. Anschließend wurde die jeweils längste Ranke je Horst ermittelt. Auf halber Länge dieser Ranke (also im mittleren Bereich der jeweiligen Sprossachse) wurden je drei Internodien- und drei Blattstiellängen gemessen. Bei jeder Ranke der fünf ausgewählten Horste je Wiederholungsparzelle wurden also drei Einzelwerte des jeweiligen Merkmals (Internodien- u. Blattstiellänge) erhoben, so dass pro Parzelle letztendlich 15 Einzelwerte entstanden, die zu einem Mittelwert zusammengefasst wurden.

Biomasse

Um die Biomasse eines Bestandes zu bonitieren kann nicht alleine auf die Bestandeshöhe Bezug genommen werden. Zwar erreicht der Bestand mit Überschreitung der Sollschnitthöhe von 10 cm die Erntefähigkeit; die reine Bestandeshöhe sagt jedoch noch nichts über die Menge des zu erwartenden Ertrags aus, da eine Information zur Dichte des Bestandes fehlt. Auch der Bedeckungsgrad des Bestandes ist als alleiniges Maß nicht aussagekräftig, weil hier wiederum die Höhe des Bestandes unberücksichtigt bleibt.

Aus diesem Grund wurde das Merkmal „Biomasseentwicklung“ definiert. Es gibt gewissermaßen die Üppigkeit eines Bestandes in seiner Gesamtheit wieder und berücksichtigt dabei sowohl den Bedeckungsgrad als auch die Bestandeshöhe und die Blattausprägung. Die Boniturnoten von 1 bis 5

wurden in aufsteigender Folge mit zunehmender Biomasseentwicklung vergeben, sodass die üppigsten Bestände mit der Note 5 bewertet wurden. Für jede Parzelle wurde eine Boniturnote vergeben, wodurch für jede Variante bzw. Herkunft aufgrund der Wiederholungen vier Werte je Erhebungszeitpunkt entstanden.

Ertragsleistung

Die beste Aussage über das Ertragspotenzial eines Bestandes erhält man über die Ertragsleistung selbst. Bei der Ernte wurden zwei Fraktionen gewonnen („Stielfraktion“ und „Blattfraktion“) und sowohl frisch als auch in getrocknetem Zustand verwogen. Aus den so gewonnenen Ertragsdaten wurden auf rechnerischem Weg später Daten errechnet, die für eine industrielle Produktion von Efeu-Droge von Bedeutung sind, wie das Eintrocknungsverhältnis der beiden Fraktionen oder auch der Anteil der Stielfraktion (Sprossachsen ohne Blätter und Blattstiele) am Gesamtertrag. Die Vorgehensweise bei der Ernte wird in den Kapiteln 3.2.7 und 3.2.8 beschrieben. Für die Ertragsermittlung wurden jeweils die Erträge aus den Parzellenkernen herangezogen. Das Material aus den Parzellenrändern wurde verworfen.

Inhaltsstoffe

Die getrockneten Efeublätter wurden auf vier Inhaltsstoffe untersucht. Als wertgebender Inhaltsstoff des Efeus wird das Glycosid Hederacosid C angesehen, welches in möglichst hoher Konzentration vorliegen sollte. Es ist das „Prodrug“ des Glycosids α -Hederin. Letzteres sollte in der Droge in möglichst geringer Konzentration enthalten sein, damit die Umwandlung von Hederacosid C in α -Hederin im Körper stattfinden kann. Darüber hinaus treten auch Rutosid und Chlorogensäure als sekundäre Pflanzeninhaltsstoffe in Efeu auf. Der Gehalt an den genannten Verbindungen in der getrockneten Blattfraktion wurde mittels HPLC-Analyse ermittelt.

3.2.10 LABORUNTERSUCHUNGEN (HPLC)

Inhaltsstoffanalysen wurden an der Blattfraktion durch die Firma Engelhard Arzneimittel GmbH & Co. KG durchgeführt. Es wurden die Gehalte an Hederacosid C, α -Hederin, Chlorogensäure und Rutosid ermittelt. Bei jeder Analyse wurden die Inhaltsstoffe zwei Mal gemessen. Für die Auswertung wurde der Mittelwert aus zwei Messwerten je Probe herangezogen. Technische Einzelheiten der HPLC-Analytik sind der Aufstellung in Tab. 11 im Anhang zu entnehmen.

3.2.11 STATISTISCHE AUSWERTUNG

Die statistische Auswertung der Daten wurde mit Hilfe des Tabellenkalkulationsprogramms Excel und den Softwareprogrammen PIAFStat bzw. PIAF durchgeführt. PIAF (Planung, Information, Auswertung von Feldversuchen) ist eine Software, die im Auftrag und mit Förderung der Länder und des Bundes von der ProPlant Gesellschaft für Umweltinformatik mbH entwickelt wurde. Sie greift auf die Statistik-Software SAS zurück. Ursprünglich war es oftmals notwendig, die mittels PIAF erfassten Daten und die Analysesoftware SAS gegenseitig anzupassen. Die von der BioMath GmbH entwickelte Software PIAFStat nimmt diesen Schritt nun automatisch vor und fungiert dadurch als Schnittstelle zwischen den Programmen PIAF und SAS. Unter anderem werden die Sortenversuche aller Bundesländer mithilfe dieser Programme durchgeführt.

Sämtliche Versuche sind mit vier Wiederholungen durchgeführt worden. Für einige Merkmale wurden pro Wiederholungspartelle eine ganze Reihe Einzelwerte erhoben, aus denen anschließend ein Mittelwert gebildet wurde (z.B. Merkmal „Internodienlänge“: pro Parzelle wurden jeweils 15 Einzelwerte zu einem einzigen Mittelwert je Wiederholung und Erhebungszeitpunkt zusammengefasst). Bei anderen Merkmalen, wie zum Beispiel dem Ertrag, gab es bei jeder Parzelle je Erhebungszeitpunkt einen einzigen Wert. Für die statistische Auswertung lagen also für jedes Merkmal je Erhebungszeitpunkt vier Einzelwerte aus Wiederholungen vor, aus denen dann Mittelwert, Grenzdifferenz (GD) und p-Wert berechnet wurden. Der p-Wert wurde dabei mittels t-Test ermittelt. Als Signifikanzniveau wurde $\alpha = 0,05$ gewählt. Somit gilt der Unterschied zwischen Mittelwerten als signifikant, wenn der p-Wert kleiner als 0,05 ist. Die Grenzdifferenz gibt dabei an, wie groß dieser Unterschied mindestens sein muss, damit das Signifikanzniveau erreicht wird. Die Wahrscheinlichkeit, dass der Unterschied in den Mittelwerten irrtümlich als signifikant erachtet wird, liegt dann bei 5 %. Mittels Excel wurde zusätzlich der Standardfehler berechnet. Er ist ein Maß für die durchschnittliche Abweichung und somit für die Genauigkeit des ermittelten Wertes. Je mehr Einzelwerte (hier Wiederholungen) es gibt, desto geringer ist er. Je geringer die Varianz der Werte ist, desto geringer ist der Standardfehler. Umgekehrt zeigt ein großer Standardfehler, dass die Genauigkeit und somit Verlässlichkeit des ermittelten Wertes gering ist.

3.3 CHARAKTERISIERUNG DER DURCHGEFÜHRTEN VERSUCHE

3.3.1 VERSUCH HERKUNFTSVERGLEICH

Als Arbeitshypothese wurde angenommen, dass Efeu feldmäßig ohne Rankhilfen oder Spaliere kultivierbar sein muss, damit ein gewinnbringender Anbau möglich wird. Dazu mussten Herkünfte gefunden werden, die einen Habitus aufweisen, durch den sie ohne weitere Hilfsmaßnahmen maschinell beerntbar sind. Der Efeu muss also von sich aus eine Bestandeshöhe ausbilden, die für eine Ernte mit dem Mähader geeignet ist. Der gewöhnliche Wildefeu (*Hedera helix* L.) ist in seiner Jugendform, wenn er nicht vertikale Flächen bewächst, ein klassischer Bodendecker, der nur selten Bestandeshöhen über 15 cm ausbildet. Die Wuchsformen verschiedener Efeu-Zierformen lassen annehmen, dass es Typen gibt, die höhere Bestände ausbilden können.

Neben technischen Eigenschaften wie Beerntbarkeit und Ertragsleistung spielen Qualitätseigenschaften eine entscheidende Rolle. Die Mindestqualitätsanforderungen sind dabei die im Europäischen Arzneibuch geforderten Inhaltsstoffgehalte. Der für den Feldanbau theoretisch ideale Efeutyp zeichnet sich durch hohe Gehalte an erwünschten Inhaltsstoffen, niedrige Gehalte an unerwünschten Inhaltsstoffen sowie durch nachhaltig hohe Ertragsleistung aus. Dementsprechend wurden im Herkunftsvergleich über alle Herkünfte und alle drei Versuchsjahre sämtliche Kulturmaßnahmen konstant gehalten und die Leistungs- und Qualitätsmerkmale erfasst. Es wurden zwei Ernten pro Versuchsjahr durchgeführt. Jeweils vor den Ernten wurden die technischen Merkmale Internodien- und Blattstiellänge sowie Biomasseentwicklung erfasst. Am Erntegut wurden die Leistungsmerkmale Ertrag an Blattmasse (FM und TM), Ertrag an Stielmasse (FM und TM), sowie Blatt/Stielverhältnis und Eintrocknungsverhältnis ermittelt. An der getrockneten Blattdroge erfolgte die Inhaltsstoffanalyse.

Als „Herkünfte“ werden im Folgenden Efeu-Linien bezeichnet, die in ihrem Erscheinungsbild (Phänotyp) homogen sind und von derselben Quelle stammen. Bislang gibt es keine durch das Bundessortenamt geschützten Efeu-Sorten (Stand Januar 2011). Zwischen 1995 und 2000 hat das Bundessortenamt allerdings 16 Efeu-Formen im Rahmen der sog. Bundesgehölzsichtung bewertet.

Es kursieren mehrere Hundert Namen für Efeu-Formen, die jedoch hinsichtlich eines Sortenschutzes nicht als *Sortennamen* im eigentlichen Sinn verstanden werden können. Vielmehr handelt es sich um eine Art Gebrauchsnamen für bestimmte Phänotypen. Zum Teil existieren diese Namen seit mehreren Jahrzehnten und beziehen sich auf konkret beschriebene Formen. Umfassende Sammlungen von Namen und Beschreibungen finden sich bei der Deutschen Efeu-Gesellschaft e.V. oder auch deren nordamerikanischen Pendant American Ivy Society Inc.

Die verschiedenen Efeu-Formen entstanden vorwiegend durch Mutation und wurden in Gärtnereien oder privaten Sammlungen selektiert und durch vegetative Vermehrung aufrechterhalten. Phänotypisch gleiche Formen könnten dennoch aus unterschiedlichen Ursprüngen stammen und sich daher in weiteren Eigenschaften wie Krankheitsresistenz und Frosthärte unterscheiden. Mitunter erfinden Gärtnereien auch für die bei Ihnen erhältlichen Efeu-Formen klangvolle Namen oder es kommt zu unabsichtlichen Verwechslungen. So geschieht es, dass dieselbe Efeuf orm bisweilen unter verschiedenen Bezeichnungen angeboten wird, oder umgekehrt, unterschiedliche Formen unter dem gleichen Namen verkauft werden.

Da Efeu häufig Mutationen hervorbringt, treten immer wieder neue Formen auf. Die Ausprägung der verschiedenen Mutationen scheint gewissen Mustern zu folgen, so dass typische Formen klassifiziert werden können.

Die American Ivy Society Inc. propagiert hierfür das sogenannte „*Pierot Classification System*“ (WARNER PIEROT, 1995):

- **Bird's Foot (Vogelfuß)**

Efeuformen mit schmal gelappten Blättern. Der Blattriss ähnelt dem Fußabdruck eines Vogels.

- **Fans (Fächer)**

Die Blätter sind breit und fächerförmig mit gleichlangen Blattlappen und oft krausen Blatträndern. Manchmal sind die Blattlappen unterschiedlich lang, zeigen aber alle nach vorne in die gleiche Richtung. Die meist weiße bis hellgrüne Nervatur ist erhaben.

- **Curlies (Krause Formen)**

Formen mit krausen, gerippten und gewellten Blättern. Die Verformung betrifft meist das gesamte Blatt oder es ist zumindest der Blattrand deutlich gewellt.

- **Variegateds (Variegata-Formen)**

„Variegated“ bedeutet „buntscheckig“ und so werden in dieser Kategorie jene Formen zusammengefasst, die eine deutliche Panaschierung aufweisen. Panaschierungen treten im Wesentlichen in den Farbkombinationen dunkelgrün-hellgrün, grün-weiß und grün-gelb auf. Es treten auch gräulich-grün variegatede Formen und mehrfarbige Typen auf. Das Farbspiel kann in Abhängigkeit von der Jahreszeit variieren, aber jahreszeitlich determinierte Anthozyanverfärbungen werden nicht als Variegation im eigentlichen Sinn verstanden.

- **Heart-Shaped (Herzförmige)**

Efeuformen mit Blättern in Form eines Herzens oder Schildes. Auch Efeuformen mit dreieckigen, dreigelappten Blättern, bei denen die Lappenden spitz zulaufen oder abgerundet sind, werden dieser Klasse zugeordnet.

- **Miniature (Miniaturen)**

In dieser Klasse werden all jene Efeuformen zusammengefasst, deren Blätter kleiner als 1 Inch (2,54 cm) sind, egal welche Form sie aufweisen.

- **Ivy-Ivies (Efeu-Efeus)**

Efeuformen, die in ihrem Erscheinungsbild dem typischen, natürlich vorkommenden Efeu ähneln. Die Blätter sind gattungstypisch weitgehend flach und fünffingrig gelappt. Der Mittellappen ist größer als die Basallappen.

- **Adults (Adulte Formen)**

Altersformen des Efeus. Auch die Altersform des Efeus lässt sich vegetativ vermehren. Zwar ist dies schwieriger als bei der Jugendform, es bleibt jedoch möglich. Allen Altersformen gemein ist die Fertilität, das heißt, es werden Blüten und Beeren ausgebildet. Der Wuchs ist meist aufrecht und die Triebe verholzen schnell. Die Blätter sind meist herzförmig bis lanzettlich.

- **Oddities (Kuriositäten)**

Diese Gruppe umfasst jene Efeuformen, die eine sehr ungewöhnliche Wuchsform aufweisen, wie zum Beispiel nicht rankende und/oder aufrechte Formen (Erecta-Formen) oder auch solche, bei denen die Internodien soweit verkürzt sind, dass die Blätter in Scheinquirlen angeordnet sind (Fasciata-Formen). Auch Efeuformen, deren Blätter in einer Art und Weise verformt sind, dass sie sich nicht in eine der anderen Klassen einordnen lassen, werden dieser Gruppe zugeteilt.

Beschreibung der Herkünfte

Für den Versuch wurden 19 Efeulinien verschiedenster Ausformung und Provenienz ausgewählt. Die Pflanzen stammen aus Gärtnereien und privaten Sammlungen und wurden dort meist unter bestimmten Sortenbezeichnungen geführt. Die folgende Beschreibung und Klassifizierung der in den Versuchen verwendeten Efeulinien erfolgte in Anlehnung an das „*Pierot Classification System*“ und wurde durch eigene Beobachtungen ergänzt.

Herkunft 01

Quelle: Gärtnerei Cäcilia Albers, Geldern.

Es handelt sich um einen typischen „Ivy-Ivy“.

Die Ausgangspflanzen dieser Herkunft wurden unter der Sortenbezeichnung „Woerner“ erworben.



Abb. 7: Herkunft 01, Efeuform „Woerner“ im Freilandversuch (Juli 2007). Eigenes Foto.



Abb. 8: Efeuform „Woerner“. Foto aus dem Internet © Deutsche Efeugesellschaft e.V.

Der Deutschen Efeugesellschaft zufolge ist der heute gängige Name für diesen Typ „Woerner“. Laut Bundesgehölzsichtung und Deutscher Efeugesellschaft ist der Typ „Woerner“ identisch mit „Remscheid“. In der Bundesgehölzsichtung wird er als „ausgezeichnete Sorte“ eingestuft. „Woerner“ ist gekennzeichnet durch starke Wüchsigkeit, hohe Krankheitsresistenz und Frosthärte. Der Typ hat mittelgroße bis große Blätter mit dunkelgrüner Färbung und sehr heller, fast weißer Nervatur. In der kalten Jahreszeit fällt die starke Anthocyanfärbung auf (Bundessortenamt, 2008).

Wie die Abbildungen 7 und 8 verdeutlichen, bestand keine ausgeprägte Ähnlichkeit zwischen den Versuchspflanzen und dem von der Deutschen Efeugesellschaft als „Woerner“ propagierten Typ. Bei Herkunft 01 waren die Blätter eher hellgrün, die Nervatur setzte sich nicht deutlich ab und war mehr hellgrün als weißlich. Die Neigung zu Anthocyanfärbung war eher gering ausgeprägt. Der Habitus legt die Vermutung nahe, dass es sich um einen Typ von *Hedera hibernica* handelte. Allerdings war hier die Wüchsigkeit deutlich geringer als bei den Herkünften 06 und 17, die von Anfang an als *hibernica*-Typen bekannt waren. Der deutschen Efeugesellschaft zufolge wurde der Typ „Woerner“ in früheren Zeiten oft auch als „*Hedera hibernica* Woerner“ bezeichnet, was zeigt, dass eine große Ähnlichkeit mit *hibernica*-Typen wohl normal ist. Heutzutage geht man allerdings davon aus, dass es sich bei „Woerner“ um *Hedera helix* handelt.

Herkunft 02

Quelle: Gärtnerei Cäcilia Albers, Geldern.

Es handelt sich um einen typischen „Ivy-Ivy“.

Diese Herkunft wurde unter dem Namen „Modern Times“ bezogen.

Die „Sorte“ „Modern Times“ wird vom Bundessortenamt (Bundessortenamt, 2008) als sehr winterhart und krankheitsresistent beschrieben.



Abb. 9: Herkunft 02, Efeuform „Modern Times“ im Freilandversuch (Juli 2007). Eigenes Foto.



Abb. 10: Efeuform „Modern Times“. Foto aus dem Internet. © Deutsche Efeugesellschaft e.V.

Die Blätter sind mittelgroß bis groß. Junge und alte Blätter weisen stark unterschiedliche Form auf, sowie starke Anthocyanfärbung während Herbst und Winter. Nach ROSE (1997) sind besonders die stumpfen Blattspitzen und die helle apfelgrüne Färbung junger Blätter auffällig. Hinsichtlich Blattform und Färbung scheint die Zuordnung der Herkunft 02 zur Sorte „Modern Times“ zu stimmen. Allerdings zeigte Herkunft 02 an diesem Standort eine relativ starke Anfälligkeit gegenüber Blattflecken. Im Gegensatz zur Einstufung des Bundessortenamts waren die Blätter eher mittelgroß bis klein und die Wüchsigkeit relativ gering.

Herkunft 03

Quelle: Gärtnerei Cäcilia Albers, Geldern.

Es handelt sich um einen typischen „Ivy-Ivy“.

Die Herkunft wurde unter dem Namen „Montgomery“ bezogen.



Abb. 11: Herkunft 03, Efeuform „Montgomery“ im Freilandversuch (Juli 2007). Eigenes Foto.



Abb. 12: Efeuform „Montgomery“. Foto aus dem Internet. © Deutsche Efeugesellschaft e.V.

Im Internetlexikon Hortipendium (www.hortipendium.de, 2013) wird „Montgomery“ der diploiden Art *Hedera canariensis* zugeordnet. Laut Deutscher Efeugesellschaft befindet sich diese Art jedoch nicht in Kultur und somit geht die Efeugesellschaft davon aus, dass es sich bei „Montgomery“ um eine Selektion der tetraploiden Art *Hedera algeriensis* handelt. Allerdings zeigt der auf dem Foto der

Efeugesellschaft abgebildete Efeu relativ wenig Ähnlichkeit mit Herkunft 03. Die Ploidiestufe von Herkunft 03 ist nicht bekannt. Dem Habitus nach zu urteilen handelt es sich wahrscheinlich nicht um die Art *H. helix*. Herkunft 03 wies unter allen Herkünften mit Abstand die größten Blätter auf. Die Blattlappen laufen spitz zu und besonders auffällig sind die rot gefärbten Sprossachsen und Blattstiele.

Herkunft 04

Quelle: Gärtnerei Cäcilia Albers, Geldern.

Es handelt sich um einen typischen „Ivy-Ivy“, ein „Bodendecker“.



Abb. 13: Herkunft 04, Efeuform „MB“ im Juli 2007 im Freiland. Eigenes Foto.



Abb. 14: Mutterpflanze der Linie „MB“ unter Glas. Eigenes Foto.

Für diese Herkunft gab es keinen Namen. Sie erhielt daher den Arbeitstitel „MB“. Eine offizielle Beschreibung dieser Selektion liegt nicht vor. Das Ausgangsmaterial (Abb. 13) zeigte einen auffällig aufrechten Wuchs. Die Blätter waren relativ unregelmäßig geformt, ließen sich jedoch dem klassischen Efeu-Typ zuordnen. Im Freiland wuchsen die Blätter in deutlich gleichmäßigerer Form und ähnelten jenen von Herkunft 02. Allerdings waren sie deutlich größer.

Herkunft 05

Quelle: Gärtnerei Cäcilia Albers, Geldern.

Es handelt sich um einen typischen „Ivy-Ivy“.

Die Herkunft wurde unter dem Namen „Wonder“ bezogen.

Eine einheitliche Beschreibung der Sorte „Wonder“ liegt nicht vor. Es fällt auf, dass der Habitus sich unter Freilandbedingungen stark verändert hat. Charakteristisch für diese Herkunft sind die abgerundeten Blattspitzen und die rötlichen Blattstiele. Insgesamt ähnelte der Freilandbestand sehr stark jenem der Herkunft 04. Die Zuordnung zur Sorte „Wonder“ konnte nicht verifiziert werden.



Abb. 15: Herkunft 05, Efeuform „Wonder“ im Freilandversuch (Juli 2007). Eigenes Foto.



Abb. 16: Unter Glas vorgezogener Pflanzhorst der Efeuform „Wonder“ vor der Pflanzung ins Freiland im Sommer 2005. Eigenes Foto.

Herkunft 06

Quelle: Gärtnerei Cäcilia Albers, Geldern.

Es handelt sich um einen typischen „Ivy-Ivy“.

Die Herkunft wurde unter dem Namen „Hibernica“ bezogen.

Im Handel wird der Name „Hibernica“ oft als eine Art Sortenbezeichnung verwendet. Im Allgemeinen versteht man unter dieser Bezeichnung einen Efeu-Typ, der u.a. folgende charakteristische Merkmale aufweist:

- sehr starke Wüchsigkeit
- lange Blattstiele und kräftige Triebe

Dieser stark wachsende Typ findet vor allem im Freiland als Bodendecker Verwendung, da er hohe und dichte Polster ausbildet. Oft zeigt er nur mittlere Frostresistenz und deshalb empfiehlt HEIECK (1992) für rauhere Lagen eher die Sorte „Woerner“.



Abb. 17: Herkunft 06, Efeuform „Hibernica“ im Freilandversuch (Juli 2007). Eigenes Foto.



Abb. 18: Typisches Blatt der Efeuform „Hibernica“ im Handel. Eigenes Foto.

„Hibernica“ bildet sehr regelmäßig geformte, große Blätter aus, die mittel- bis hellgrün gefärbt sind. Die Neigung zur Anthocyanfärbung in der kalten Jahreszeit ist nur sehr schwach ausgeprägt. Ein typisches „Hibernica“-Blatt ist 5 lappig. Die Blattlappen sind durch relativ flache Buchtungen voneinander getrennt, wobei die Buchtungen beiderseits des Zentrallappens deutlicher ausgeprägt sind als die beiden anderen. Die Blattoberfläche kann zwar schwach matt erscheinen, sie ist jedoch meist deutlich glatter und glänzender als jene der charakteristischen „*helix*-Typen“.

Seit den 1980er Jahren vertritt man die Ansicht, dass es sich bei den *hibernica*-Typen um eine eigene Art handelt (MCALLISTER, 1981; Näheres in Kap. 2.4.1) und begründet dies u.a. damit, dass „*Hedera hibernica*“ einen tetraploiden Chromosomensatz aufweist.

Die Wildform „*Hedera hibernica*“ ist in der Vergangenheit offenbar verschiedentlich in den Zierpflanzenbau gelangt und so gibt es heutzutage Stämme, die mehr oder weniger identisch mit der Wildform sind, aber auch Selektionen mit den verschiedensten Abweichungen.

Dem Habitus nach zu urteilen handelte es sich bei Herkunft 06 um einen typischen Vertreter von „*Hedera hibernica*“.

Herkunft 07

Quelle: Gärtnerei Cäcilia Albers, Geldern.

Es handelt sich um einen typischen „Curly“.

Die Herkunft wurde unter dem Namen „Stuttgart“ bezogen.



Abb. 19: Herkunft 07, Efeuform „Stuttgart“ im Freilandversuch (Juli 2007). Eigenes Foto.



Abb. 20: Efeuform „Stuttgart“. Foto aus dem Internet. © Deutsche Efeugesellschaft e.V.

Charakteristisch für diesen Typ sind die die fünflobigen, eher kleinen Blätter mit dem gewellten Blattrand. Der Wuchs ist insgesamt steif, sperrig und kompakt, was diese Herkunft auch als geeignet für die maschinelle Beerntung erscheinen ließ.

Den gleichen Typ findet man auch unter der Bezeichnung „Ivalace“. Scheinbar gibt es keinen Unterschied im Habitus von „Ivalace“ und „Stuttgart“. Herkunft 07 lässt sich diesem Typ eindeutig zuordnen.

Herkunft 08

Quelle: Gärtnerei Stauss, Möglingen bei Stuttgart.

Es handelt sich um einen typischen „Fan“.

Die Herkunft wurde unter dem Namen „Green Ripple“ bezogen.



Abb. 21: Herkunft 08, Efeuform „Green Ripple“ im Freilandversuch (Juli 2007). Eigenes Foto.



Abb. 22: Efeuform „Green Ripple“. Foto aus dem Internet. © Deutsche Efeugesellschaft e.V.

Herkunft 08 ließ sich eindeutig dem Typ „Green Ripple“ zuordnen. Der buschig-kompakte Wuchs ließ eine gute Beerntbarkeit vermuten. Charakteristisch sind die nach vorne weisenden Blattlappenspitzen sowie die erhabene Blattaderung.

Herkunft 09

Quelle: Gärtnerei Stauss, Möglingen bei Stuttgart.

Es handelt sich um einen „Heart Shaped“.

Die Herkunft wurde unter dem Namen „Shamrock“ bezogen.



Abb. 23: Herkunft 09, Efeuform „Shamrock“ im Freilandversuch (Juli 2007). Eigenes Foto.



Abb. 24: Efeuform „Shamrock“. Foto aus dem Internet. © American Ivy Society

Abgesehen davon, dass unter dem Namen „Shamrock“ die verschiedensten Efeu-Typen angeboten werden, scheint man sich darüber einig zu sein, dass „Shamrock“ durch stark geteilte Blätter charakterisiert ist. Die Blattbuchtungen sind bei den meisten Blättern so stark ausgeprägt, dass die

Blätter meist in drei Blättchen aufgeteilt sind. Das Laub ist mittelgroß bis klein und die Sprosse sind insgesamt relativ dünn. Die American Ivy Society ordnet diese Form interessanterweise den „Birds’s Foot“ und den „Miniatures“ zu. Sie beschreibt den Typ als sehr stark verzweigend.

Bei Herkunft 09 trat ein großer Anteil geteilter Blätter auf, der mit zunehmendem Alter der Pflanzen abnahm. Mit gewissen Einschränkungen lässt sich Herkunft 09 dem Typ „Shamrock“ zuordnen. Besonders klein („Miniature“) waren die Blätter allerdings nicht.

Herkunft 10

Quelle: Gärtnerei Stauss, Möglingen bei Stuttgart.

Es handelt sich um einen „Ivy-Ivy“.

Die Herkunft wurde unter dem Namen „Good Self Branching“ bezogen.



Abb. 25: Herkunft 10, Efeuform „Good Self Branching“ im Freilandversuch (Juli 2007). Eigenes Foto.

Die Bezeichnung „Good Self Branching“ ist wahrscheinlich mehr als Beschreibung denn als Name zu verstehen. Es fiel jedoch keine besondere Neigung zur Verzweigung auf. Eine genauere Zuordnung zu einem bereits beschriebenen Efeu-Typ war nicht möglich.

Herkunft 11

Quelle: Gärtnerei Stauss, Möglingen bei Stuttgart.

Es handelt sich um einen „Ivy-Ivy“.

Die Herkunft wurde unter dem Namen „Lady Kay“ bezogen.

Der Typ „Lady Kay“ bildet relativ gleichmäßige, meist fünfklappige Blätter aus. Charakteristisch sind die nur sehr flach ausgeprägten Blattbuchtungen. Der Zentrallappen ist meist deutlich größer als die übrigen, was den Blättern eine dreieckige Form verleiht. Die Blattspitzen sind abgerundet. Herkunft 11 lässt sich diesem Typus ziemlich eindeutig zuordnen.



Abb. 26: Herkunft 11, Efeuform „Lady Kay“ im Freilandversuch (Juli 2007). Eigenes Foto.



Abb. 27: Efeuform „Lady Kay“. Foto aus dem Internet. © Fa. Kanplanten, Niederlande

Herkunft 12

Quelle: Gärtnerei Stauss, Möglingen bei Stuttgart.

Es handelt sich um einen typischen „Heart-Shaped“.

Die Herkunft wurde unter dem Namen „Teardrop“ bezogen.



Abb. 28: Herkunft 12, Efeuform „Teardrop“ im Freilandversuch (Juli 2007). Eigenes Foto.



Abb. 29: Efeuform „Teardrop“ unter Glas vermehrt (Mai 2005). Eigenes Foto.

Herkunft 12 lässt sich eindeutig der Form „Teardrop“ zuordnen. Es handelt sich um einen Efeu-Typ mit eher kleinen, derben, herz- bis tropfenförmigen Blättern. Die Blattnervatur ist erhaben. Bei den meisten Blättern ist keine Lappung zu erkennen und sie laufen ganzrandig spitz zu. Vereinzelt treten dreigelappte Blätter auf. Der Typ weist eher kurze Internodien und relativ dünne, rasch verholzende Sprosse auf. Der Wuchs ist starr und kompakt.

Herkunft 13

Quelle: Gärtnerei Stauss, Möglingen bei Stuttgart.

Der Typ lässt sich den „Oddities“ zuordnen.

Die Herkunft wurde unter dem Namen „Eugen Hahn“ bezogen.



Abb. 30: Herkunft 13, Efeuform „Eugen Hahn“ im Freilandversuch (Juli 2007). Eigenes Foto.

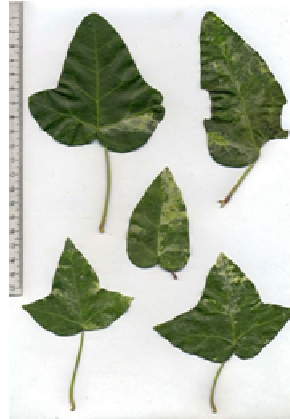


Abb. 31: Blätter der Efeuform „Eugen Hahn“. Foto aus dem Internet. © Deutsche Efeugesellschaft e.V.

Der Efeu-Typ „Eugen Hahn“ besitzt panaschierte Blätter. Sie sind relativ groß, oft ganzrandig und langgestreckt-herzförmig. Es treten auch dreilappige Blätter sowie Übergangsformen auf. Die Blattspitzen können sowohl spitz als auch abgerundet sein. Herkunft 13 lässt sich eindeutig dem Typ „Eugen Hahn“ zuordnen.

Herkunft 14

Quelle: Gärtnerei Stauss, Möglingen bei Stuttgart.

Der Typ wird nach dem „Pierot Classification System“ der Gruppe „Bird’s Foot“ zugeordnet.

Die Herkunft wurde unter dem Namen „Ritterkreuz“ bezogen.



Abb. 32: Herkunft 14, Efeuform „Ritterkreuz“ im Freilandversuch (Juli 2007). Eigenes Foto.

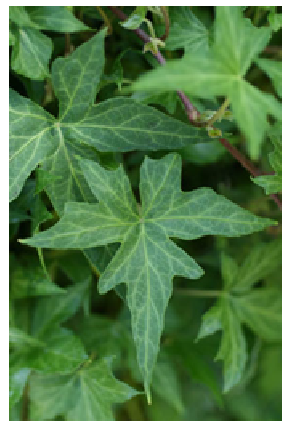


Abb. 33: Efeuform „Ritterkreuz“ Foto aus dem Internet. © American Ivy Society Inc.

Herkunft 14 lässt sich eindeutig dem Typ „Ritterkreuz“ zuordnen. Die Blätter sind relativ klein, meist fünflobig und sehr tief gebuchtet. Die Blattlappen sind schmal und laufen spitz zu. Oft weist der Zentrallappen beiderseits kleine Nebenlappen auf, die nicht so stark abgesetzt sind wie die übrigen Blattlappen. Das Blatt erinnert an ein Malteserkreuz. Die Pflanzen haben kurze Internodien und zeigen einen kompakten Wuchs.

Herkunft 15

Quelle: Gärtnerei Stauss, Möglingen bei Stuttgart.

Nach dem „Pierot Classification System“ handelt es sich um einen typischen „Ivy-Ivy“.

Die Herkunft wurde unter dem Namen „Pittsburgh“ bezogen.



Abb. 34: Herkunft 15, Efeuform „Pittsburgh“ im Freilandversuch (Juli 2007). Eigenes Foto.



Abb. 35: Efeuform „Pittsburgh“ Foto aus dem Internet. © Deutsche Efeugesellschaft e.V.

Dieser Efeu-Typ sieht gewöhnlichem Wildefeu sehr ähnlich. Die Blätter zeigen die typische fünfklappige Form und sind mittelgroß. „Pittsburgh“ zeigt eine sehr einheitliche Blattform die nur wenig variiert. Die Blätter sind oft von eher hellerem Grün und die Blattadern sind weder stark kontrastiert noch besonders erhaben. Herkunft 32 lässt sich dem Typ „Pittsburgh“ gut zuordnen.

Herkunft 16

Quelle: Gärtnerei Stauss, Möglingen bei Stuttgart.

Nach dem „Pierot Classification System“ handelt es sich um einen typischen „Curly“.

Die Herkunft wurde unter dem Namen „Flamenco“ bezogen.



Abb. 36: Herkunft 16, Efeuform „Flamenco“ im Freilandversuch (Juli 2007). Eigenes Foto.



Abb. 37: Efeuform „Manda's Crested“. Foto aus dem Internet © Mandy's Plant Farm

Der Deutschen Efeugesellschaft ist eine Sorte „Flamenco“ nicht bekannt. Auch mittels umfassender Internetrecherchen war kein Efeu-Typ „Flamenco“ auffindbar. Nach Aussage der Deutschen Efeugesellschaft handelt es sich bei Herkunft 16 um den Typ „Manda's Crested“ oder „Manda

Crested“. Man versteht darunter offenbar einen Efeu-Typ mit relativ großen, meist fünfklappigen, krausen Blättern. Ähnliche Merkmale weist auch der von der American Ivy Society beschriebene Typ „Dragon’s Claw“ auf. Herkunft 16 ähnelt den auffindbaren Abbildungen von „Manda’s Crested“ meist sehr stark, wenn auch ausgerechnet die Deutsche Efeugesellschaft Bilder dieses Typs veröffentlicht hat, die ziemlich stark vom Erscheinungsbild von Herkunft 16 abweichen. Herkunft 16 hatte sehr charakteristische, krause, ziemlich große Blätter, durch die die Pflanzen ein relativ hohes Polster ausbildeten. Wenn auch die älteren Blätter, wie dies meistens bei Efeu der Fall ist, eher dunkel waren, war die vorherrschende Blattfarbe von Herkunft 16 auffallend gelblich-hellgrün. Die Blattnervatur hob sich kaum vom übrigen Blatt ab.

Herkunft 17

Quelle: Gärtnerei Stauss, Möglingen bei Stuttgart.

Nach dem „Pierot Classification System“ handelt es sich um einen typischen „Ivy-Ivy“.

Die Herkunft wurde unter dem Namen „Hestor“ bezogen.



Abb. 38: Herkunft 17, Efeuform „Hestor“ im Freilandversuch (Juli 2007). Eigenes Foto.



Abb. 39: Herkunft 06, Efeuform „Hibernica“ im Freilandversuch (Juli 2007). Eigenes Foto.

Wie auch Herkunft 06 lässt sich Herkunft 17 eindeutig der Unterart (oder Art, je nach Interpretation) *Hedera hibernica* zuordnen. Im Internet finden sich verschiedene Hinweise darauf, dass der Typ „Hestor“ in Dänemark selektiert wurde. Laut Fa. Helix Pflanzensysteme handelt es sich bei „Hestor“ um einen *hibernica*-Efeu, der winterhärter sein soll als andere *hibernica*-Typen.

Die Blätter sind groß, fleischig-derb und fünfklappig. Die Blattnervatur hebt sich farblich nur wenig vom übrigen Blatt ab und ist hellgrün und nicht weißlich wie bei vielen *helix*-Typen. „Hestor“ ist sehr frohwüchsig und bildet hohe Pflanzenpolster. Die Triebe sind dick und langgestreckt.

Herkunft 27

Quelle: Botanische Sammlung der TU Dresden, Kamelienschloss Pirna-Zuschendorf.

Nach dem „Pierot Classification System“ handelt es sich um einen typischen „Fan“.

Die Herkunft wurde unter dem Namen „Green Ripple“ bezogen.



Abb. 40: Herkunft 27, Efeuform „Green Ripple“ im Freilandversuch (Juli 2007). Eigenes Foto.



Abb. 41: Efeuform „Green Ripple“, Foto aus dem Internet. © Deutsche Efeugesellschaft e.V.

Wie Herkunft 08 lässt sich Herkunft 27 eindeutig dem Typ „Green Ripple“ zuordnen. Die Jungpflanzen erschienen zum Zeitpunkt der Auspflanzung weniger vital als jene der Herkunft 08. Auch im weiteren Verlauf des Herkunftsvergleichs zeigte sich die Linie 27 als weniger wüchsig, krankheits- und frostresistent als Linie 08.

Herkunft 28

Quelle: Botanische Sammlung der TU Dresden, Kamelienschloss Pirna-Zuschendorf.

Nach dem „Pierot Classification System“ handelt es sich um einen „Adult“.

Die Herkunft wurde unter dem Namen „Atropurpureum“ bezogen.



Abb. 42: Herkunft 28, Efeuform „Atropurpureum“ im Freilandversuch (Juli 2007). Eigenes Foto.

Herkunft 28 lässt sich nicht eindeutig einem beschriebenen Typ zuordnen. Im Gegensatz zu allen anderen Herkünften handelte es sich um eine Adultform. Die Adultformen der verschiedenen Typen sind einander meist derart ähnlich, dass eine eindeutige Unterscheidung nicht mehr möglich ist. Man findet zwar Beschreibungen und Bilder eines Typs „Atropurpurea“, jedoch beziehen sich diese nur auf eine Juvenilform. Bei genauerer Betrachtung ist die Bezeichnung „Adult“ nicht ganz korrekt, da es bei Herkunft 28 um eine Übergangsform handelte. Die Triebe waren dick und rasch verholzend. Im Wesentlichen war der Wuchs aufrecht, es fanden sich jedoch auch noch vereinzelt kriechende Triebe. Auffällig war die überragende Frost- und Krankheitsresistenz. Die Blätter waren groß, glänzend und ganzrandig-tropfenförmig.

3.3.2 VERSUCH PFLANZDICHTEN

Da es bisher keine Kenntnisse zum Kompensationsvermögen von Efeu unter Feldbaubedingungen gibt, galt es herauszufinden, wie sich unterschiedliche Pflanzdichten auf die Entwicklung der Bestandesdichte und, damit verbunden, auf Leistungs- und Qualitätsmerkmale auswirken. Unter Pflanzdichte ist dabei die Anzahl der Pflanzstellen pro Fläche zu verstehen. Sie unterscheidet sich von der Pflanzendichte, da die in die Pflanzstellen gesetzten Ballen nicht aus einem einzigen Steckling bestanden. In sämtlichen Versuchen wurden Pflanzballen (auch als „Horste“ bezeichnet) verwendet, die mit 6 Einzelstecklingen bestückt worden waren, von denen meist 4 bis 5 überlebten. Die Pflanzendichte setzt sich also zusammen aus der Anzahl an Einzelpflanzen (Stecklingen) pro Ballen multipliziert mit der Anzahl an Ballen (gleichzusetzen mit Pflanzstellen) je Fläche. In diesem Versuch wurde die Bestandesdichte ausschließlich über die Anzahl an Pflanzballen bzw. Pflanzstellen pro Fläche variiert, nicht aber durch die Anzahl an Stecklingen je Pflanzballen. Es wurden drei Pflanzdichten gewählt, die auch unter Zuhilfenahme gängiger Technik des Feldbaus umsetzbar sind (Tab. 7 und 8). Dazu wurde für alle drei Varianten der gleiche Reihenabstand von 50 cm festgelegt. Bei diesem Abstand ist maschinelles Hacken und Fräsen ohne Weiteres möglich. Die Pflanzdichte wurde ausschließlich über unterschiedliche Pflanzabstände innerhalb der Reihen variiert. Mit Pflanzmaschinen sind Pflanzabstände unter 20 cm meist nicht realisierbar. Daher wurde dies im Versuch als geringster Pflanzabstand festgelegt. In den beiden folgenden Varianten wurde der Pflanzabstand jeweils um 10 cm erhöht.

Tab. 8: Pflanzabstände im Versuch Pflanzdichte

Pflanzdichtevarianten [Ballen pro m ²]	Reihenweite [m]	Pflanzabstand [m]
10,00	0,5	0,20
6,67	0,5	0,30
5,00	0,5	0,40

Die mittlere Pflanzdichtevariante mit 30 cm Pflanzabstand entsprach jener des Herkunftsvergleichs. Es wurde diejenige Herkunft verwendet, die im Herkunftsvergleich als Herkunft 04 („MB“) eingesetzt wurde. Sämtliche Maßnahmen wurden in identischer Weise durchgeführt wie im Herkunftsvergleich. Der Versuch wurde im Jahr 2005 angelegt. Datenerhebung und Beerntung (zwei Ernten je Saison) erfolgten in den Jahren 2006, 2007 und 2008. Jede der drei Varianten lag in vier Wiederholungen in einer randomisierten Blockanlage vor.

3.3.3 VERSUCH SCHNITTREGIME

Für die Inkulturnahme von Efeu ist die Kenntnis über den Einfluss verschiedener Erntezeitpunkte und -häufigkeiten auf die Leistungs- und Qualitätsmerkmale essentiell und so wurde ein Versuch mit drei unterschiedlichen Schnittregimen konzipiert (Tab. 9). Der Versuch wurde mit der Sorte „Montgomery“ (siehe auch Herkunft 03 im Herkunftsvergleich) durchgeführt. Mit Ausnahme der Düngung waren im Schnitthäufigkeitsversuch sämtliche Maßnahmen identisch mit jenen im Herkunftsvergleich. Es gab drei unterschiedliche Varianten mit je vier Wiederholungen in einer

randomisierten Blockanlage (Lageplan siehe Tab. 12 im Anhang). Der Versuch wurde 2005 angelegt und die Datenerhebung erfolgte in den Jahren 2006, 2007 und 2008.

Tab. 9: Erntetermine im Versuch Schnittregime

Varianten	Erntetermin in Kalenderwoche														
	23	24	25	26	27	28	29	30	31	32	33	34	35	36	37
3 Schnitte pro Saison; Gewebealter des Ernteguts 7 Wochen															
2 Schnitte pro Saison; Gewebealter des Ernteguts 9 Wochen															
1 Schnitt pro Saison; Gewebealter des Ernteguts 14 Wochen															

Wie in Tab. 9 zu erkennen, gab es eine Variante mit drei, eine mit zwei und eine mit nur einer einzigen Ernte pro Jahr. Bedingt durch die unterschiedliche Schnittfrequenz, weist das jeweils gewonnene Erntegut ein unterschiedliches physiologisches Alter auf.

4. ERGEBNISSE

4.1 ERGEBNISSE DES VERSUCHS HERKUNFTSVERGLEICH

4.1.1 INTERNODIEN- UND BLATTSTIELE

LÄNGE DER INTERNODIEN

Die Herkunft hatte einen signifikanten Einfluss auf die Internodienlänge (bei allen Ernten $p < 0,001$). Im Gesamtmittel betrug die Internodienlänge 2,5 cm. Die Werte lagen zwischen 0,3 cm (Herkunft 07, erste Ernte im dritten Versuchsjahr 2008) und 5,5 cm (Herkunft 03, zweite Ernte im dritten Versuchsjahr 2008).

Bei jedem der sechs Erhebungszeitpunkte (zwei Termine je Versuchsjahr) blieb das relative Verhältnis der Internodienlängen der verschiedenen Herkünfte zueinander im Wesentlichen gleich. Die Herkünfte 01, 03, 06 und 17 hatten insgesamt die längsten Internodien. Innerhalb dieser Gruppe hatte die Herkunft 03 im Gesamtmittel die längsten Internodien. Auf die erste Ernte im dritten Versuchsjahr 2008 wurde aufgrund zu geringer Bestandesentwicklung verzichtet. Der einzige im Jahr 2008 durchgeführte Ernteschnitt fand zum Termin der zweiten Ernte statt. Zu diesem Zeitpunkt hoben sich die Internodienlängen der Herkünfte 01, 03, 06 und 17 besonders deutlich von den übrigen ab. Tendenziell waren die Internodien vor der zweiten Ernte länger als vor der ersten. Dieser Unterschied war jedoch nur geringfügig (Abb. 43).

LÄNGE DER BLATTSTIELE

Mit der Länge der Blattstiele verhielt es sich ähnlich wie mit der Länge der Internodien. Auch die Blattstiellänge unterlag einem signifikanten Einfluss der Herkunft (bei allen Ernten $p < 0,001$).

Die Relationen der Blattstiellängen der verschiedenen Herkünfte zueinander blieben über die Jahre weitgehend gleich. Diejenigen Herkünfte mit den längsten Internodien hatten auch die längsten Blattstiele. Es handelte sich also auch hier um die Herkünfte 01, 03, 06 und 17. Letztlich waren die Unterschiede zwischen den verschiedenen Blattstiellängen nicht so stark ausgeprägt, wie es bei den Internodienlängen der Fall war. Die größten Unterschiede traten vor der ersten Ernte des zweiten Versuchsjahres 2007 auf, bei der die meisten Blattstiele länger waren als zu allen anderen Ernteterminen. Der Gesamtmittelwert lag bei 3,2 cm und bewegte sich zwischen 1,3 cm (Herkunft 28, zweite Ernte im dritten Versuchsjahr 2008) und 7,0 cm (Herkunft 17, erste Ernte im zweiten Versuchsjahr 2007) (Abb. 44).

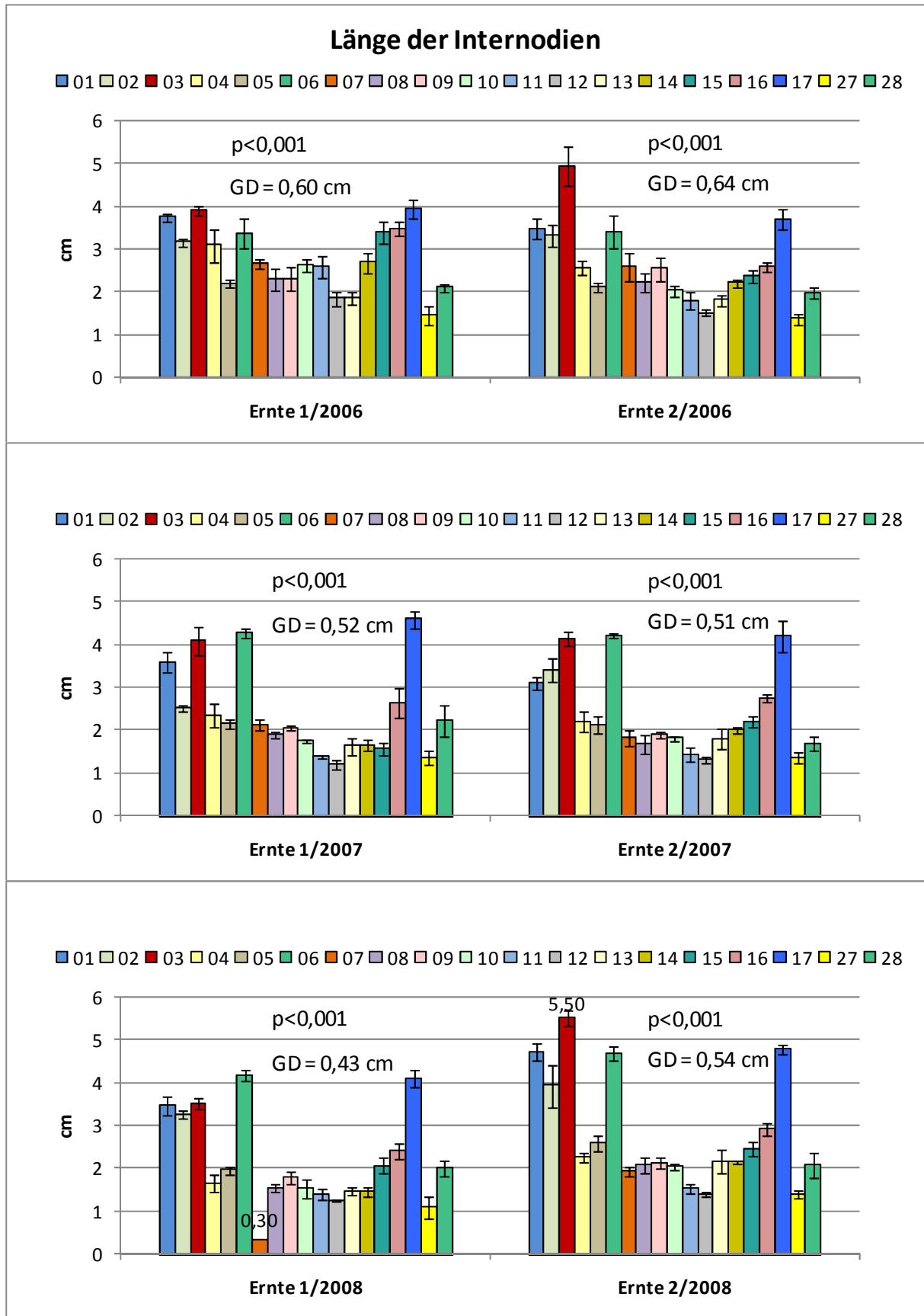


Abb. 43: Herkunftsvergleich: Mittlere Internodienlänge von Efeu in Abhängigkeit von Herkunft und Erntetermin, Feldversuche Artern 2006 – 2008. p = Signifikanzwert. T= Standardfehler. GD = Grenzdifferenz (5 %).

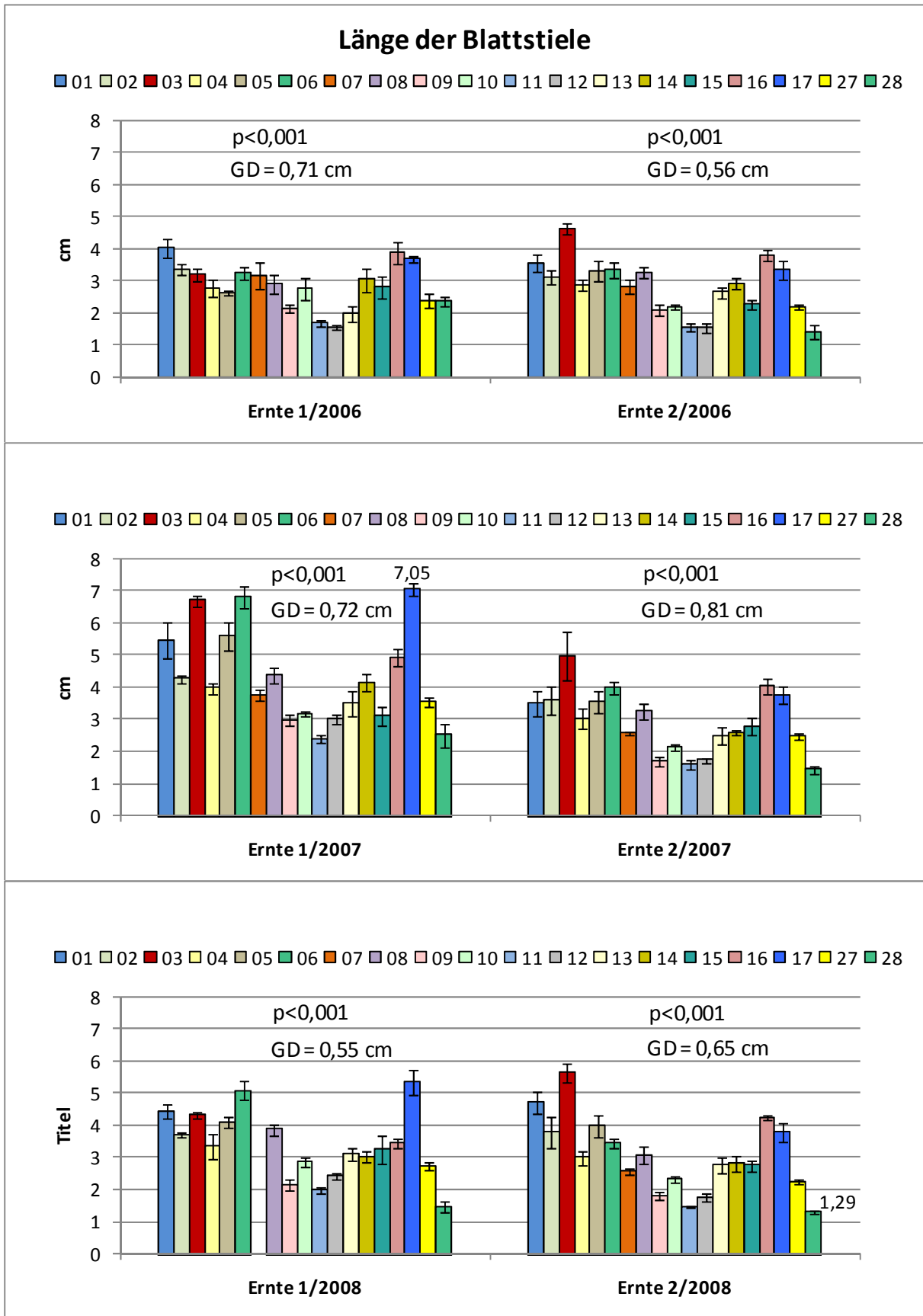


Abb. 44: Herkunftsvergleich: Mittlere Blattstiellänge von Efeu in Abhängigkeit von Herkunft und Erntetermin, Feldversuche Artern 2006 – 2008. p = Signifikanzwert. p = Signifikanzwert. T= Standardfehler. GD = Grenzdifferenz (5 %).

4.1.2 BONITUR FRÜHJAHRSAUSTRIEB UND FROSTSCHÄDEN

BONITUR DES FRÜHJAHRSAUSTRIEBES

Im Vergleich zur übrigen Vegetation, setzte der Frühjahrsaustrieb sehr spät, zwischen Ende April und Mitte Mai, ein. Die ursprüngliche Intention der Austriebsbonitur war, zu ermitteln ob es Herkünfte gibt, die stärker bestocken als andere. Ein Austrieb an der Sprossbasis wurde als positiv erachtet, da er zur natürlichen Vermehrung des Pflanzenbestands beiträgt. Im Versuchsverlauf zeigte sich jedoch, dass die Efeuranken mitunter starke Winterschäden erlitten und infolgedessen der Austrieb zwangsläufig nur noch an der Pflanzenbasis stattfinden konnte, da die Ranken größtenteils abgestorben oder stark geschädigt waren. Die Bonitur der Austriebsstelle (Sprossbasis oder Ranke) gibt nun in gewisser Weise mehr die Anfälligkeit gegenüber Wintereinflüssen wieder und weniger die Neigung zur natürlichen Bestandsvermehrung.

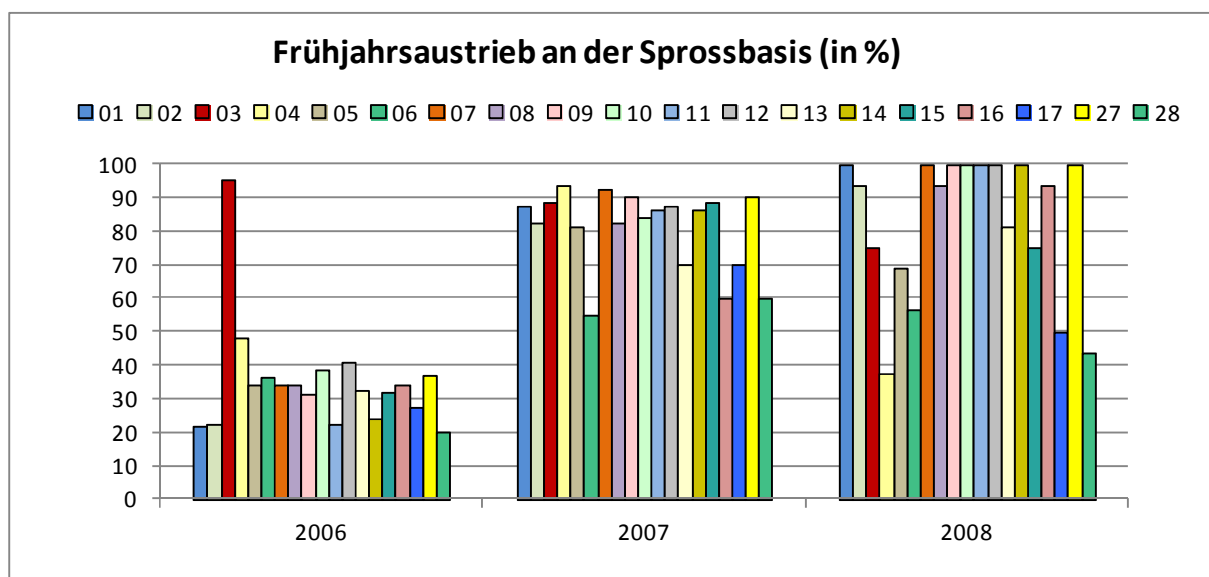


Abb. 45: Herkunftsvergleich: Mittlere Boniturnote für den Frühjahrsaustrieb von Efeu (ausgedrückt als relativer Anteil des Austriebs an der Sprossbasis am Gesamtaustrieb) in Abhängigkeit von Herkunft und Jahr, Feldversuche Artern 2006 – 2008.

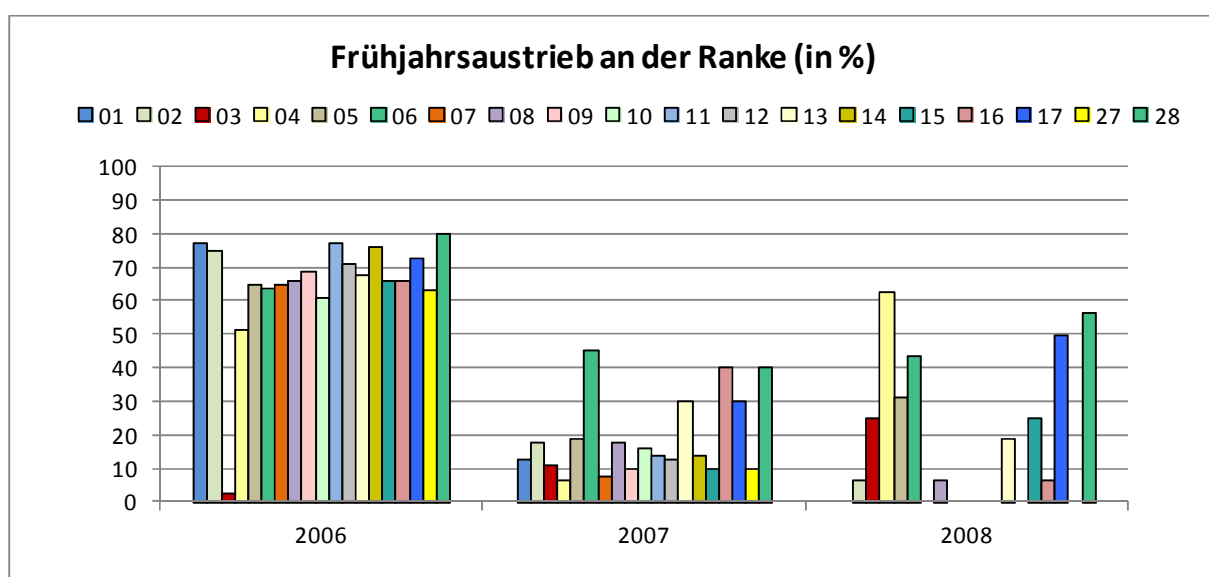


Abb. 46: Herkunftsvergleich: Mittlere Boniturnote für den Frühjahrsaustrieb von Efeu (ausgedrückt als relativer Anteil des Austriebs an der Ranke am Gesamtaustrieb) in Abhängigkeit von Herkunft und Jahr, Feldversuche Artern 2006 – 2008.

Entgegen der Ausgangshypothese führte ein Austrieb an der Sprossbasis kaum zu einer Erhöhung der Anzahl an Haupttrieben. Zwar fand eine gewisse Bestockung statt, jedoch erfüllte der Austrieb an der Basis hauptsächlich die Funktion, die abgestorbenen Triebe zu ersetzen (Abb. 45 und 46).

Eine detaillierte Beurteilung der Frosthärte ist mit der Austriebsbonitur allein nicht möglich, da Winterschäden auf diese Weise lediglich indirekt erfasst, aber nicht quantitativ beurteilt wurden. Der gesamte Austrieb einer Herkunft wurde mit 100 % definiert. Jede Herkunft wurde allein für sich beurteilt und nicht in Relation zu den anderen Herkünften gesetzt. Die Austriebsbonitur erfasste lediglich, welcher prozentuale Anteil des Austriebs auf die Sprossbasis und welcher auf die Ranken entfiel.

Mit zunehmendem Alter der Pflanzen verlagerte sich die Stelle des Frühjahrsaustriebs von den Ranken hin zur Sprossbasis. Während im Frühling des zweiten Versuchsjahres 2006 im Gesamtmittel noch 65 % Austrieb an den Ranken festzustellen war, lag dieser Wert im Frühjahr 2008 nur noch bei 17 %. Bei einigen Herkünften gab es im Frühling 2008 keinerlei Austrieb an den Ranken mehr.

Eine Ausnahme stellte die Herkunft 03 dar, die sich scheinbar entgegengesetzt zu den übrigen Herkünften verhielt. Mit 95 % Austrieb an der Sprossbasis hatte sie im Frühjahr 2006 mit Abstand den höchsten Wert (Abb. 45). Das Gesamtmittel des Jahres 2006 lag bei 35 % Austrieb an der Sprossbasis. Bis 2008 sank dieser Wert bei der Herkunft 03 bis auf 75 %. Dies zeigt, dass die Herkunft 03 bereits von Beginn an sehr empfindlich auf Wintereinflüsse reagiert hat, da schon im ersten Versuchsjahr der Austrieb überwiegend am Pflanzenstock und nicht an den Ranken einsetzte. Im dritten Versuchsjahr 2008 waren alle Wiederholungspartellen dieser Herkunft nahezu vollständig abgestorben. Es gab hier insgesamt nur wenig Austrieb.

Bei Herkunft 04 waren ähnlich starke Schäden im Bestand zu verzeichnen wie bei Herkunft 03. Im dritten Versuchsjahr 2008 waren hier ebenfalls die Versuchspartellen weitgehend abgestorben. Allerdings fand der Austrieb bei den überlebenden Pflanzen zu einem vergleichsweise hohen Anteil dennoch an den Ranken statt. Im Gegensatz zu den meisten anderen Herkünften verhielt sich der Frühjahrsaustrieb hier relativ indifferent und zeigte im Verlauf der Jahre keine klare Tendenz. Im Frühling 2008 zeigte sich bei dieser Herkunft mit 63 % der höchste Prozentsatz beim Austrieb an den Ranken. Zu diesem Zeitpunkt waren nur noch bei den Herkünften 03, 06, 17 und 28 Prozentsätze von mehr als 40 % Austrieb an den Ranken zu verzeichnen (Abb. 45 und 46).

BONITUR DER FROSTSCHÄDEN

Im Mittel aller Herkünfte und Versuchsjahre betrug die mittlere Boniturnote für Frostschäden 3,6 bei einer Skala von 1 (keine Frostschäden) bis 5 (totaler Blattverlust durch Frostschäden). Insgesamt nahmen die Frostschäden mit Mittelwerten von 3,4 (2006), 3,5 (2007) und 3,9 (2008) von Jahr zu Jahr zu. Die Sensitivität der einzelnen Herkünfte gegenüber Wintereinflüssen folgte in allen drei Versuchsjahren einem ähnlichen Muster, so dass anfällige Herkünfte deutlich von weitgehend frostresistenten Herkünften unterschieden werden können (Abb. 47).

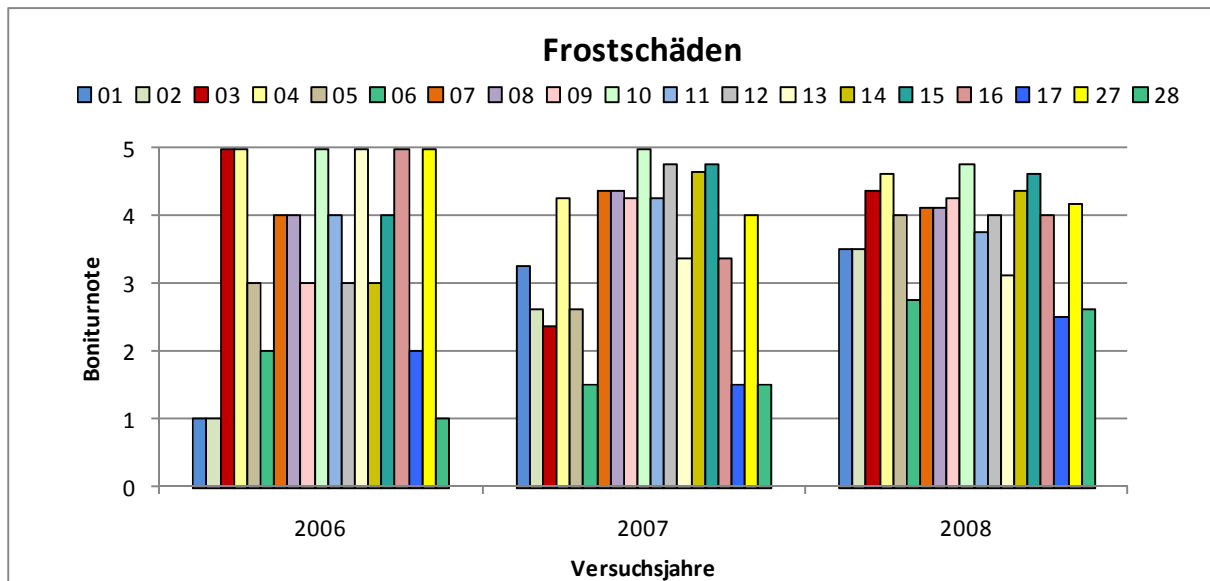


Abb. 47: Herkunftsvergleich: Mittlere Boniturnote für die Frostschäden an Efeu in Abhängigkeit von Herkunft und Jahr, Feldversuche Artern 2006 – 2008. Boniturnote 1=geringe Schäden. Boniturnote 5=starke Schäden.

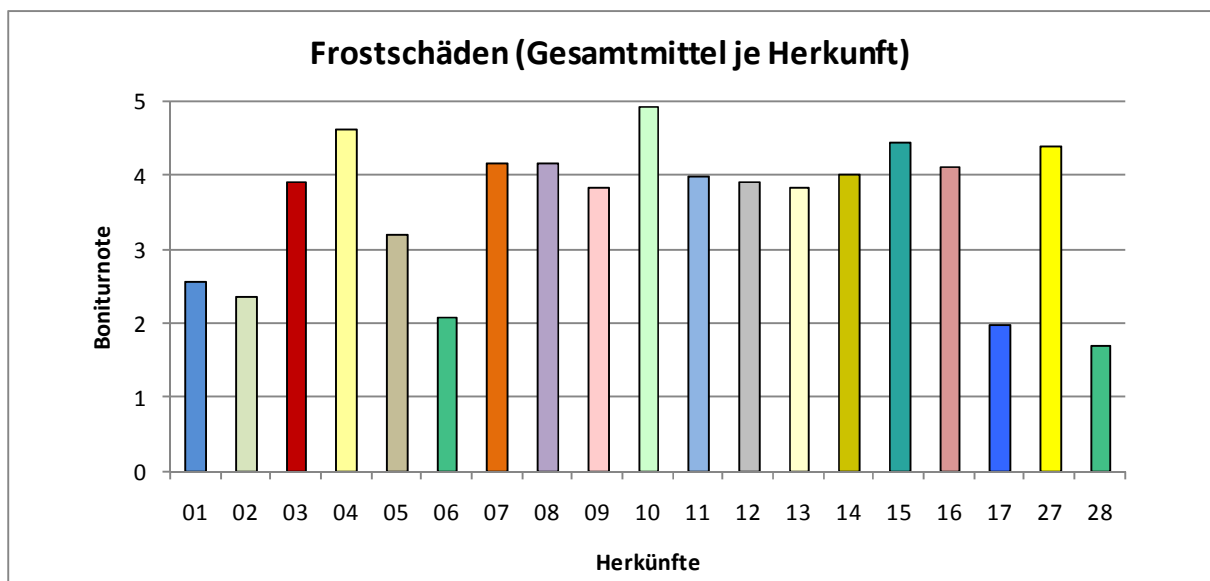


Abb. 48: Herkunftsvergleich: Mittlere Boniturnote für die Frostschäden je Efeu-Herkunft, Feldversuche Artern 2006 – 2008. Boniturnote 1=geringe Schäden. Boniturnote 5=starke Schäden.

Wie Abb. 48 zu entnehmen ist, waren die geringsten Schädigungen bei den Herkünften 06, 17 und 28 zu verzeichnen. Die empfindlichsten Linien waren die Herkünfte 04 (siehe auch Abb. 50), 10 (siehe auch Abb. 51), 15 und 27.



Abb. 49: Versuchsanlage im Mai 2008 (drittes Versuchsjahr). Bei den meisten Herkünften waren immense Winterschäden zu verzeichnen, während die Herkünfte 06, 17 und 28 vergleichsweise vital aus dem Winter hervorgegangen waren.



Abb. 50: Parzelle 4a (Herkunft 04, erste Wiederholung) des Herkunftsvergleichs Anfang Mai 2008 (drittes Versuchsjahr). Der Efeu ist nahezu vollständig abgestorben, Verunkrautung hat bereits eingesetzt. Eigenes Foto.



Abb. 51: Parzelle 10 d (Herkunft 10, vierte Wiederholung) des Herkunftsvergleichs Anfang Mai 2008 (drittes Versuchsjahr). Die Pflanzen der Herkunft 10 waren nach drei Wintern fast völlig abgestorben. Eigenes Foto.



Abb. 52: Parzelle 06 b (Herkunft 06, zweite Wiederholung) des Herkunftsvergleichs Anfang Mai 2008 (drittes Versuchsjahr). Winterschäden sind zwar sichtbar, aber alle Pflanzen der Parzelle sind noch vital. Eigenes Foto.



Abb. 53: Parzelle 17 a (Herkunft 17, erste Wiederholung) des Herkunftsvergleichs Anfang Mai 2008 (drittes Versuchsjahr). Winterschäden sind zwar sichtbar, aber alle Pflanzen der Parzelle sind noch vital. Eigenes Foto.



Abb. 54: Parzelle 28 b (Herkunft 28, zweite Wiederholung) des Herkunftsvergleichs Anfang Mai 2008 (drittes Versuchsjahr). Winterschäden sind zwar sichtbar, aber alle Pflanzen der Parzelle sind noch vital. Eigenes Foto.

4.1.3 BONITUR DER BIOMASSEENTWICKLUNG, ERTRÄGE UND EINTROCKNUNGSVERHÄLTNIS

BIOMASSEENTWICKLUNG

In der Bildung von Biomasse unterschieden sich die einzelnen Herkünfte relativ stark. Im Gesamtmittel lag der Boniturnote bei 2,6. Die niedrigsten Werte lagen bei 0,9 zu den beiden Ernteterminen im dritten Versuchsjahr bei der Herkunft 10. Die höchsten Werte traten bei den Herkünften 06 und 17 im zweiten und dritten Versuchsjahr auf. Die meisten Herkünfte bauten im Verlauf der drei Versuchsjahre deutlich ab (Abb. 55 und 56). Insgesamt waren die Bestände im Spätsommer deutlich üppiger als im Frühjahr (Abb. 55). Die Herkünfte 06 und 17 zeigten im zweiten und dritten Versuchsjahr mit Abstand die höchsten Werte. Vor der zweiten Ernte im dritten Versuchsjahr zeigte auch die Herkunft 28 relativ starke Biomasseentwicklung (Abb. 55).

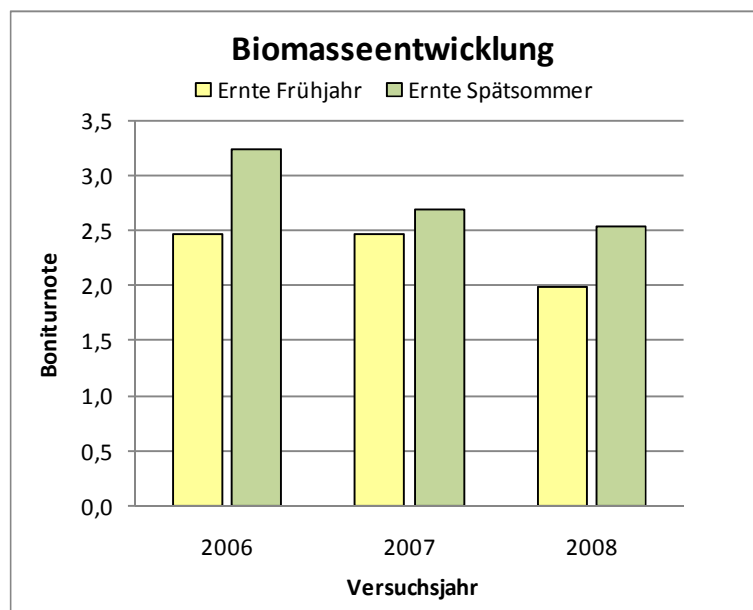


Abb. 55: Herkunftsvergleich: Mittlere Boniturnote für das Bilden von Biomasse in Abhängigkeit von Erntetermin und Jahr, Feldversuche Artern 2006 – 2008.
Boniturnote Note 1 = geringe Biomasseentwicklung, Note 5 = starke Biomasseentwicklung

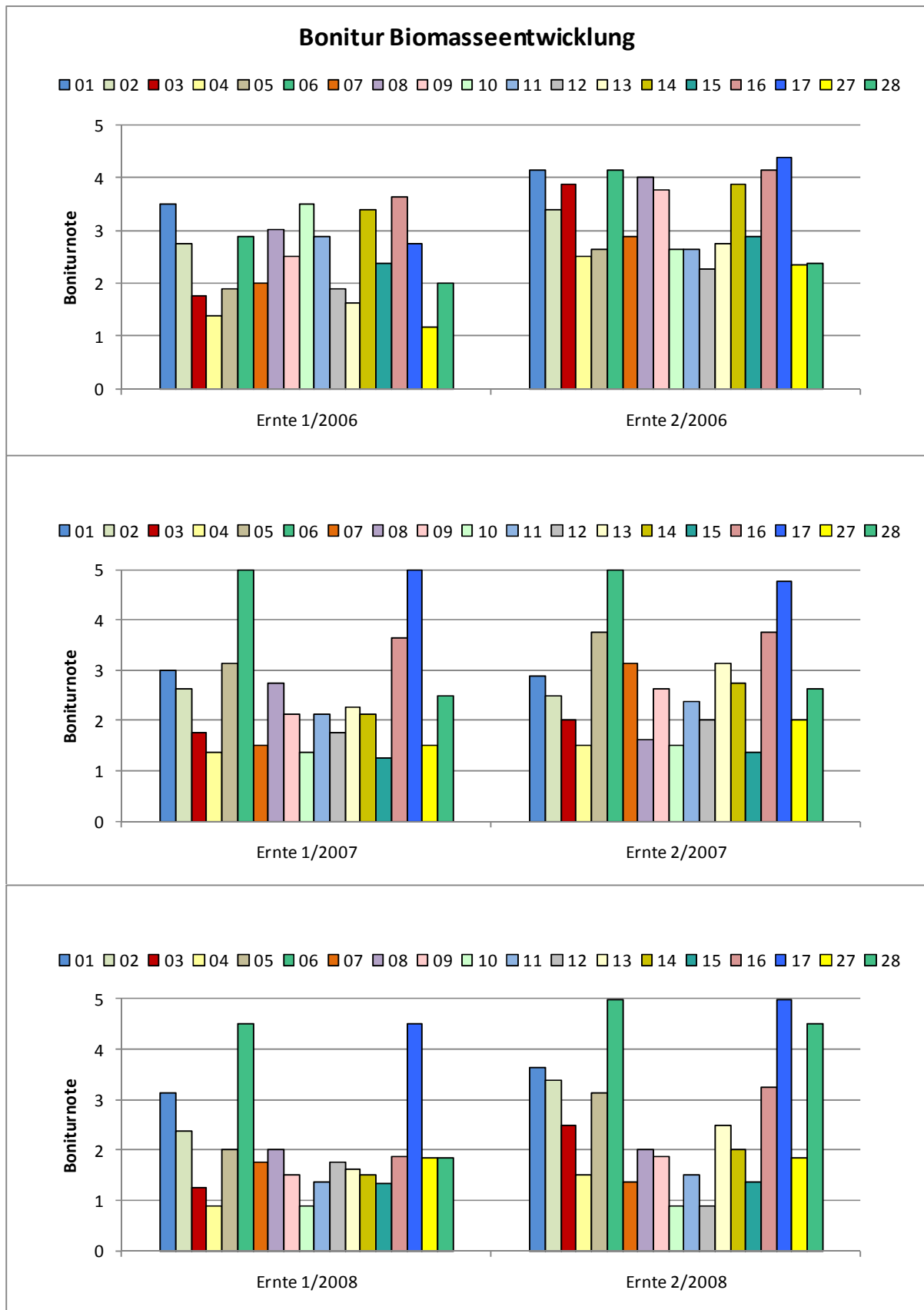


Abb. 56: Herkunftsvergleich: Mittlere Boniturnote für das Bilden von Biomasse in Abhängigkeit von Herkunft und Erntetermin, Feldversuche Artern 2006 – 2008. Boniturnote Note 1 = geringe Biomasseentwicklung, Note 5 = starke Biomasseentwicklung

BLATTERTRÄGE (TM)

Bei sämtlichen Ernteschnitten zeigte sich, dass die Herkunft einen sehr großen Einfluss auf die Ertragsleistung von Efeu hatte (zu allen sechs Erhebungszeitpunkten $p < 0,001$, Abb. 59). Der mittlere Jahresertrag an Blatttrockenmasse über alle Versuchsjahre, Wiederholungen und Herkünfte betrug $80,2 \text{ g/m}^2$. Mit Ausnahme der Linien 06 und 17 blieben alle Herkünfte in ihrer durchschnittlichen Ertragsleistung deutlich unter 150 g/m^2 . Mit Abstand die höchste Ertragsleistung trat bei den Herkünften 06 ($301,4 \text{ g/m}^2$) und 17 ($386,7 \text{ g/m}^2$) auf (Abb. 57).

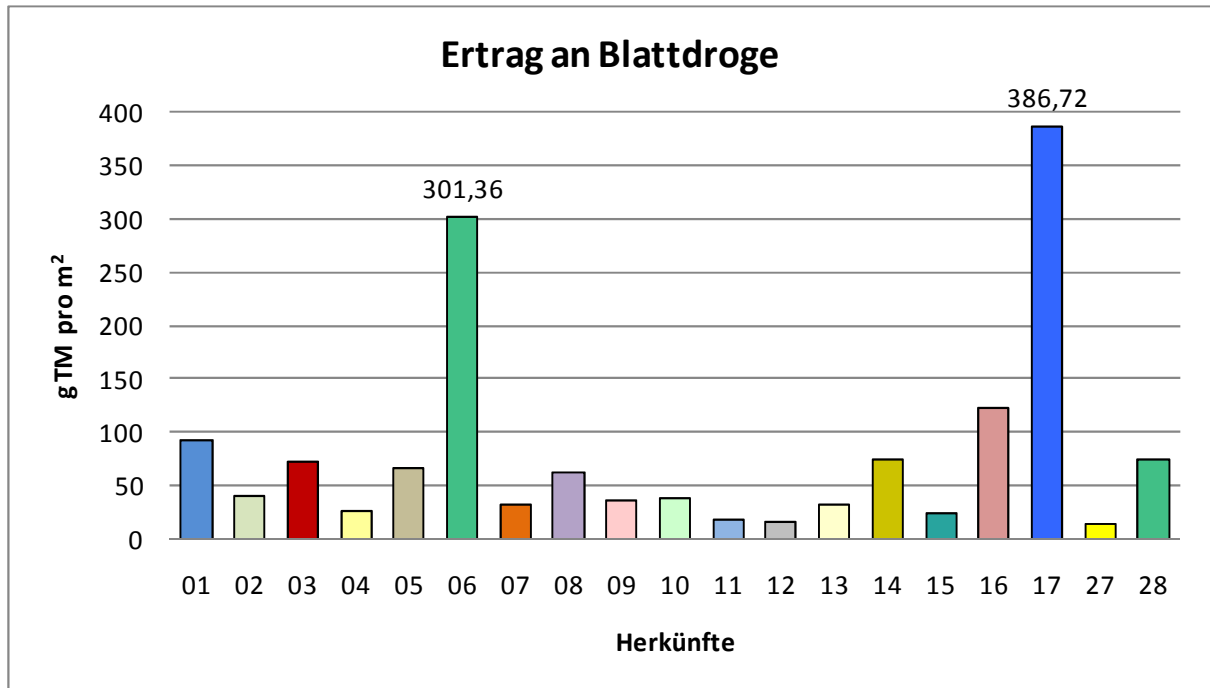


Abb. 57: Herkunftsvergleich: Mittlerer Jahresertrag (g TM/m²) an Efeu-Blattdroge je Herkunft, Feldversuche Artern 2006 – 2008

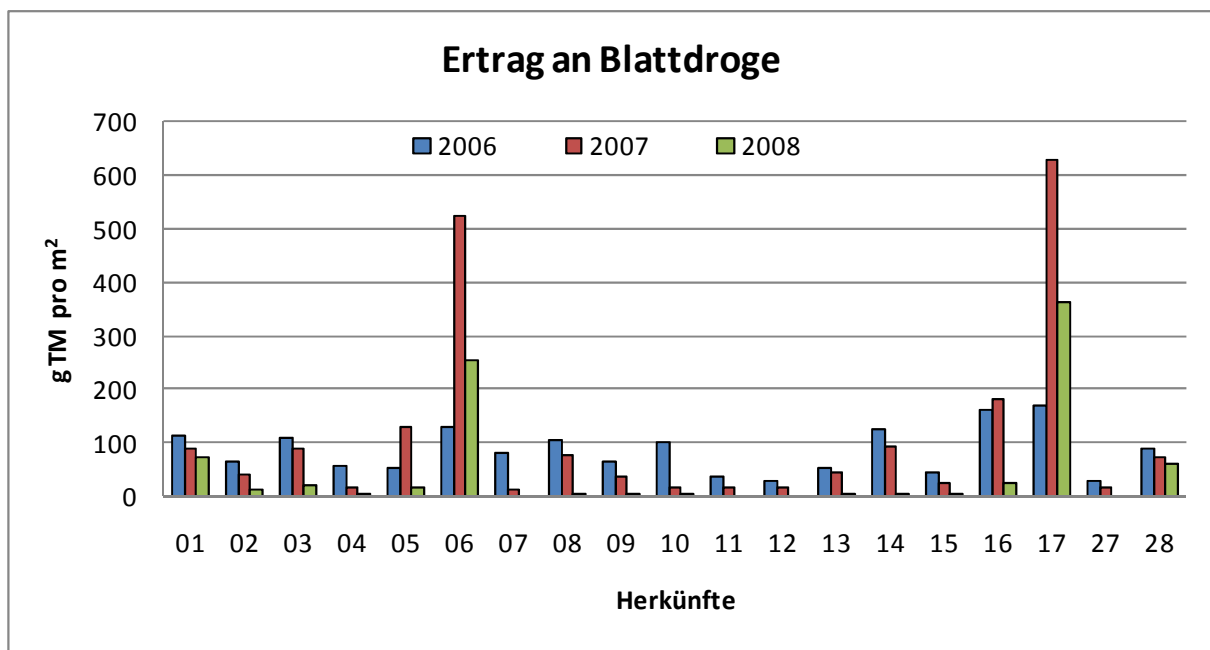


Abb. 58: Herkunftsvergleich: Ertrag an Efeu-Blattdroge (g TM/m²) je Herkunft, dargestellt als Ertragssumme je Versuchsjahr. Feldversuche Artern 2006 – 2008.

Die jährliche Ertragsleistung sank bei den meisten Herkünften im Verlauf der drei Versuchsjahre (Abb. 58). Bei den Herkünften 05, 06, 16 und 17 wurde das Ertragsmaximum im zweiten Versuchsjahr erreicht und nur bei den Herkünften 06 und 17 lag die Ertragsleistung des dritten Versuchsjahres noch über jener des ersten (Abb. 58).

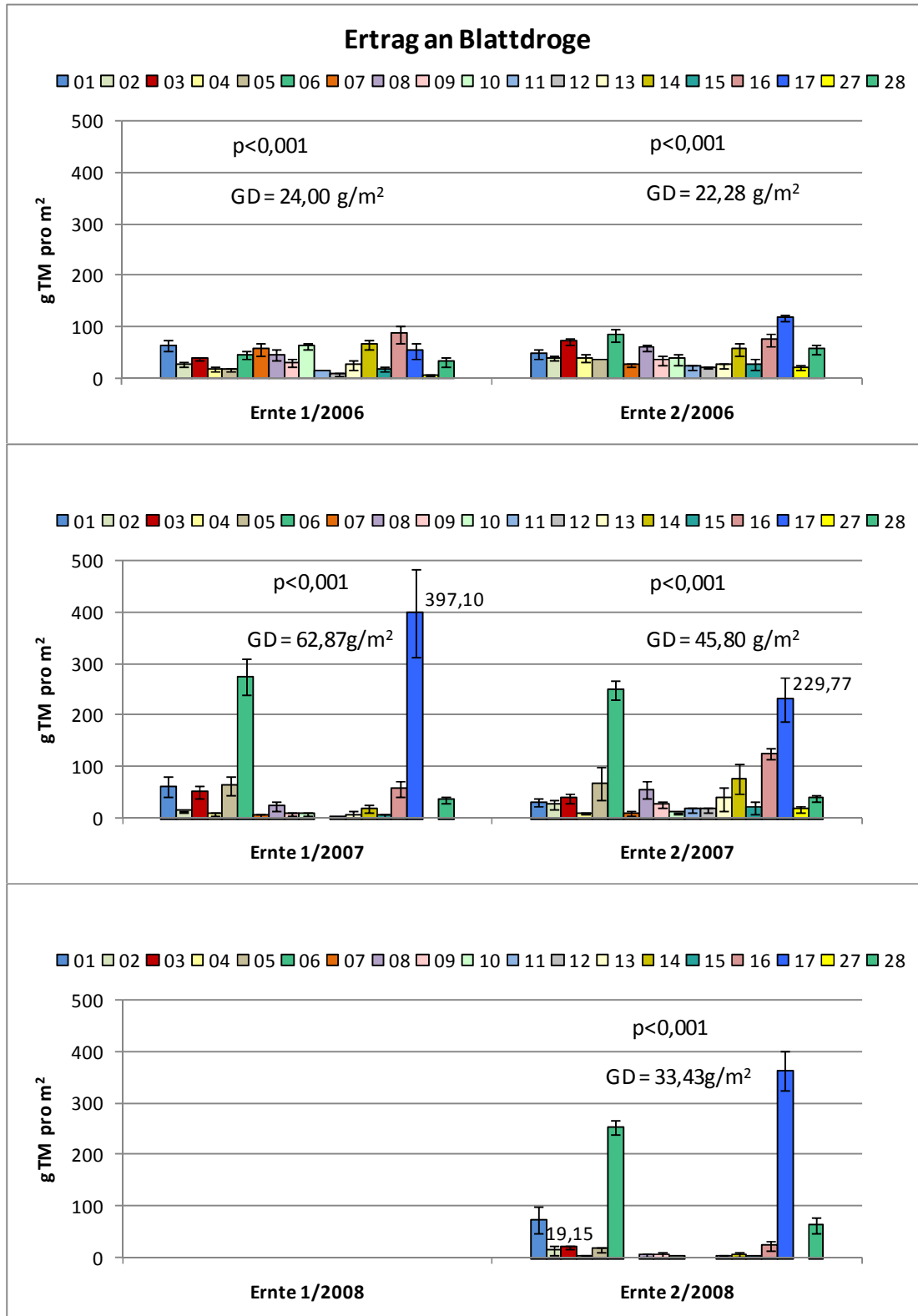


Abb. 59: Herkunftsvergleich: Mittlerer Ertrag an Efeu Blattdroge (g TM/m²) in Abhängigkeit von Herkunft und Erntetermin, Feldversuche Artern 2006 – 2008. p = Signifikanzwert. T= Standardfehler. GD = Grenzdifferenz (5 %).

Im ersten Versuchsjahr 2006 streuten die Ertragsresultate nur wenig und gruppieren sich relativ eng um den Gesamtmittelwert von 48,1 g/m². Das Gros der Herkünfte zeigte vom ersten zum zweiten Versuchsjahr stagnierende bis sinkende Erträge, während die Herkünfte 06 und 17 einen enormen Ertragszuwachs verzeichneten. Die Erträge dieser beiden Herkünfte lagen im zweiten Versuchsjahr 2007 zwischen 230 g Blattdroge/m² und 397 g Blattdroge/m² (Abb. 59).

Zum ersten Schnitttermin im dritten Versuchsjahr waren die meisten Bestände so gering entwickelt, dass auf die Ernte verzichtet wurde. Daher fand 2008 nur eine einzige Ernte zum zweiten Schnitttermin (Spätsommer) statt. Lediglich die Herkünfte 06 und 17 erreichten im dritten Versuchsjahr noch relativ hohe Erträge von 252 g (Herkunft 06) bis 363 (Herkunft 17) g Blattdroge/m². Weitaus weniger Ertrag erbrachten die Herkünfte 28 und 01 (62 bzw. 73 g/m²). Alle anderen Herkünfte hatten im dritten Versuchsjahr nur noch eine sehr geringe Ertragsleistung von weniger als 20 g/m² (Abb. 59).

EINTROCKNUNGSVERHÄLTNIS DER BLÄTTER

Lediglich bei einer von fünf Ernten zeigte sich ein Zusammenhang zwischen Herkunft und Eintrocknungsverhältnis ($p = 0,044$ bei der zweiten Ernte im dritten Versuchsjahr 2008). Insgesamt wirkte sich die Herkunft nur wenig auf das Eintrocknungsverhältnis der Blätter aus.

Der Gesamtmittelwert lag bei 1 : 3. Die Werte streuten nur wenig und lagen zwischen 1 : 2,46 (Herkunft 05, erste Ernte 2006) und 1 : 4,73 (Herkunft 02, zweite Ernte 2007). Deutliche Einflüsse von Erntetermin, Jahr und Herkunft waren nicht zu erkennen. Vereinzelt gab es zwar Ausreißer. Diese sind jedoch auf die extrem niedrigen Erträge und die damit verbundene Rechenungenauigkeit zurückzuführen (Abb. 60).

ERTRAG STIELFRAKTION TM

Der Ertrag an Stielfraktion (TM) unterlag einem deutlichen Einfluss der Herkunft. Nur in einer (erste Ernte im ersten Versuchsjahr 2006) von fünf durchgeführten Ernten unterschieden sich die Erträge an Stielfraktion (Sprossachsen ohne Blätter und Blattstiele) der 19 geprüften Herkünfte nicht signifikant von einander. Bei allen anderen Ernten traten deutliche Unterschiede auf ($p < 0,001$). In ihrem relativen Verhältnis zueinander ähnelten die Erträge an Stielfraktion (Abb. 61) jenen an Blattdroge. (Abb. 59).

Im Gesamtmittel je Ernteschnitt lag der Ertrag an getrockneter Stielfraktion bei 18 g/m². Im ersten Versuchsjahr unterschieden sich die Erträge an Stielfraktion noch nicht signifikant voneinander, während in den Folgejahren die Herkünfte 06 und 17 sehr deutlich hervorstachen. Im Verlauf der drei Versuchsjahre nahmen die Erträge der meisten Herkünfte ab. Lediglich die Linien 01, 06, 17 und 28 zeigten konstante, bzw. steigende Erträge. Mit großem Abstand die höchsten Erträge an Stielfraktion erzielten die Herkünfte 06 und 17, die im dritten Versuchsjahr 194 und 229 g/ m² abwarfen (Abb. 61).

Der durchschnittliche Jahresertrag an Stielfraktion lag im Gesamtmittel über alle drei Versuchsjahre bei 30,02 g/m². Die Herkünfte 06 und 17 lagen mit 135,83 und 170,12 g/m² deutlich darüber. Die meisten Herkünfte wiesen Werte von weniger als 20 g/ m² auf (Abb. 62).

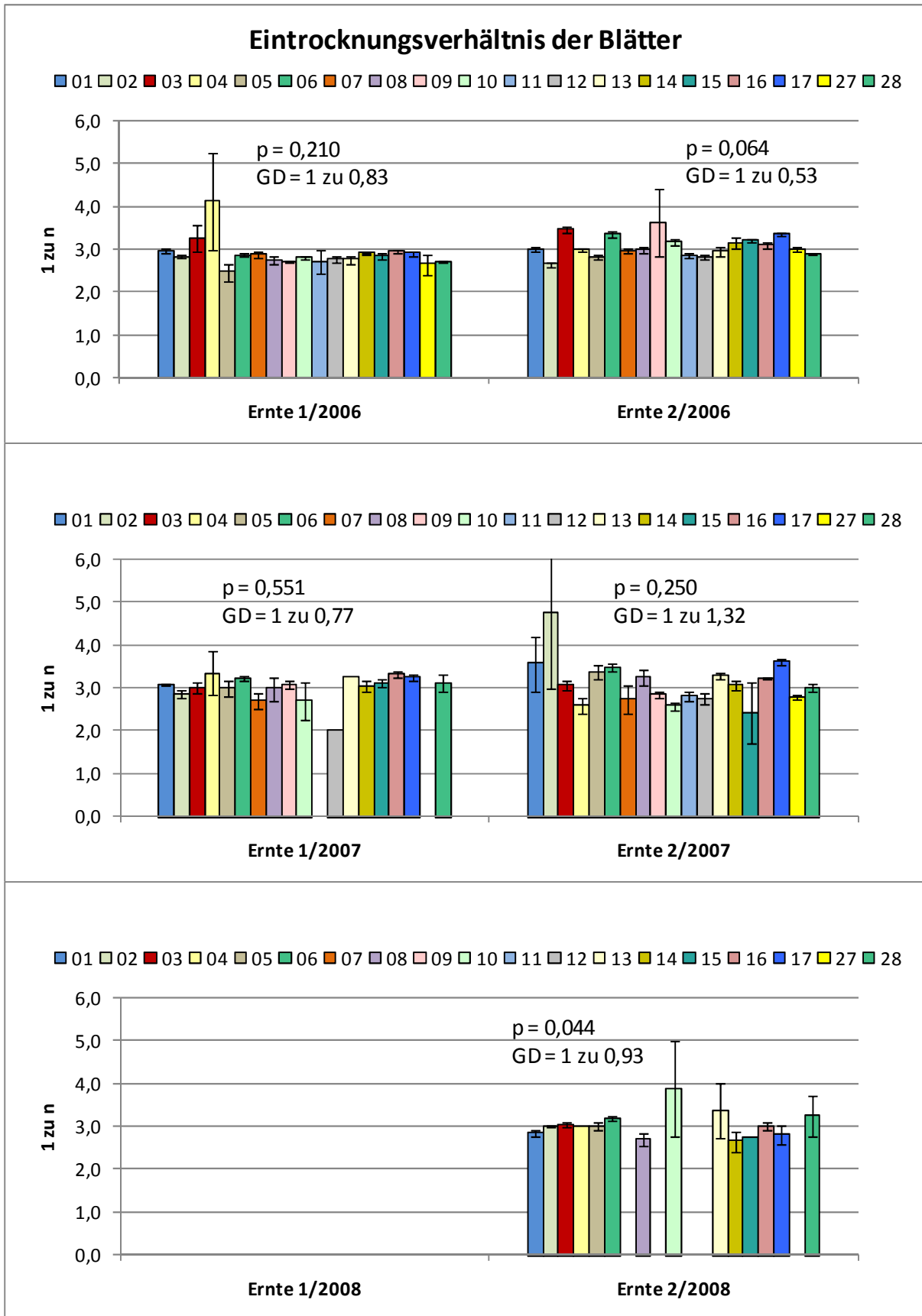


Abb. 60: Herkunftsvergleich: Mittleres Eintrocknungsverhältnis von Efeublättern (1 zu n) in Abhängigkeit von Herkunft und Erntetermin, Feldversuche Artern 2006 – 2008. p = Signifikanzwert. T= Standardfehler. GD = Grenzdifferenz (5 %).

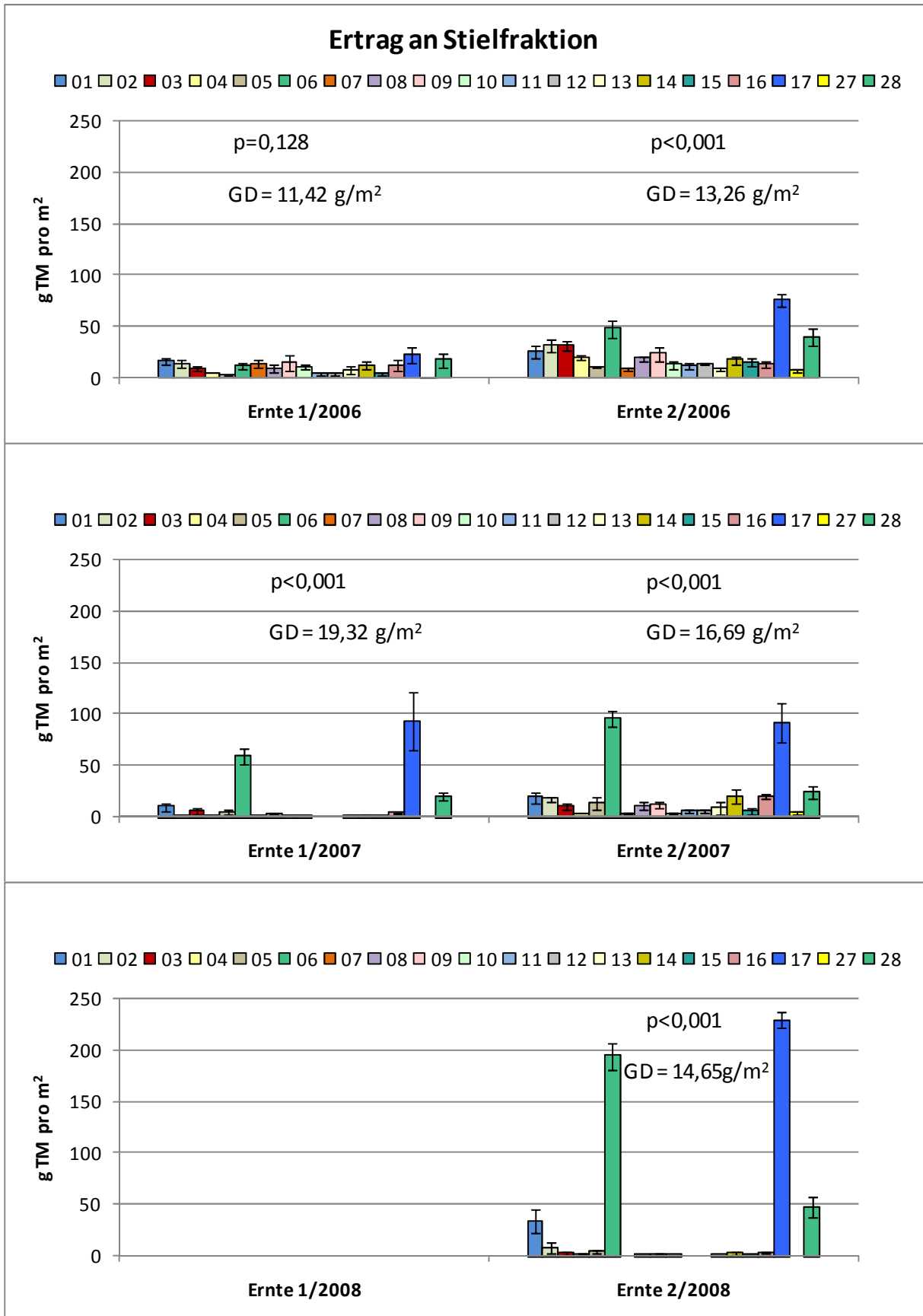


Abb. 61: Herkunftsvergleich: Mittlerer Ertrag der Stiefelfraktion (Sprossachsen ohne Blätter und Blattstiele) von Efeu (1 zu n) in Abhängigkeit von Herkunft und Erntetermin, Feldversuche Artern 2006 – 2008. p = Signifikanzwert. T= Standardfehler. GD = Grenzdifferenz (5 %).

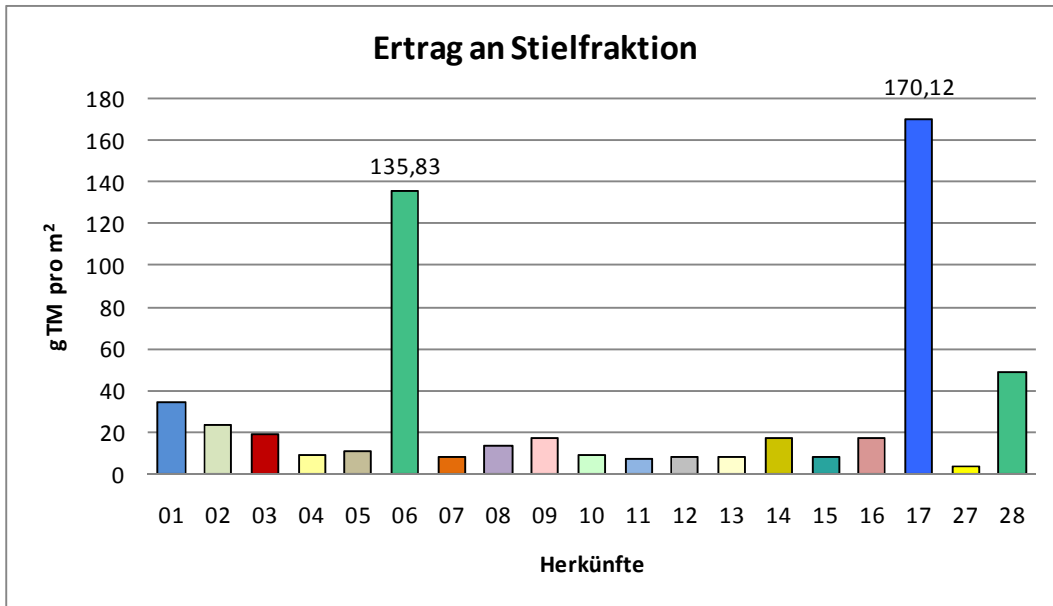


Abb. 62: Herkunftsvergleich: Mittlerer Jahresertrag (g TM/m²) an Efeu-Stiefraction (Sprossachsen ohne Blätter und Blattstiele) je Herkunft, Feldversuche Artern 2006 – 2008

Bei den Herkünften 06 und 17 nahm der Ertrag an Stiefraction im Verlauf der drei Versuchsjahre zu, während er bei den meisten anderen Herkünften abnahm. Die Herkünfte 01 und 28 erbrachten in den drei Versuchsjahren relativ konstante Stielerträge mit einer nur leicht abnehmenden Tendenz (Abb. 63).

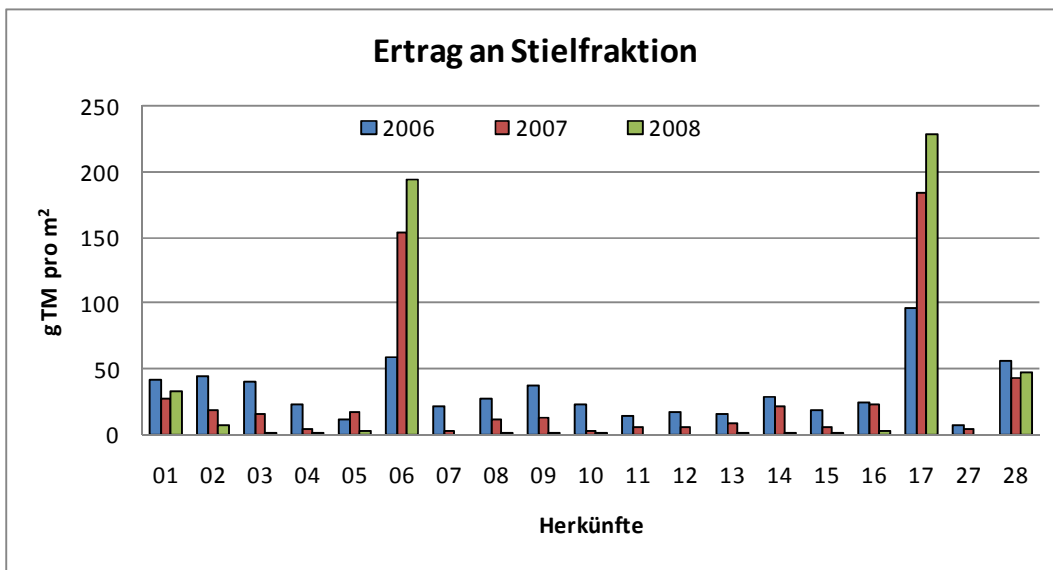


Abb. 63: Herkunftsvergleich: Mittlerer Jahresertrag (g TM/m²) an Efeu-Stiefraction (Sprossachsen ohne Blätter und Blattstiele) je Herkunft, dargestellt als Ertragssumme je Versuchsjahr, Feldversuche Artern 2006 – 2008.

EINTROCKNUNGSVERHÄLTNIS DER STIELFRAKTION

Das Eintrocknungsverhältnis der Stiefraction in zwei von fünf Ernten (Spätsommerernte im ersten Versuchsjahr 2006 und Spätsommerernte im dritten Versuchsjahr 2007) wird signifikant von der Herkunft beeinflusst (Abb. 64). Dabei ist allerdings zu berücksichtigen, dass die Stielerträge in den meisten Fällen sehr gering waren, was eine entsprechende Ungenauigkeit bei der Ermittlung des

Eintrocknungsverhältnisses nach sich zog. Der Gesamtmittelwert lag bei 1 : 3,9 und die Werte bewegten sich zwischen 1 : 1,6 und 1 : 14,3.

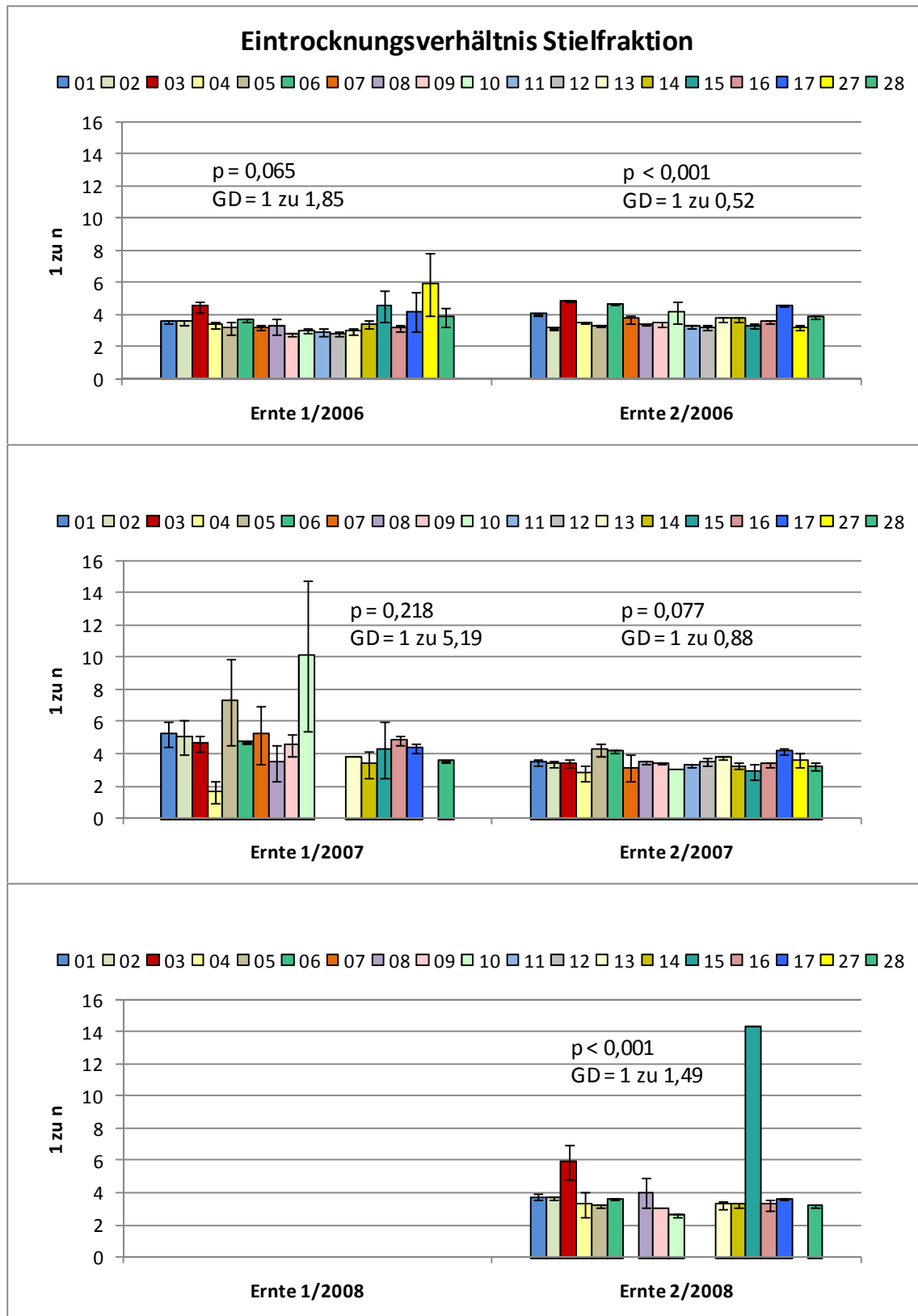


Abb. 64: Herkunftsvergleich: Mittleres Eintrocknungsverhältnis (1 zu n) der Efeu-Stielfraktion (Sprossachsen ohne Blätter und Blattstiele) in Abhängigkeit von Herkunft und Erntetermin, Feldversuche Artern 2006 – 2008. p = Signifikanzwert. T= Standardfehler. GD = Grenzdiffferenz (5 %).

RELATIVER ANTEIL DER STIELFRAKTION AN HERBA TM

Die Ergebnisse aller fünf Ernten zeigen, dass die Herkunft einen signifikanten Einfluss auf den relativen Stielanteil in der Herba hatte ($p < 0,001$, Abb. 67). Insgesamt schwankte der Anteil der Stielfraktion an der Herba sehr stark. Stets war er bei der Spätsommerernte höher als bei der Frühjahrsernte. Über alle Herkünfte hinweg betrachtet, waren die Werte bei den Spätsommerernten in etwa doppelt so hoch wie im Frühjahr (Abb. 65)

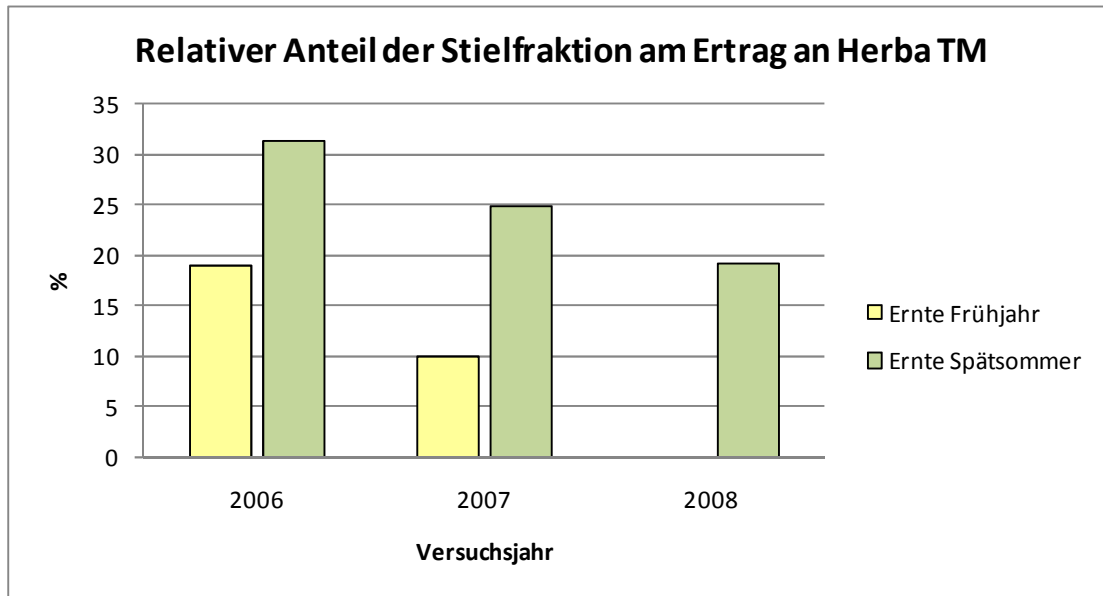


Abb. 65: Herkunftsvergleich: Mittlerer relativer Anteil der Stielfraktion (Sprossbestandteile ohne Blätter und Blattstiele) am Gesamtertrag an Efeu Herba in Abhängigkeit von Erntetermin und Jahr, Feldversuche Artern 2006 – 2008.

Bei den meisten Herkünften zeigte sich der niedrigste Stielanteil im zweiten Versuchsjahr 2007. Vor allem bei den ertragreichsten Herkünften 06 und 17 traten mit Abstand die höchsten Anteile an Stielfraktion im dritten Versuchsjahr 2008 auf (43,41 % TM und 39,06 % TM). Aber auch die Herkunft 28 (Adultform) wies mit 39,20 % TM im dritten Versuchsjahr sehr hohe Stielanteile auf (Abb. 66).

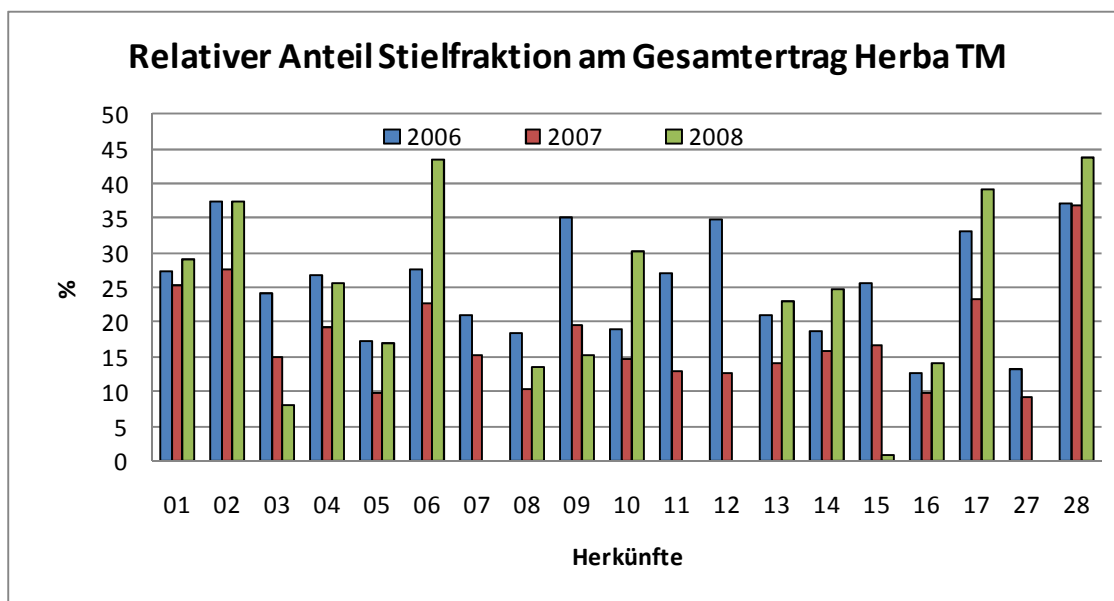


Abb. 66: Herkunftsvergleich: Mittlerer relativer Anteil der Stielfraktion (Sprossbestandteile ohne Blätter und Blattstiele) am Gesamtertrag an Efeu Herba, dargestellt als Jahresmittelwert je Herkunft, Feldversuche Artern 2006 – 2008.

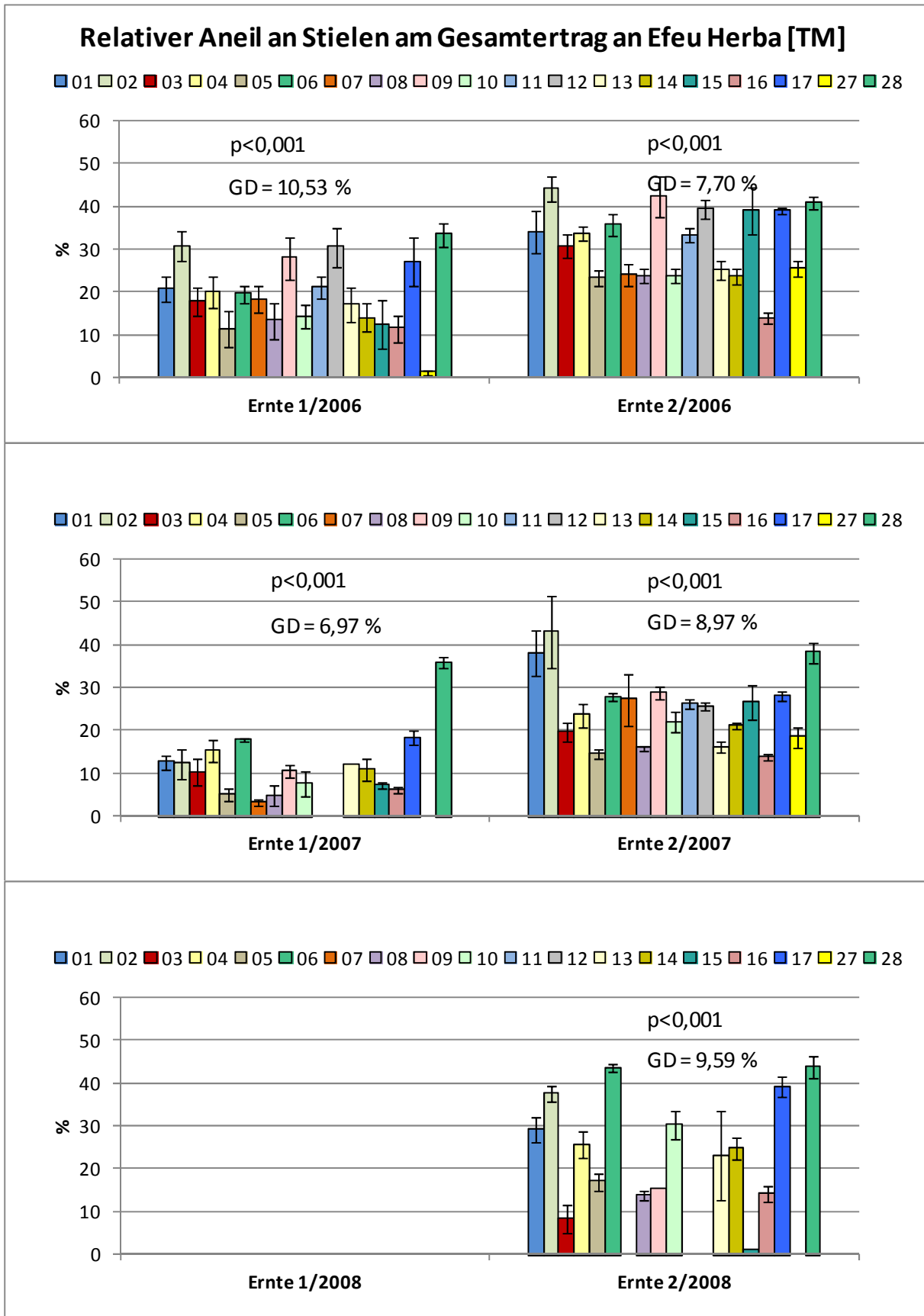


Abb. 67: Herkunftsvergleich: Mittlerer relativer Anteil der Stielfraktion (Sprossbestandteile ohne Blätter und Blattstiele) in Abhängigkeit von Herkunft und Erntetermin, Feldversuche Artern 2006 – 2008. p = Signifikanzwert. T= Standardfehler. GD = Grenzdiffferenz (5 %).

Der Anteil an Stielfraktion lag im Gesamtmittel bei 22,27 % TM und bewegte sich zwischen 1,14 % TM (Herkunft 27, Frühjahrsernte im ersten Versuchsjahr 2006) und 43,68 % TM (Herkunft 28, Spätsommerernte im dritten Versuchsjahr 2008).

Tendenziell nahm der relative Anteil der Stielfraktion am Gesamtertrag mit zunehmendem Ertrag an Blattdroge ebenfalls zu. Dies fiel besonders bei der letzten Ernte (Spätsommerernte 2008) auf, als die Blatterträge bei den meisten Herkünften bereits stark zurückgegangen waren. Hier war in den meisten Fällen auch der Stielanteil ziemlich niedrig, wohingegen die Linien 06 und 17 und 28, welche zu diesem Zeitpunkt nachwievor die höchsten Blatterträge lieferten, relativ hohe Stielanteile von etwa 40 % TM aufwiesen (Abb. 59 und 67). Dies ist hauptsächlich darauf zurückzuführen, dass bei konstanter Schnitthöhe und schlecht entwickelten Beständen überwiegend Blattanteile und weniger Stielanteile geerntet werden. Besonders im dritten Versuchsjahr waren die meisten Bestände aufgrund des geringen Zuwachses im Prinzip nicht mehr erntewürdig.

4.1.4 INHALTSSTOFFE

HEDERACOSID C IN DER BLATTDROGE

Der Gehalt an Hederacosid C in der Blattdroge lag im Gesamtmittel bei 10,09 % TM. Bei sämtlichen Ernten zeigte sich ein signifikanter Einfluss der Herkunft auf den Gehalt an Hederacosid C. Die Werte bewegten sich zwischen 6,14 % TM (Herkunft 14, Frühjahrsernte im zweiten Versuchsjahr 2007) und 14,9 % TM (Herkunft 06, Spätsommerernte im dritten Versuchsjahr 2008, Abb. 68).

Im ersten Versuchsjahr wurden insgesamt die höchsten Hederacosid C-Gehalte erreicht. Mit durchschnittlich 12,05 % TM (Mittelwert über alle Herkünfte in der ersten Ernte des ersten Versuchsjahres 2006) wurden hier im Frühjahr höhere Gehalte erzielt als im Spätsommer (10,72 % TM). Die Hederacosid C Gehalte waren jedoch nicht generell im Frühjahr höher als im Spätsommer (Frühjahr 2007: 8,12 % TM; Spätsommer 2007: 8,89 % TM; Spätsommer 2008: 10,42 % TM).

Im Versuchsjahr 2007 blieben die Hederacosid-C-Werte bei allen Herkünften am niedrigsten. Mit Ausnahme der Herkünfte 06, 17 und 28, die ihr Maximum im letzten Versuchsjahr 2008 erreichten, traten die höchsten Hederacosid-C-Gehalte aller anderen Herkünfte im ersten Versuchsjahr 2006 auf. (Abb. 69).

Die höchsten Hederacosid-C-Gehalte wurden bei den Herkünften 06 (12,38 % TM), 17 (11,32 % TM) und 28 (11,00 % TM) erreicht (Abb. 70). Herkunft 06 zeigte mit 14,90 % TM Hederacosid C im dritten Versuchsjahr sogar die höchsten Werte des gesamten Versuchs (Abb. 68).

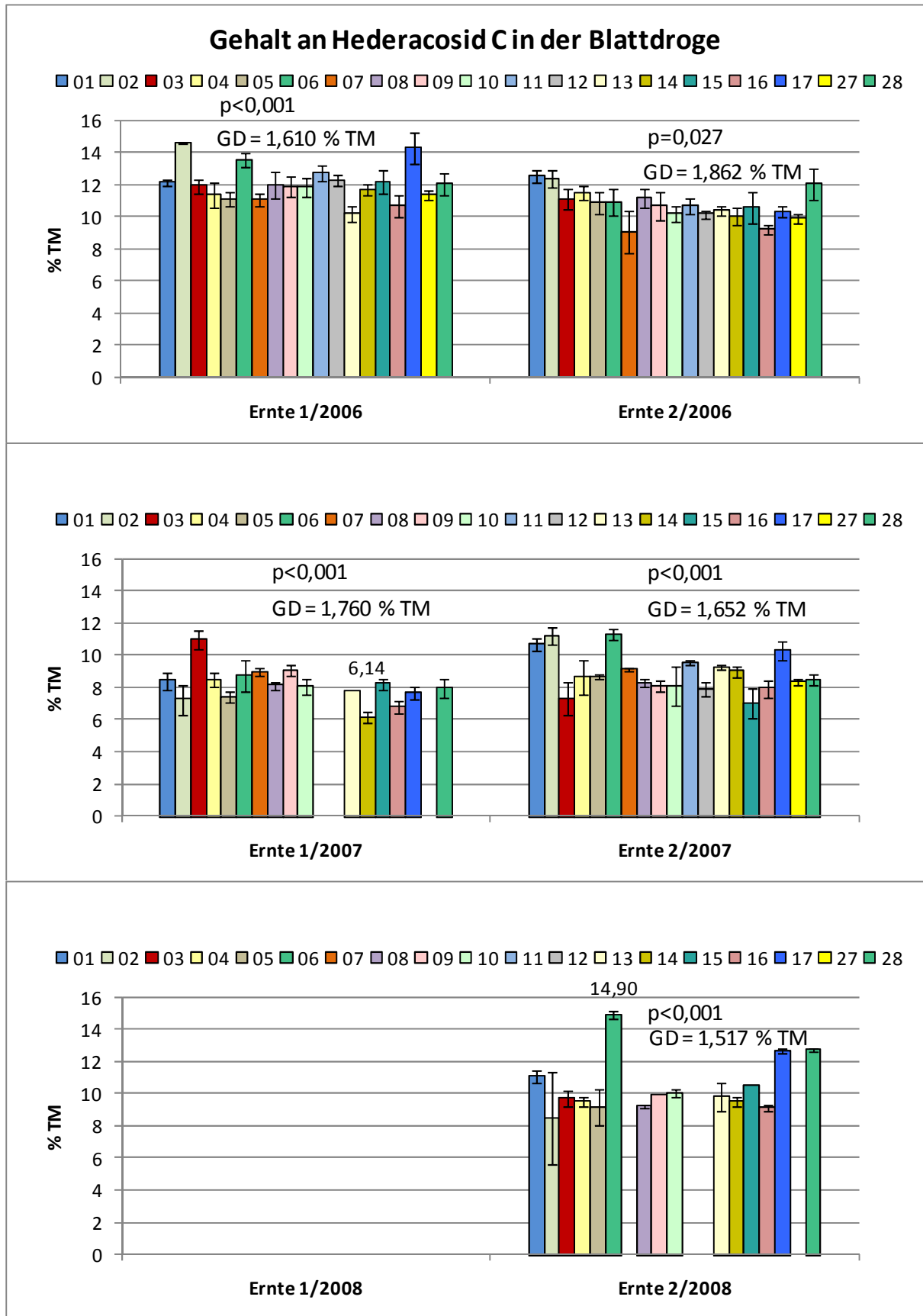


Abb. 68: Herkunftsvergleich: Mittlerer Hederacosid-C-Gehalt (% TM) in Abhängigkeit von Herkunft und Erntetermin, Feldversuche Arten 2006 – 2008. p = Signifikanzwert. T= Standardfehler. GD = Grenzdifferenz (5 %).

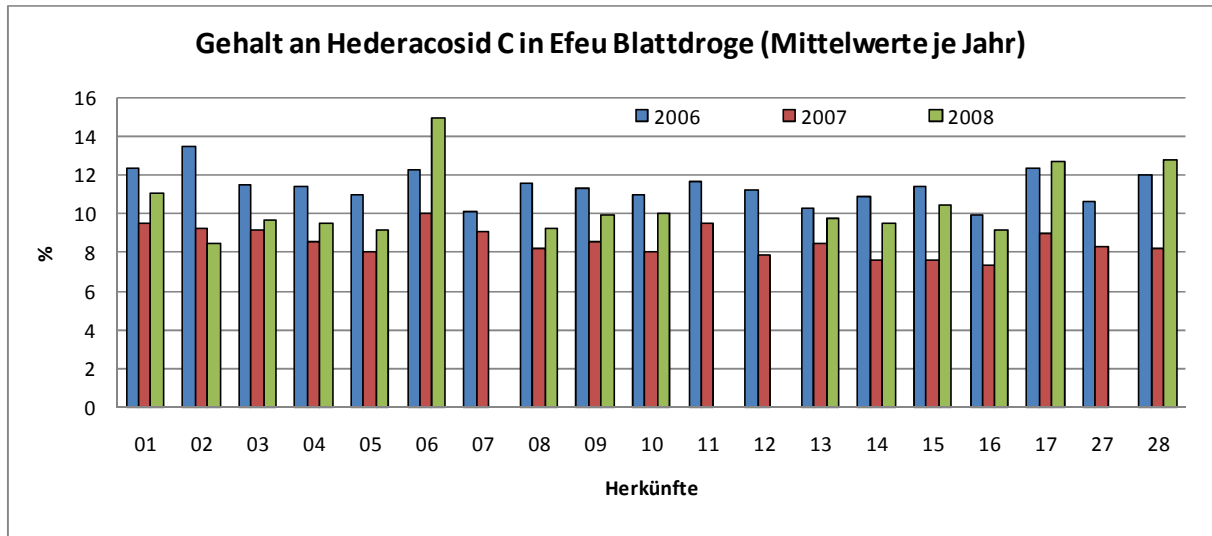


Abb. 69: Herkunftsvergleich: Mittlerer Hederacosid-C-Gehalt in den Efeu-Blättern, dargestellt als Jahresmittelwert je Herkunft, Feldversuche Artern 2006 – 2008.

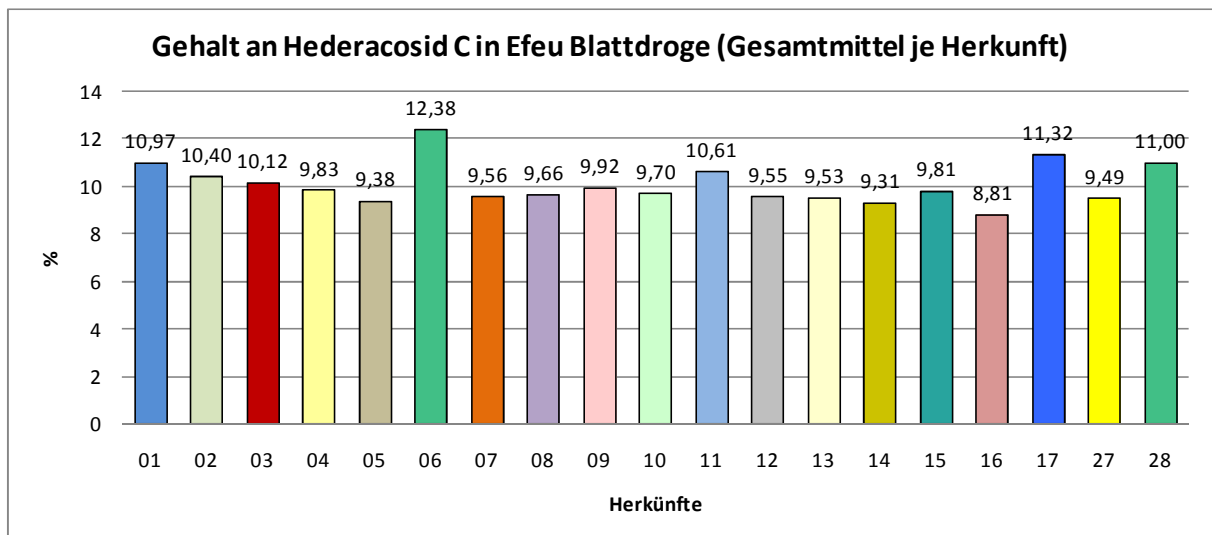


Abb. 70: Herkunftsvergleich: Mittlerer Hederacosid-C-Gehalt in den Efeublättern (% TM) je Herkunft, Feldversuche Artern 2006 – 2008

α -HEDERIN IN DER BLATTDROGE

Die α -Hederin-gehalte der Blattdroge unterlagen einer starken Variation. Der Gesamtmittelwert lag bei 0,18 % TM. In einigen Proben konnte in der Blattdroge überhaupt kein α -Hederin nachgewiesen werden, während in anderen Fällen die Werte auf bis zu 0,8 % TM stiegen (Herkunft 10, Spätsommerernte im zweiten Versuchsjahr 2007). Außer in der ersten Ernte des zweiten Versuchsjahres 2007, bei der der Wert der Herkunft 01 mit 0,19 % TM deutlich höher war als bei allen anderen Herkünften, zeigte sich kein signifikanter Einfluss der Herkunft auf den α -Hederin-Gehalt in der Blattdroge. Im Allgemeinen waren die α -Hederin-Gehalte im Spätsommer höher als im Frühjahr (Abb. 71).

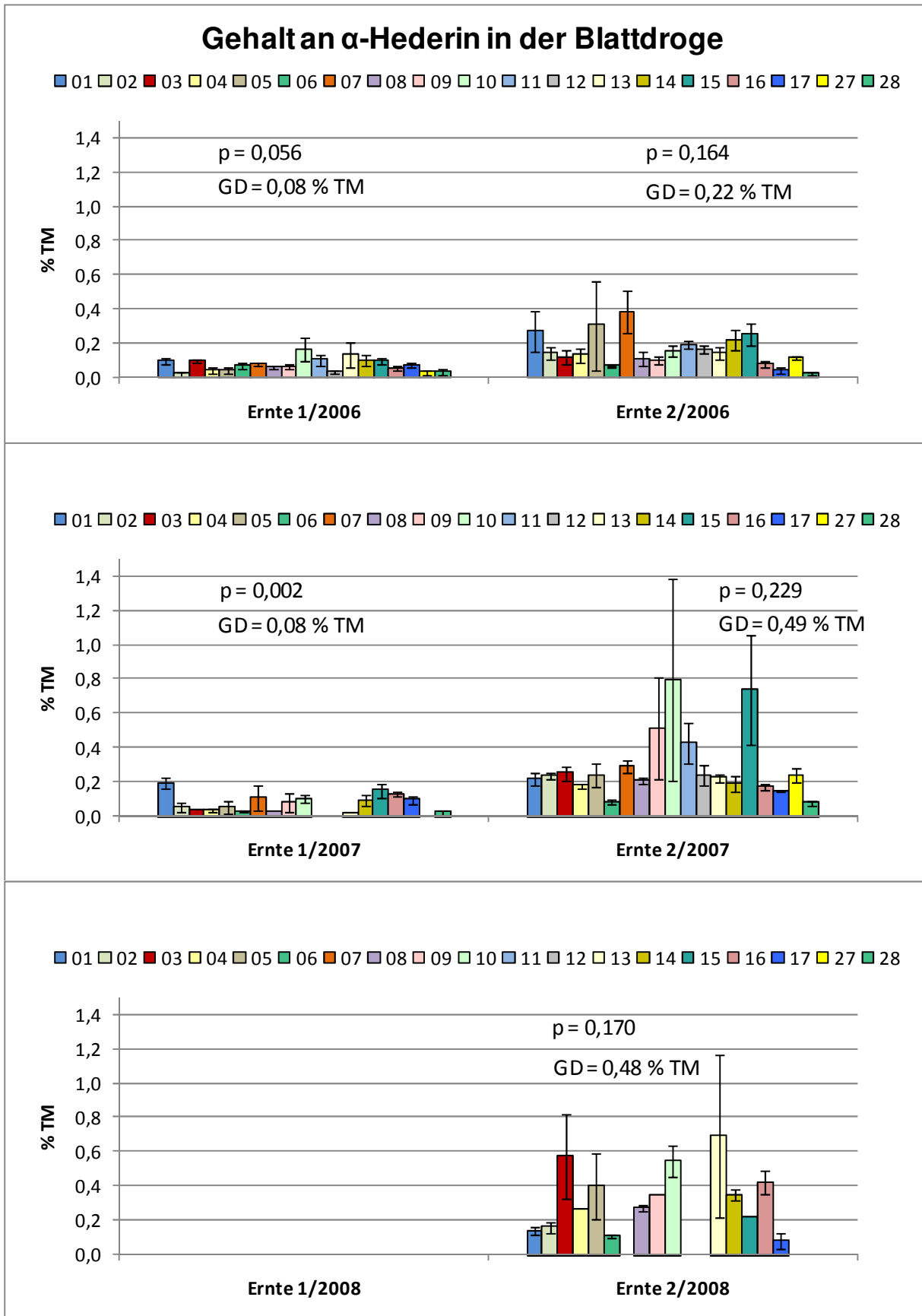


Abb. 71: Herkunftsvergleich: Mittlerer α -Hederin-Gehalt in den Efeublättern (% TM) in Abhängigkeit von Herkunft und Erntetermin, Feldversuche Artern 2006 – 2008. p = Signifikanzwert. T= Standardfehler. GD = Grenzdifferenz (5 %).

Die meisten Herkünfte zeigten im ersten Versuchsjahr die niedrigsten α -Hederin-Gehalte und im dritten Versuchsjahr die höchsten (Abb. 72). Mit Abstand die niedrigsten Werte (Gesamtmittelwert über alle Ernten) traten mit 0,08 % TM, 0,09 % TM und 0,03 % TM bei den Herkünften 06, 17 und 28 auf (Abb. 73).

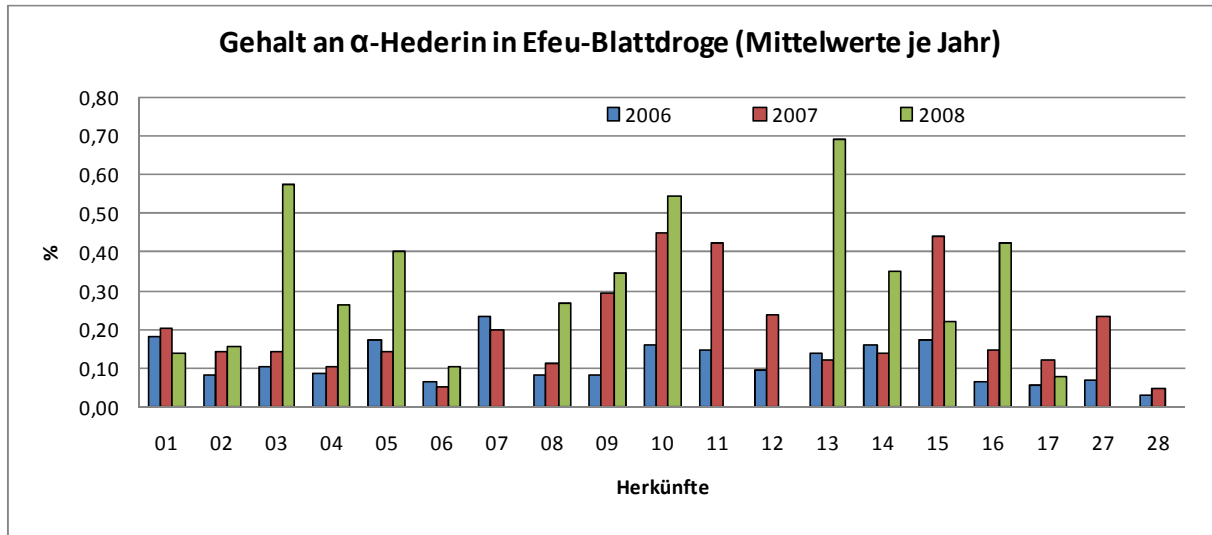


Abb. 72: Herkunftsvergleich: Mittlerer α -Hederin-Gehalt in den Efeu-Blättern (% TM), dargestellt als Jahresmittelwert je Herkunft, Feldversuche Artern 2006 – 2008.

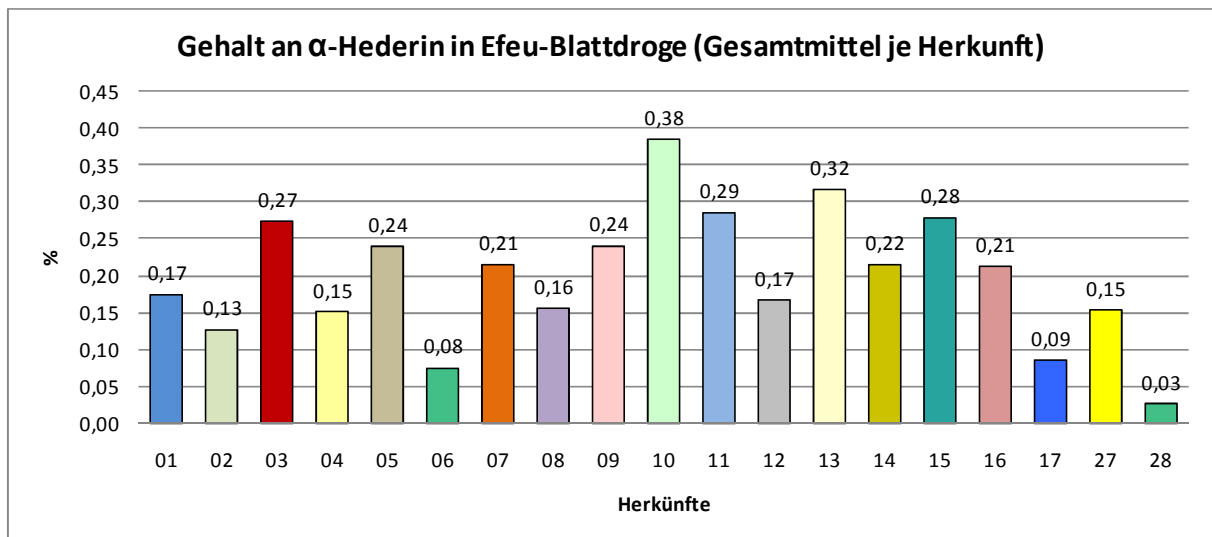


Abb. 73: Herkunftsvergleich: Mittlerer α -Hederin-Gehalt in den Efeublättern (% TM) je Herkunft, Feldversuche Artern 2006 – 2008

CHLOROGENSÄURE IN DER BLATTDROGE

Im Gesamtmittel des Herkunftsvergleichs lag der Chlorogensäuregehalt in der Efeu-Blattdroge bei 2,48 % TM. Die Werte bewegten sich zwischen 1,44 % TM (Herkunft 01; Frühjahrsernte im ersten Versuchsjahr 2006) und 4,30 % TM (Herkunft 16; Spätsommerernte im zweiten Versuchsjahr 2007).

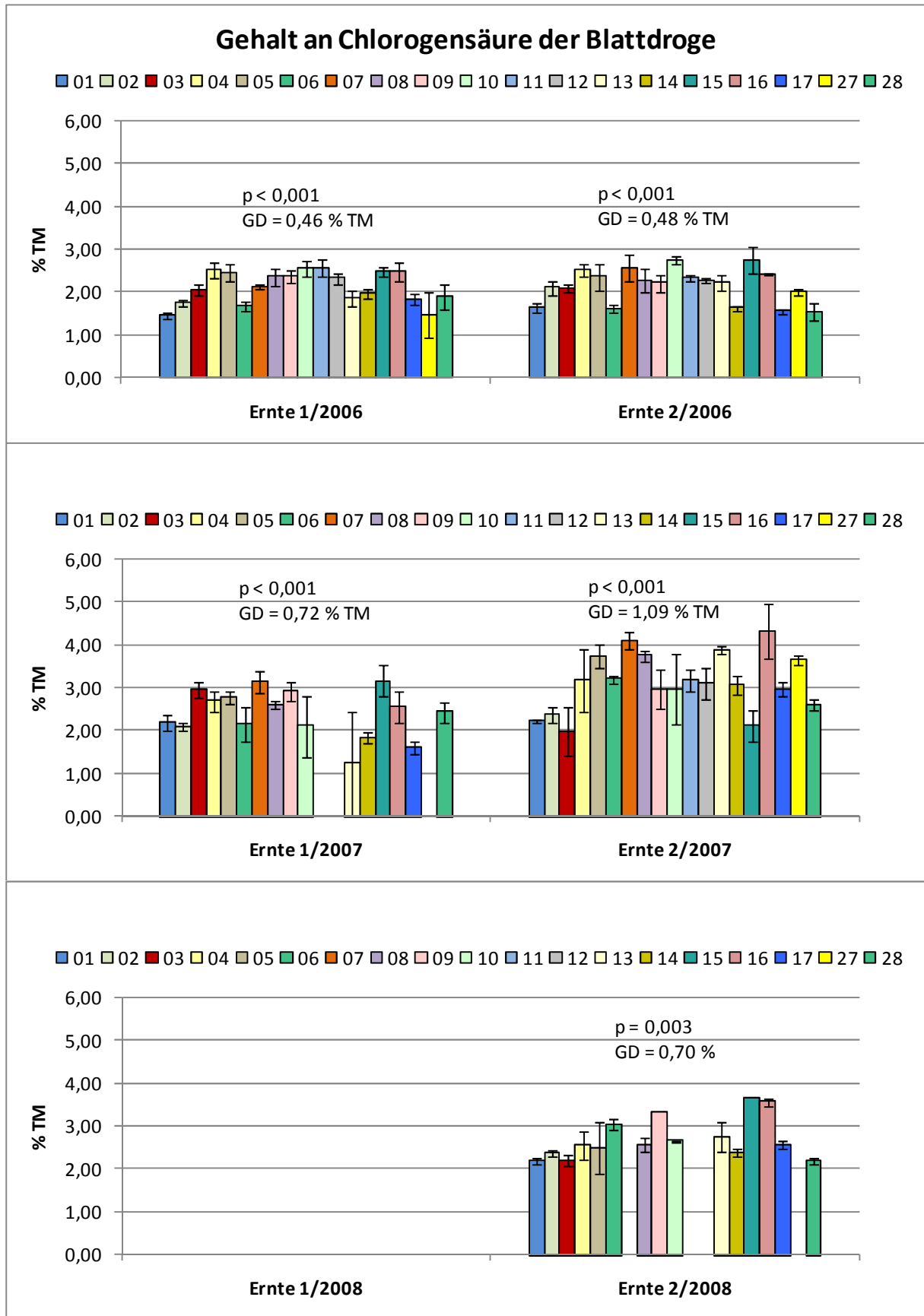


Abb. 74: Herkunftsvergleich: Mittlerer Chlorogensäure-Gehalt (% TM) in Abhängigkeit von Herkunft und Erntetermin, Feldversuche Arten 2006 – 2008. p = Signifikanzwert. T= Standardfehler. GD = Grenzdifferenz (5 %).

Zwar hatte die Herkunft bei jeder Ernte einen signifikanten Einfluss auf den Chlorogensäuregehalt, jedoch fiel die Rangfolge der Gehalte bei den einzelnen Ernten jeweils unterschiedlich aus, so dass sich dennoch kein klarer Zusammenhang zwischen Herkunft und Chlorogensäuregehalt ableiten lässt. Insgesamt lagen die Chlorogensäuregehalte in der zweiten Ernte des zweiten Versuchsjahres höher als in allen übrigen Ernten (Abb. 74).

Bei den meisten Herkünften traten die niedrigsten Chlorogensäuregehalte (Jahresmittel) im ersten Versuchsjahr 2006 und die höchsten im zweiten Versuchsjahr 2007 auf. Vereinzelt nahm der Chlorogensäuregehalt vom ersten über das zweite bis zum dritten Versuchsjahr zu (Abb. 75).

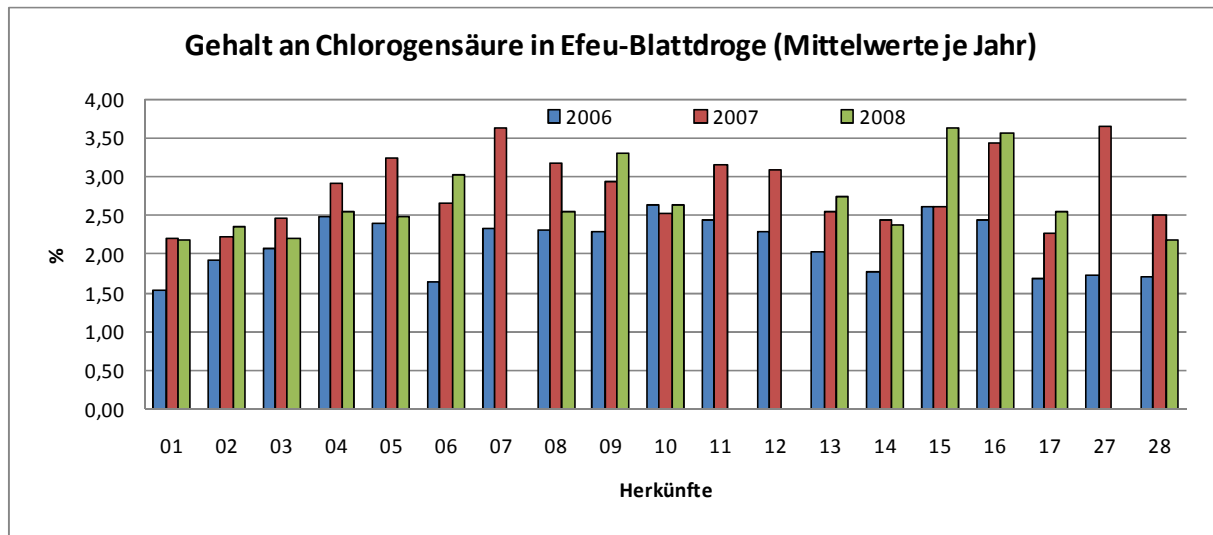


Abb. 75: Herkunftsvergleich: Mittlerer Chlorogensäure-Gehalt in den Efeu-Blättern (% TM), dargestellt als Jahresmittelwert je Herkunft, Feldversuche Artern 2006 – 2008.

Im Gesamtmittel je Herkunft traten die höchsten Chlorogensäuregehalte mit 2,97 % TM und 3,14 % TM bei den Herkünften 07 und 16 auf. Diese hohen Mittelwerte sind im Wesentlichen auf die Ergebnisse der Spätsommerernte im zweiten Versuchsjahr 2007 zurückzuführen (Abb. 74 und 76).

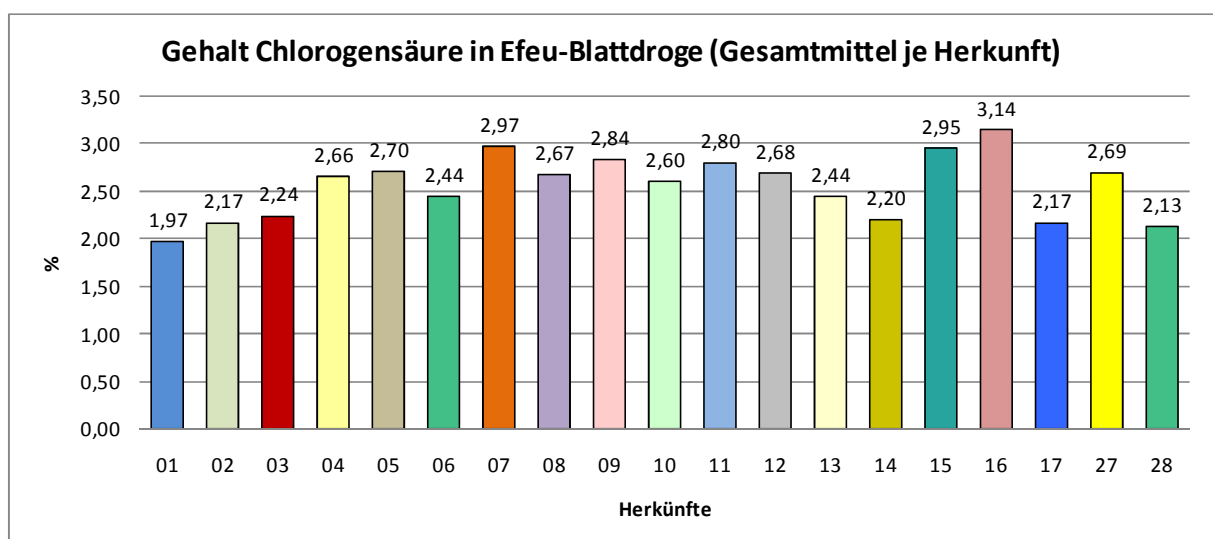


Abb. 76: Herkunftsvergleich: Mittlerer Chlorogensäure-Gehalt in den Efeu-Blättern (% TM) je Herkunft, Feldversuche Artern 2006 – 2008

RUTOSID IN DER BLATTDROGE

Im Gesamtmittel lag der Gehalt an Rutosid in der Efeu-Blattdroge bei 1,16 % TM. Der niedrigste Wert trat mit 0,73 % TM bei der Herkunft 14 in der ersten Ernte des zweiten Versuchsjahres 2007 auf und der höchste Wert mit 2,79 % TM bei der Herkunft 28 in der ersten Ernte des ersten Versuchsjahres.

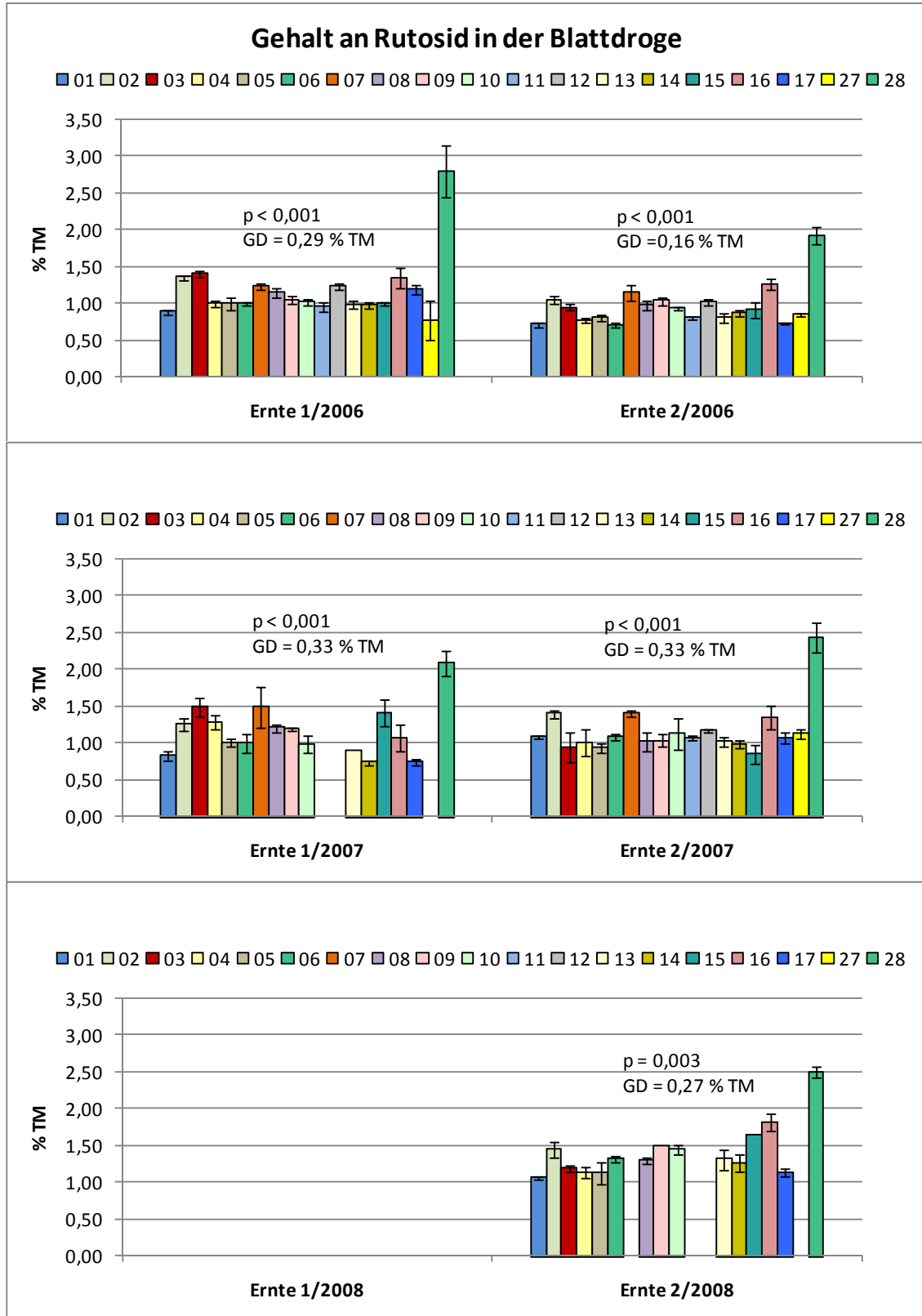


Abb. 77: Herkunftsvergleich: Mittlerer Rutosid-Gehalt (% TM) in Abhängigkeit von Herkunft und Erntetermin, Feldversuche Artern 2006 – 2008. p = Signifikanzwert. T = Standardfehler. GD = Grenzdifferenz (5 %).

Bei jeder der insgesamt fünf Ernten konnte ein signifikanter Einfluss der Herkunft auf den Chlorogensäuregehalt in der Efeu-Blattdroge nachgewiesen werden. Mit Abstand die höchsten Gehalte wies stets die Herkunft 28 (einzige Adultform) auf (Abb. 77).

Tendenziell nahm mit zunehmender Kulturdauer auch der Rutosidgehalt zu. Die meisten Herkünfte wiesen im ersten Versuchsjahr die niedrigsten Rutosidgehalte und im dritten Versuchsjahr die höchsten auf. Die größte Gehaltssteigerung trat vom zweiten zum dritten Versuchsjahr auf, wobei zu berücksichtigen ist, dass im dritten Versuchsjahr keine Frühjahrsernte durchgeführt wurde (Abb. 78).

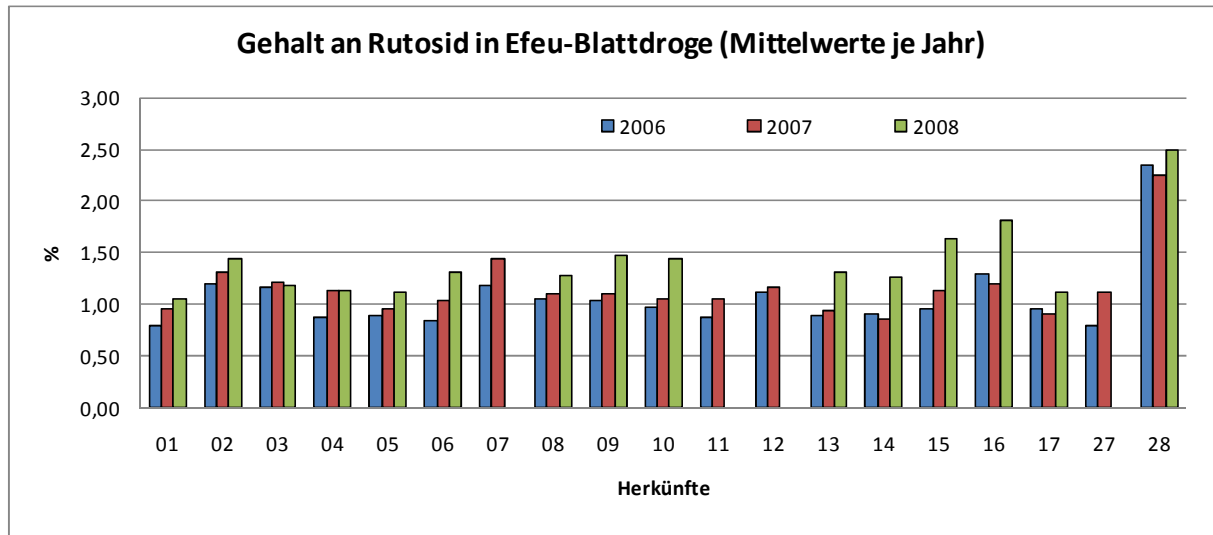


Abb. 78: Herkunftsvergleich: Mittlerer Rutosid-Gehalt in den Efeu-Blättern (% TM), dargestellt als Jahresmittelwert je Herkunft, Feldversuche Artern 2006 – 2008.

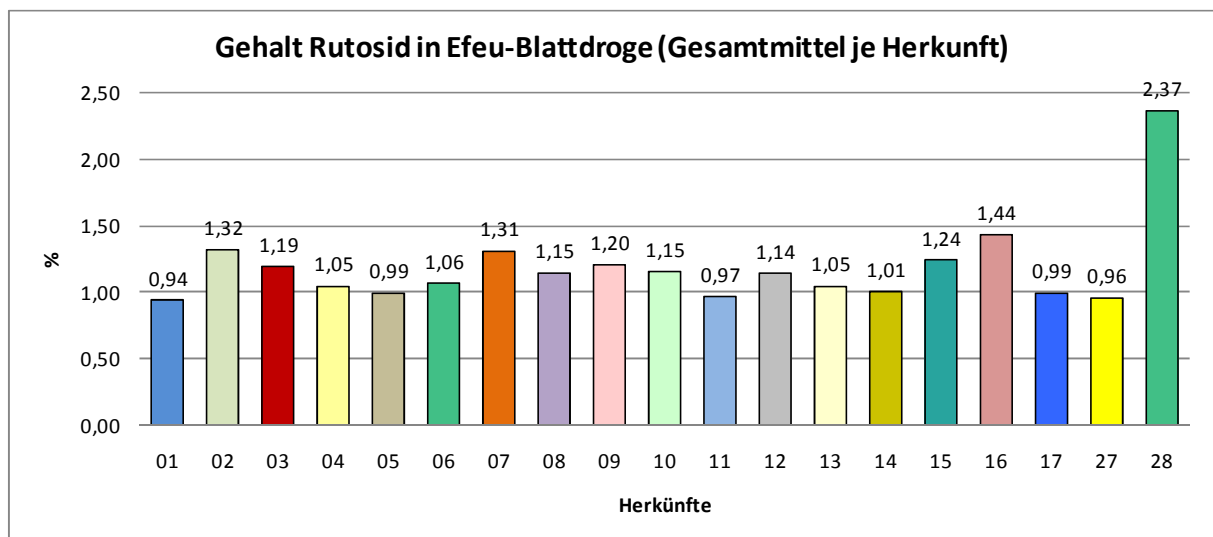


Abb. 79: Herkunftsvergleich: Mittlerer Rutosid-Gehalt in den Efeu-Blättern (% TM) je Herkunft, Feldversuche Artern 2006 – 2008

Mit einem Gesamtmittel von 2,37 % TM wies die Herkunft 28 die höchsten Rutosidgehalte auf. Die Rutosidgehalte der meisten anderen Herkünfte lagen unterhalb des Gesamtmittelwerts von 1,16 % TM. Neben der Herkunft 28 erreichten nur die Herkünfte 02 (1,32 % TM), 07 (1,31 % TM), 09 (1,20 % TM), 15 (1,24 % TM) und 16 (1,44 % TM) leicht überdurchschnittliche Werte (Abb. 79).

4.2 ERGEBNISSE DES VERSUCHS PFLANZDICHTE

4.2.1 INTERNODIEN- UND BLATTSTIELLÄNGE

LÄNGE DER INTERNODIEN

Stets waren die Internodien zum Zeitpunkt der Frühjahrsernte (Ende Mai) kürzer als zum Zeitpunkt der Spätsommerernte (Anfang September). Die mittlere Internodienlänge über alle Frühjahrsernten in allen drei Varianten betrug 3,9 cm und jene über alle Spätsommerernten 5,0 cm. Im Gesamtdurchschnitt waren die Internodien im Herbst 28 % länger als im Frühjahr.

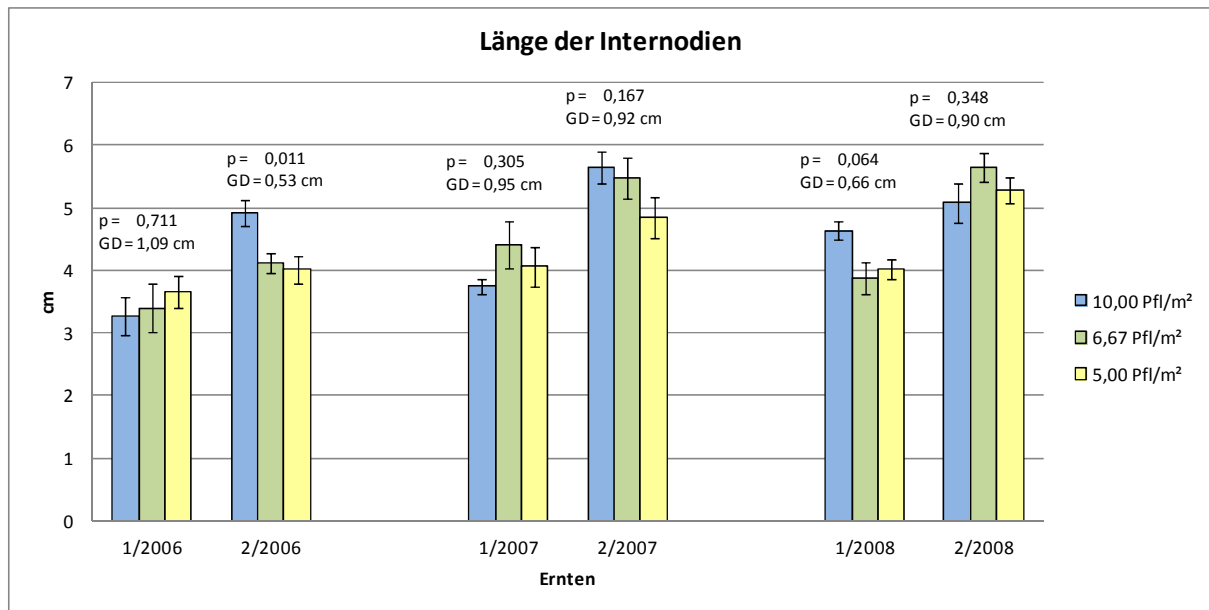


Abb. 80: Versuch Pflanzdichte: Mittlere Internodienlänge (cm) im mittleren Bereich der Efeuranken in Abhängigkeit von Pflanzdichte und Erntetermin, Feldversuche Artern 2006 – 2008. p = Signifikanzwert. T= Standardfehler. GD = Grenzdifferenz (5 %).

Die Länge der Internodien nahm im Verlauf der drei Versuchsjahre tendenziell zu, wobei vom ersten zum zweiten Versuchsjahr ein stärkerer Zuwachs zu verzeichnen war als vom zweiten zum dritten. Die mittlere Internodienlänge (Mittelwert über alle Varianten und Ernten je Versuchsjahr) betrug im Jahr 2006 3,9 cm, im Jahr 2007 4,7 cm und im Jahr 2008 4,8 cm.

Die mittleren Internodienlängen (über alle Ernten und Versuchsjahre) der verschiedenen Varianten gruppierten sich eng um den Gesamtmittelwert von 4,5 cm. Die Pflanzdichte hatte insgesamt nur geringen Einfluss auf die Internodienlänge. Zwar war zu beobachten, dass die Variante mit der höchsten Pflanzdichte tendenziell die längsten Internodien aufwies. Als signifikant kann der Einfluss der Pflanzdichte auf die Internodienlänge jedoch nur bei der Spätsommerernte im ersten Versuchsjahr 2006 bezeichnet werden ($p = 0,011$). In ähnlicher Weise hob sich auch in der Frühjahrsernte des dritten Versuchsjahres 2008 die Variante mit der höchsten Pflanzdichte von den anderen beiden Varianten ab. Mit $p = 0,064$ war der Effekt hier jedoch nur schwach ausgeprägt und kann, gemessen an einer Irrtumswahrscheinlichkeit von $\alpha=5\%$, nicht mehr als signifikant bezeichnet werden (Abb. 80).

LÄNGE DER BLATTSTIELE

Es gab keinen signifikanten Einfluss der Pflanzdichte auf die Länge der Blattstiele. Sie nahm vom ersten Versuchsjahr 2006 zum zweiten 2007 deutlich zu und sank dann wieder zum dritten Versuchsjahr leicht ab (Abb. 81). Im Jahresmittel aller Varianten lag die Blattstiellänge im Jahr 2006 bei 3,9 cm im Jahr 2007 bei 6,4 cm und im Jahr 2008 bei 5,3 cm. Der Gesamtmittelwert betrug 5,2 cm.

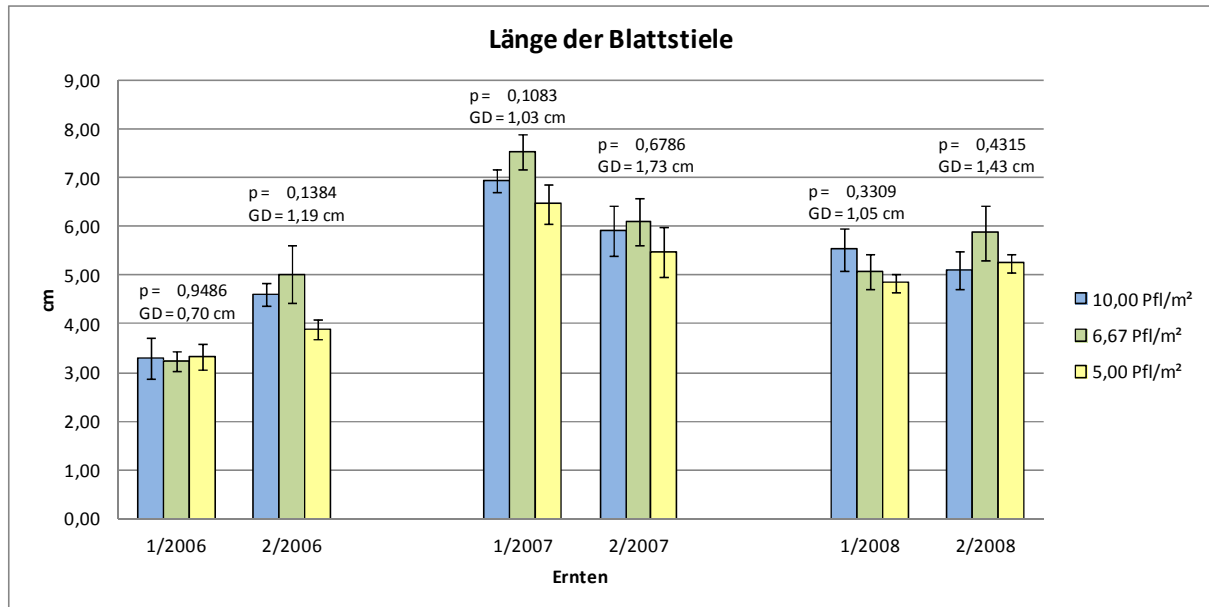


Abb. 81: Versuch Pflanzdichte: Mittlere Blattstiellänge (cm) im mittleren Bereich der Efeuranken in Abhängigkeit von Pflanzdichte und Erntetermin, Feldversuche Artern 2006 – 2008. p = Signifikanzwert. T = Standardfehler. GD = Grenzdifferenz (5 %).

4.2.2 ERTRÄGE UND EINTROCKNUNGSVERHÄLTNIS

BLATTERTRÄGE (TM)

Bei drei von insgesamt sechs durchgeführten Ernten lag ein signifikanter Einfluss der Pflanzdichte auf den Ertrag an Blattdroge vor (Spätsommerernte 2006: $p = 0,0481$; Frühjahrsernte 2007: $p = 0,0181$ und Spätsommerernte 2007: $p = 0,0051$). Die Variante mit der geringsten Pflanzdichte (5,0 Pflanzstellen/m²) erzielte deutlich niedrigere Erträge als die beiden übrigen Varianten mit 6,7 und 10,0 Pflanzstellen/m². Zwar war dieser Effekt im dritten Versuchsjahr nicht mehr so stark ausgeprägt wie in den vorangegangenen Jahren, jedoch war auch hier die Tendenz zu erkennen, dass höhere Pflanzdichten zu höheren Erträgen an Blattdroge führen (Abb. 82).

Die mit Efeu unter Feldbedingungen erzielten Blatterträge unterlagen jahresspezifischen und aufwuchsbedingten Schwankungen. Die geringsten Blatterträge wurden zu Beginn der Versuchsdurchführung im ersten Aufwuchs 2006 erzielt (Pflanzdichte 5,0 Pflanzstellen/m²: 16,09 g Blatt-TM/m²). Die höchsten Blatterträge wurden im zweiten Versuchsjahr mit etwa 150 g Blatt-TM/q m² bei 6,7 bzw. 10,0 Pflanzen/m² gemessen. Im dritten Versuchsjahr war ein deutlicher Abfall der Blatterträge im Vergleich zum zweiten Versuchsjahr zu beobachten.

Das Gesamtmittel lag bei 67,98 g Blatt-TM/m². Bei allen drei Pflanzdichtevarianten waren die Erträge beider Ernten des Jahres 2007 deutlich höher als in den Jahren 2006 und 2008: Meist waren die

Blatt-Erträge der Frühjahrsernten niedriger als die Erträge der Herbsterten. Eine Ausnahme bildete das Jahr 2007, in dem diese Ertragsrelation nur bei der niedrigsten Pflanzdichte auftrat (Abb. 82).

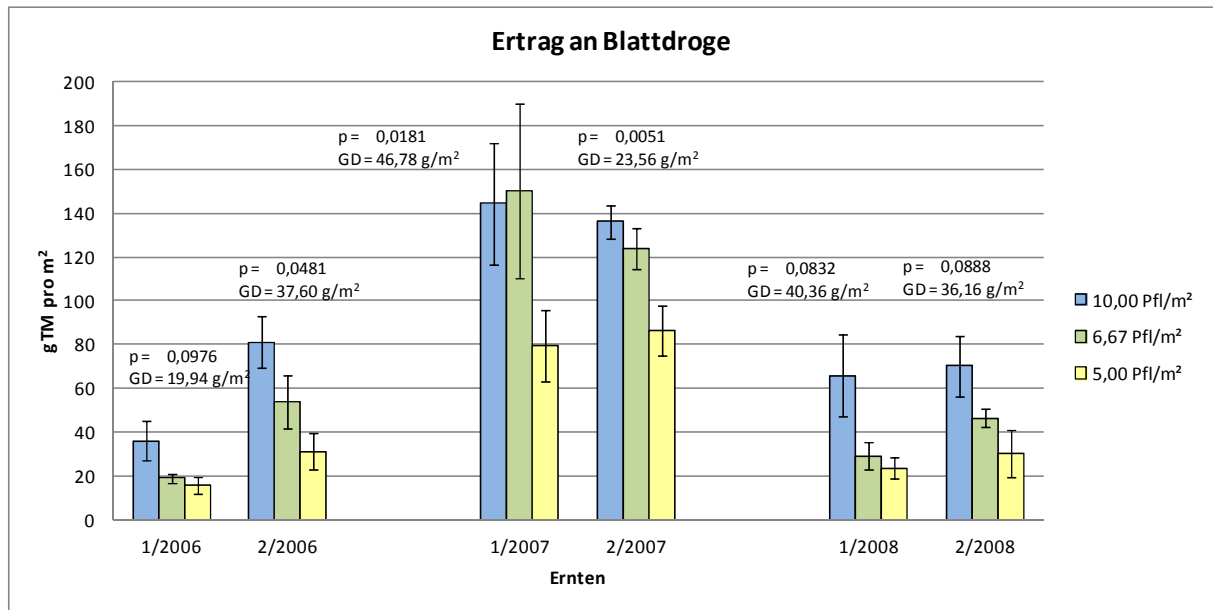


Abb. 82: Versuch Pflanzdichte: Mittlerer Blattdrogenertrag (g TM/m²) in Abhängigkeit von Pflanzdichte und Erntetermin, Feldversuche Artern 2006 – 2008. p = Signifikanzwert. T = Standardfehler. GD = Grenzdifferenz (5 %).

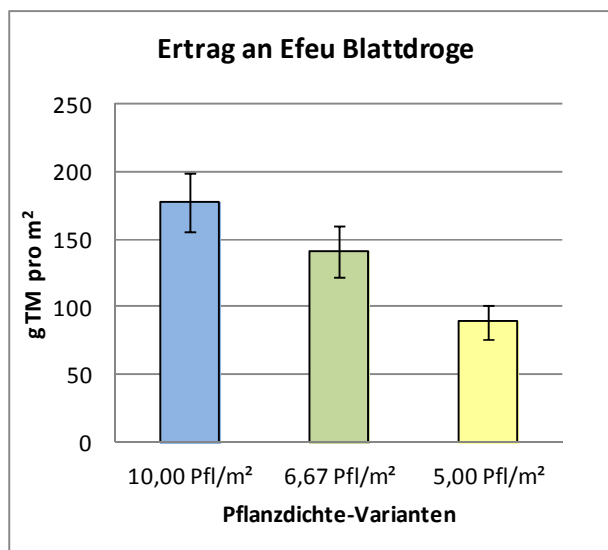


Abb. 83 Versuch Pflanzdichte: Ertrag an Efeu-Blattdroge in Abhängigkeit von der Pflanzdichte. Feldversuche Artern 2006 – 2008. T=Standardabweichung.

Bei Betrachtung des durchschnittlichen Jahresertrags je Pflanzdichte-Variante (über sämtliche drei Versuchsjahre) zeigt sich, dass der Ertrag an Efeu-Blattdroge in etwa direkt proportional zur Erhöhung der Pflanzdichte zunahm (10,0 Pflanzstellen/m²: 177,97 g TM/m², 6,7 Pflanzstellen/m²: 140,87 g TM/m², 5,0 Pflanzstellen/m²: 89,06 g TM/m², Abb. 83).

EINTROCKNUNGSVERHÄLTNISS DER BLÄTTER

Der Einfluss der Pflanzdichte auf das Eintrocknungsverhältnis der Efeublätter war sehr gering. Lediglich bei der Frühjahrsernte im dritten Versuchsjahr 2008 konnte ein signifikanter Effekt nachgewiesen werden ($p = 0,043$). Der Gesamtmittelwert lag bei 1 : 3,11 und die Werte bewegten sich zwischen 1 : 2,51 (Variante mit 5,0 Pflanzstellen/m² bei der ersten Ernte im ersten Versuchsjahr 2006) und 1 : 3,60 (Variante mit 10,0 Pflanzstellen/m² bei der zweiten Ernte im dritten Versuchsjahr

2008). Darüber hinaus zeigten sich jahres- und aufwuchsbedingte Einflüsse auf das Eintrocknungsverhältnis der Efeublätter (Abb. 84).

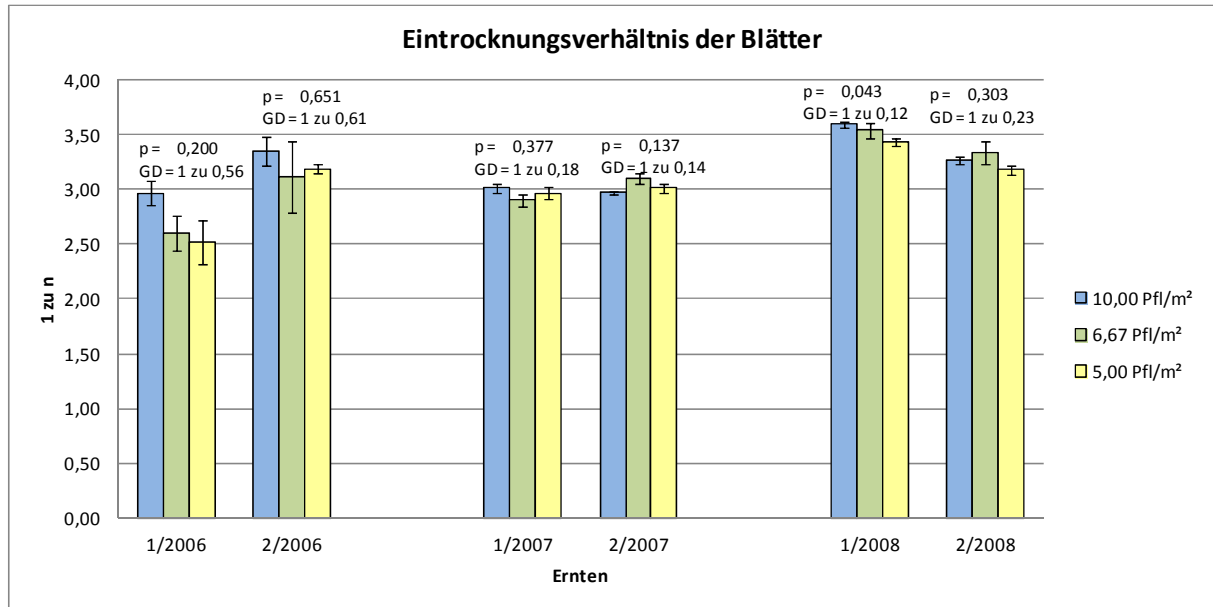


Abb. 84: Versuch Pflanzdichte: Mittleres Eintrocknungsverhältnis (1 zu n) der Efeublätter in Abhängigkeit von Pflanzdichte und Erntetermin, Feldversuche Artern 2006 – 2008. p = Signifikanzwert. T = Standardfehler. GD = Grenzdifferenz (5 %).

ERTRÄGE STIELFRAKTION TM

Die Erträge an Stielfraktion (Spross ohne Blätter und Blattstiele) schwankten stark. Der Einfluss der Pflanzdichte war gering. Nur bei der ersten Ernte im ersten Versuchsjahr trat ein signifikanter Einfluss der Pflanzdichte auf den Stielertrag auf ($p = 0,013$, Abb. 86).

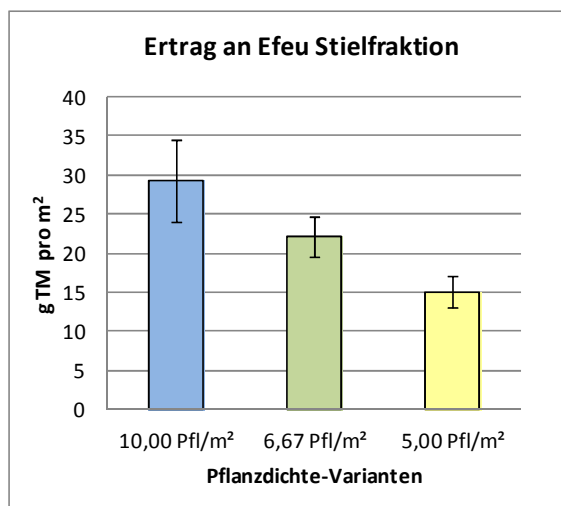


Abb. 85: Versuch Pflanzdichte: Ertrag an Efeu-Stielfraktion (Sprossachsen ohne Blätter und Blattstiele) in Abhängigkeit von der Pflanzdichte. Feldversuche Artern 2006 – 2008. T=Standardabweichung.

Hier wies die Variante mit der höchsten Pflanzdichte die höchsten Stielerträge auf. Als signifikant kann der Einfluss der Pflanzdichte zwar nur in einem Fall bezeichnet werden, jedoch kann anhand der Tatsache, dass bei fünf von sechs Ernten die Stielerträge bei der Variante mit der höchsten Pflanzdichte im Mittel höher lagen als bei allen anderen, abgeleitet werden, dass hohe Pflanzdichte tendenziell auch zu hohen Stielerträgen führt. Sie lagen zwischen 1,83 g/m² (erste Ernte 2008, Pflanzdichte 6,7 Pflanzstellen/m²) und 24,81 g/m² (zweite Ernte 2007 ebenfalls bei der Pflanzdichte von 6,7 Pflanzstellen/m²).

Der Gesamtmittelwert betrug 11,09 g/m². Im Mittel aller Jahre und Varianten zeigt sich, dass die Erträge an Stielfraktion in der zweiten Ernte stets höher waren als in der ersten, oft sogar um mehr als das Doppelte (Abb. 86).

Wie bereits beim Ertrag an Blattdroge kann man auch beim Ertrag an Stielfraktion erkennen, dass mit zunehmender Pflanzdichte der Ertrag zunahm. Eine Verdoppelung der Pflanzdichte führte auch hier zu einer Verdoppelung des Ertrags (Abb. 85).

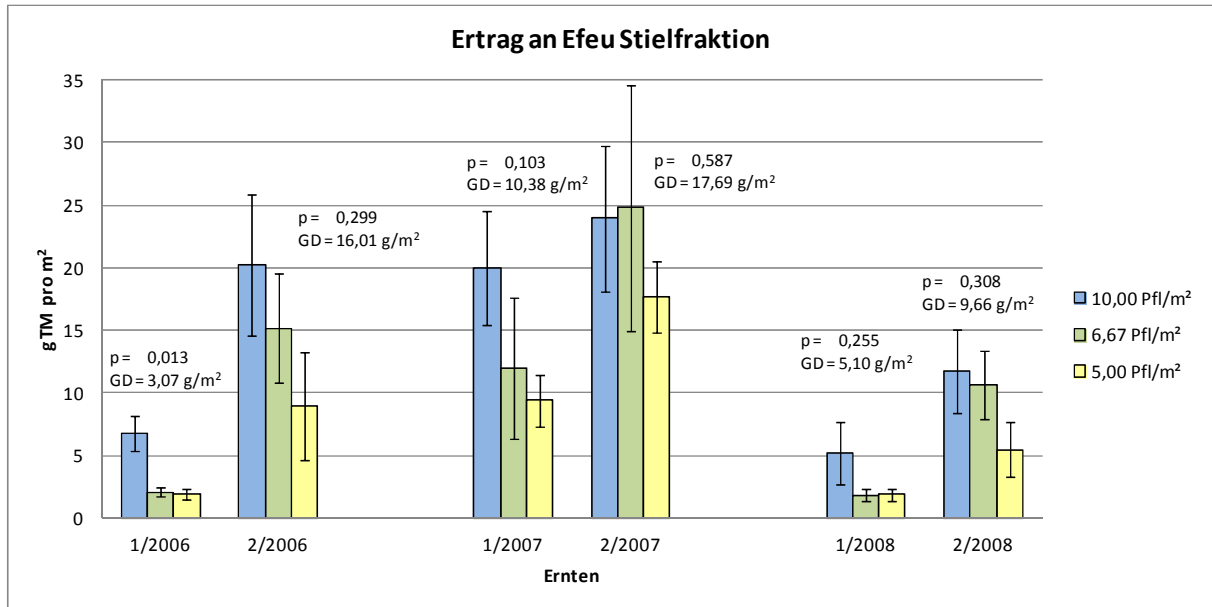


Abb. 86: Versuch Pflanzdichte: Mittlerer Ertrag an Efeu-Stielfraktion (Sprossachsen ohne Blätter und Blattstiele) in Abhängigkeit von Pflanzdichte und Erntetermin, Feldversuche Artern 2006 – 2008. p = Signifikanzwert. T= Standardfehler. GD = Grenzdifferenz (5 %).

EINTROCKNUNGSVERHÄLTNIS STIELFRAKTION

Die Pflanzdichte wirkte sich auf das Eintrocknungsverhältnis der Stielfraktion nur geringfügig aus. Lediglich bei einem von sechs Aufwüchsen konnte ein signifikanter Einfluss nachgewiesen werden (p = 0,018 bei der Spätsommerernte im dritten Versuchsjahr 2008, Abb. 87).

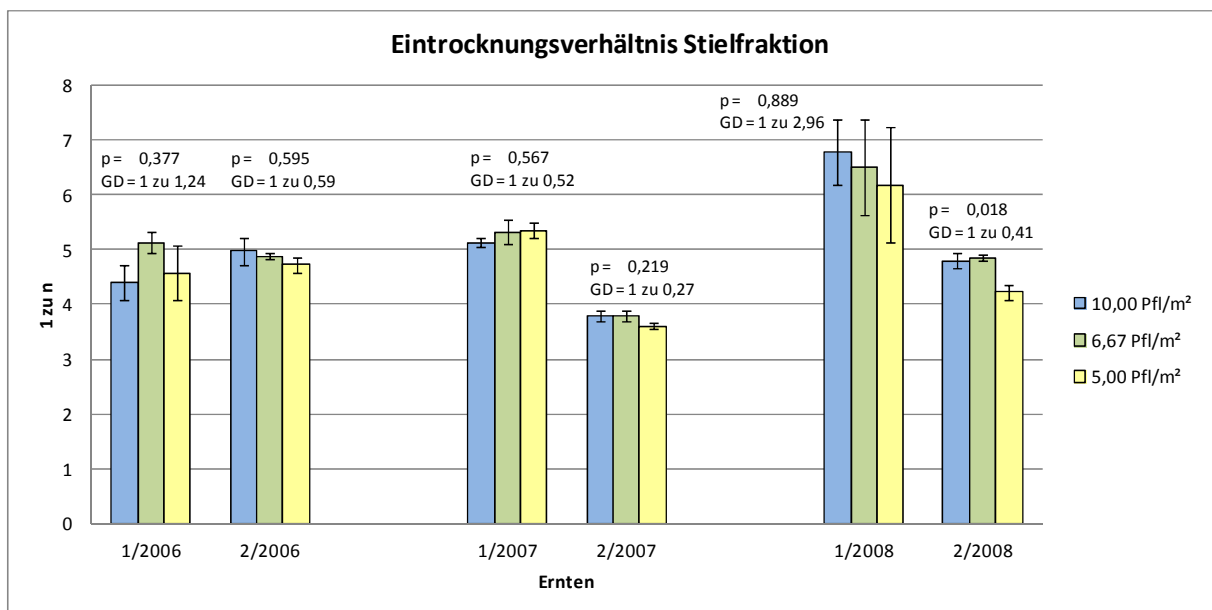


Abb. 87: Versuch Pflanzdichte: Mittleres Eintrocknungsverhältnis (1 zu n) der Efeu-Stielfraktion (Sprossachsen ohne Blätter und Blattstiele) in Abhängigkeit von Pflanzdichte und Erntetermin, Feldversuche Artern 2006 – 2008. p = Signifikanzwert. T= Standardfehler. GD = Grenzdifferenz (5 %).

Der Gesamtmittelwert lag bei 1 : 4,95 und die Werte bewegten sich zwischen 1 : 3,61 (Variante mit der geringsten Pflanzdichte von 5,0 Pflanzstellen/m² im zweiten Aufwuchs des zweiten Versuchsjahres 2007) und 1 : 6,78 (Variante mit der höchsten Pflanzdichte von 10,0 Pflanzstellen/m² ersten Aufwuchs des dritten Versuchsjahres 2008). Tendenziell war das Eintrocknungsverhältnis im ersten Aufwuchs höher als im zweiten (Abb. 87, Versuchsjahre 2007 und 2008). Ebenso traten bei höheren Pflanzdichten tendenziell erhöhte Eintrocknungsverhältnisse auf (Abb. 87).

RELATIVER ANTEIL DER STIELFRAKTION AN HERBA TM

Die Pflanzdichte hatte keinen signifikanten Einfluss auf den relativen Anteil der Stielfraktion am Ertrag an Herba TM. Der Gesamtmittelwert lag bei 13,32 % TM und die Werte bewegten sich zwischen 5,73 % TM (erster Aufwuchs im dritten Versuchsjahr 2008 bei der Variante mit mittlerer Pflanzdichte von 6,7 Pflanzstellen/m²) und 19,08 % TM (ebenfalls bei der Variante mit mittlerer Pflanzdichte im ersten Versuchsjahr 2006, Abb. 88).

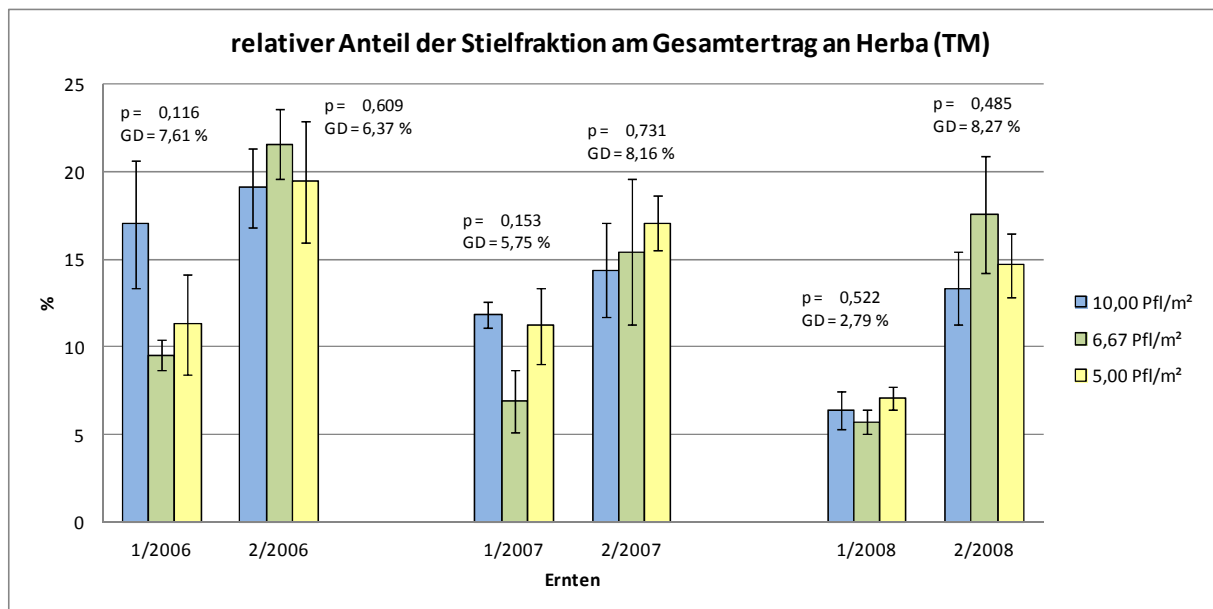


Abb. 88: Versuch Pflanzdichte: Mittlerer relativer Anteil der Stielfraktion (Sprossachsen ohne Blätter und Blattstiele) am Gesamtertrag (TM) in Abhängigkeit von Pflanzdichte und Erntetermin, Feldversuche Artern 2006 – 2008. p = Signifikanzwert. T = Standardfehler. GD = Grenzdifferenz (5 %).

Der relative Stielanteil am Gesamtertrag sank im Verlauf der drei Versuchsjahre und die Werte waren im Frühjahr stets geringer als im Spätsommer, was auf jahres- und aufwuchsbedingte Einflüsse hindeutet (Abb. 88). Ähnlich verhielt es sich auch mit den Erträgen an Stielfraktion (Abb. 86), während bei den Blatterträgen deutlich geringerer Unterschiede zwischen Frühjahrs- und Spätsommerernte vorlagen (Abb. 82). Das bedeutet, dass der Gesamtertrag (Herba) zwar zum Spätsommer hin zunimmt. Dies ist jedoch mehr auf die Zunahme des Stielanteils (Sprossfraktion) als auf die Zunahme des Blattanteils zurückzuführen. Noch deutlicher wird dieser Effekt, wenn man berücksichtigt, dass auch die Internodienlänge im Spätsommer stets höher war als im Frühjahr (Abb. 80).

4.2.3 INHALTSSTOFFE

HEDERACOSID C IN DER BLATTDROGE

Zwischen Pflanzdichte und Hederacosid C-Gehalt in der Blattdroge ließ sich kein signifikanter Zusammenhang nachweisen. Der Gesamtmittelwert lag bei 9,57 % TM und bewegte sich zwischen 7,53 % TM (Variante mit der niedrigsten Pflanzdichte von 5,0 Pflanzstellen/m² im dritten Versuchsjahr 2008 bei der Spätsommerernte) und 11,24 % TM (Variante mit der höchsten Pflanzdichte von 10,0 Pflanzstellen/m² ebenfalls im dritten Versuchsjahr 2008 bei der Frühjahrsernte). Tendenziell waren die Hederacosid C-Gehalte im Frühjahr höher als im Spätsommer (Abb. 89).

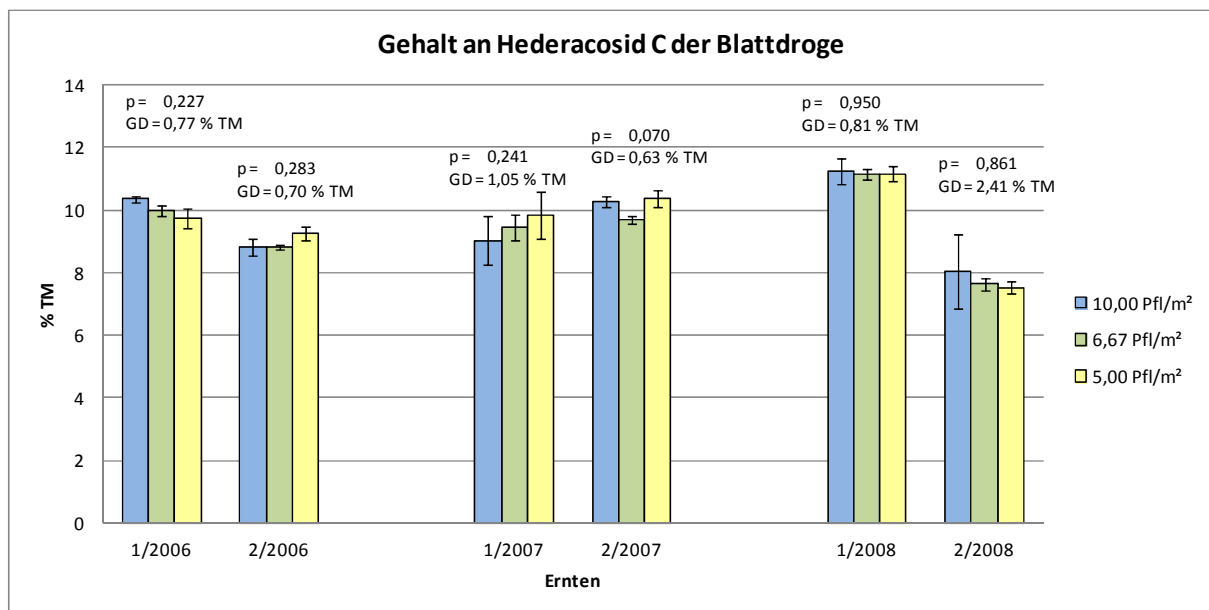


Abb. 89: Versuch Pflanzdichte: Mittlerer Hederacosid-C-Gehalt (% TM) in Efeublättern in Abhängigkeit von Pflanzdichte und Erntetermin, Feldversuche Artern 2006 – 2008. p = Signifikanzwert. T = Standardfehler. GD = Grenzdifferenz (5 %).

 α -HEDERIN IN DER BLATTDROGE

Der Einfluss der Pflanzdichte auf den α -Hederin-Gehalt in der Blattdroge war nur gering.

Lediglich bei einer von sechs Ernten konnte ein Zusammenhang nachgewiesen werden ($p = 0,046$, zweite Ernte 2008). Im Gesamtmittel betrug der Gehalt an α -Hederin in der Blattdroge 0,13 % TM, wobei sich die Konzentrationen zwischen 0,04 % TM (erster Aufwuchs im dritten Versuchsjahr 2008 bei der Variante mit mittlerer Pflanzdichte von 6,7 Pflanzstellen/m²) und 0,24 % TM (zweiter Aufwuchs im zweiten Versuchsjahr 2007 bei der Variante mit der niedrigsten Pflanzdichte von 5,0 Pflanzstellen/m²) bewegte. Bei vier von sechs Ernten lag der α -Hederin-Gehalt bei der Variante mit der höchsten Pflanzdichte ebenfalls am höchsten. Aufgrund der großen Streuung der Werte ließ sich zwar kein signifikanter Zusammenhang errechnen, eine gewisse Tendenz ist jedoch erkennbar. Im Mittel aller Varianten, waren die α -Hederin-Gehalte im Frühjahr stets niedriger als im Spätsommer. Bei jeder Variante waren die Gehalte im Spätsommer des zweiten Versuchsjahres 2007 am höchsten (Abb. 90).

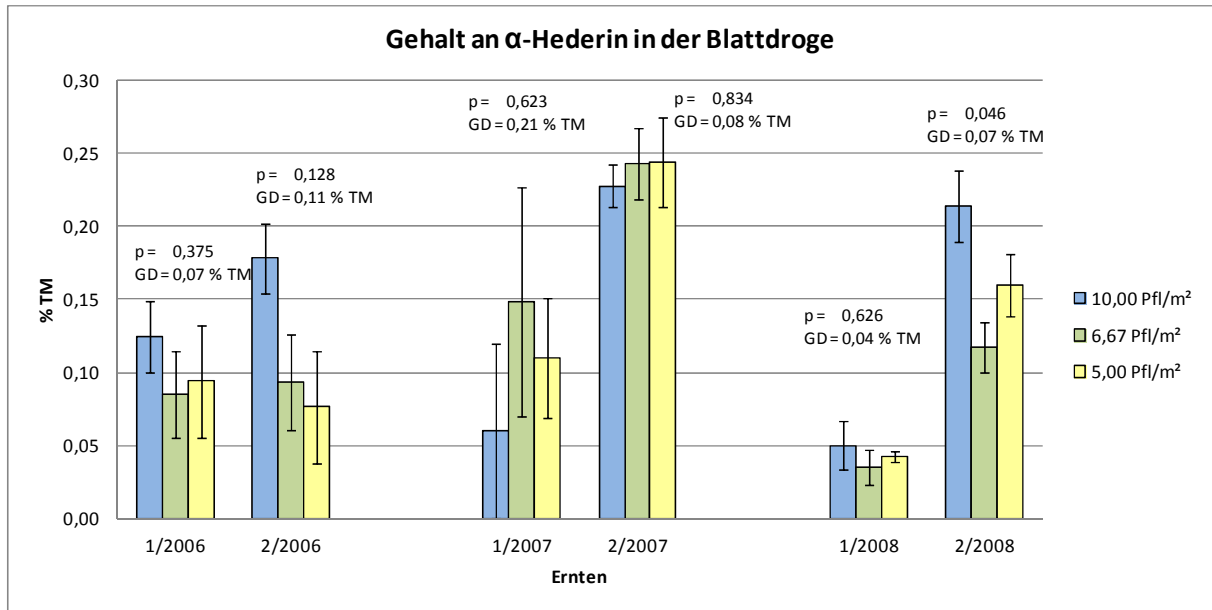


Abb. 90: Versuch Pflanzdichte: Mittlerer α -Hederin-Gehalt (% TM) in Efeublättern in Abhängigkeit von Pflanzdichte und Erntetermin, Feldversuche Artern 2006 – 2008. p = Signifikanzwert. T= Standardfehler. GD = Grenzdifferenz (5 %).

CHLOROGENSÄURE IN DER BLATTDROGE

Ein signifikanter Einfluss der Pflanzdichte auf den Chlorogensäuregehalt in der Blattdroge lag nicht vor. Der Gesamtmittelwert lag bei 2,18 % TM. Die Gehalte bewegten sich zwischen 1,73 % TM (Variante mit höchster Pflanzdichte, erstes Versuchsjahr 2006, Spätsommerernte) und 3,11.

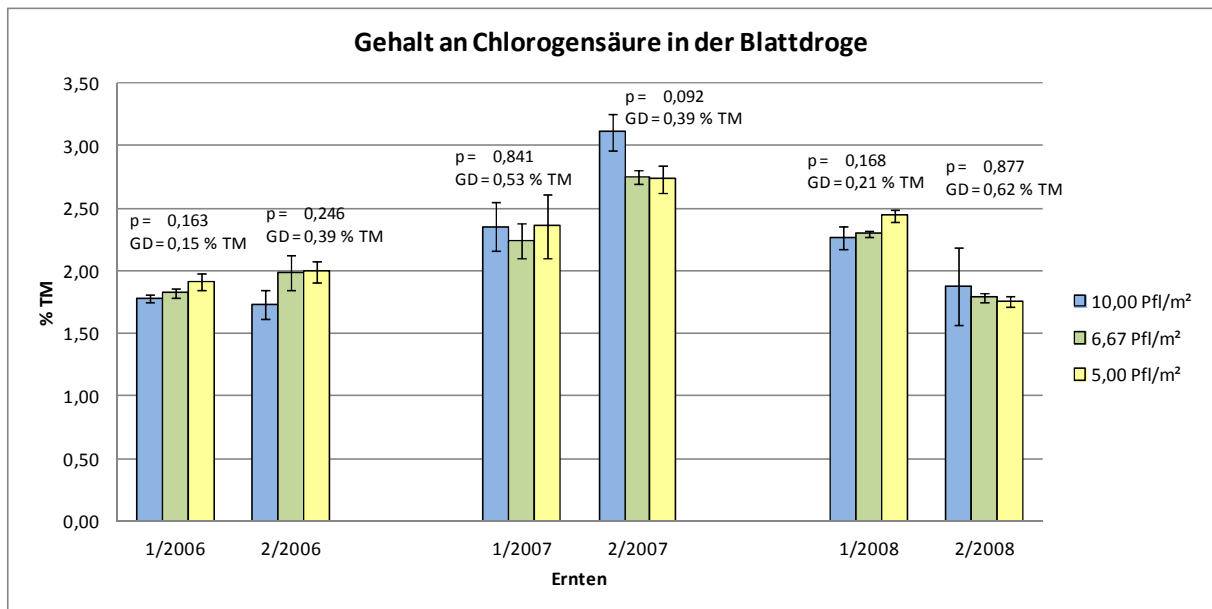


Abb. 91: Versuch Pflanzdichte: Mittlerer Chlorogensäure-Gehalt (% TM) in Efeublättern in Abhängigkeit von Pflanzdichte und Erntetermin, Feldversuche Artern 2006 – 2008. p = Signifikanzwert. T= Standardfehler. GD = Grenzdifferenz (5 %).

Wie bei allen anderen geprüften Merkmalen gab es auch hier jahres- und aufwuchsbedingte Einflüsse. Beim Vergleich der Frühjahrs- mit den Spätsommerwerten fiel keine eindeutige Tendenz auf. Die Chlorogensäuregehalte waren im zweiten Versuchsjahr 2007 höher als im ersten und dritten Versuchsjahr (Abb. 91).

RUTOSID IN DER BLATTDROGE

Der Einfluss der Pflanzdichte auf den Rutosidgehalt der Efeu-Blattdroge war gering. Nur bei einem von sechs Aufwüchsen konnte ein signifikanter Effekt nachgewiesen werden ($p = 0,032$, zweiter Aufwuchs im zweiten Versuchsjahr 2007).

Im Gesamtmittel lag der Rutosidgehalt in der Blattdroge bei 1,18 % TM. Der niedrigste Wert fand sich in der Variante mit der höchsten Pflanzdichte bei der Spätsommerernte im Jahr 2006 mit 0,93 % TM und der höchste bei der Variante mit der niedrigsten Pflanzdichte ebenfalls im ersten Versuchsjahr bei der Frühjahrsernte 2006 mit 1,44 % TM. Zwar lag der Rutosidgehalt bei vier von sechs Aufwüchsen bei der Variante mit der niedrigsten Pflanzdichte höher als bei den anderen Varianten, jedoch ist die Differenz nur sehr gering, so dass hier allenfalls von einer leichten Tendenz gesprochen werden kann (Abb. 92).

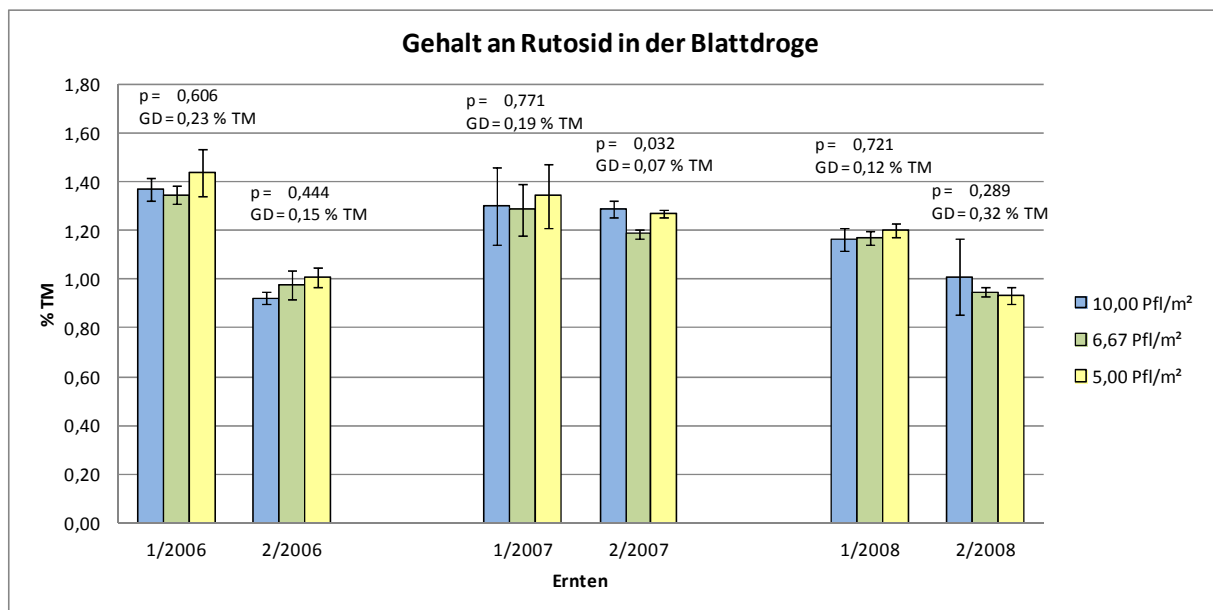


Abb. 92: Versuch Pflanzdichte: Mittlerer Rutosid-Gehalt (% TM) in Efeublättern in Abhängigkeit von Pflanzdichte und Erntetermin, Feldversuche Artern 2006 – 2008. p = Signifikanzwert. T= Standardfehler. GD = Grenzdifferenz (5 %).

4.3 ERGEBNISSE DES VERSUCHS SCHNITTREGIME

4.3.1 LÄNGE DER INTERNODIEN UND BLATTSTIELE

Im Gesamtmittel betrug die Internodienlänge 2,27 cm. Die Werte lagen zwischen 1,54 cm (3-Schnitt-Variante im dritten Versuchsjahr 2008) und 2,92 cm (1-Schnitt-Variante im dritten Versuchsjahr 2008, Abb. 93).

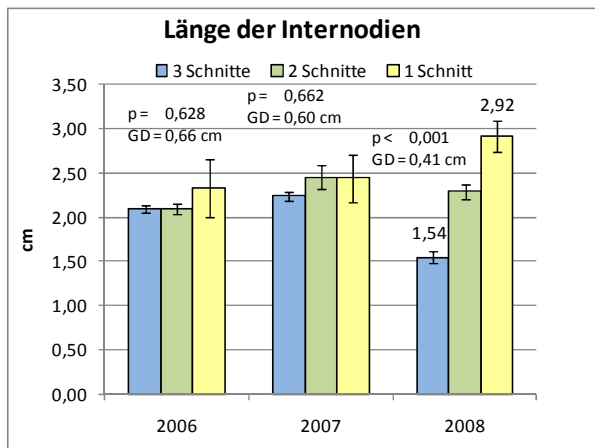


Abb. 93: Versuch Schnittregime: Mittlere Internodienlänge in Abhängigkeit von Schnittregime und Versuchsjahr. Feldversuche Artern 2006 – 2008. p = Signifikanzwert. T= Standardfehler. GD = Grenzdifferenz (5 %).

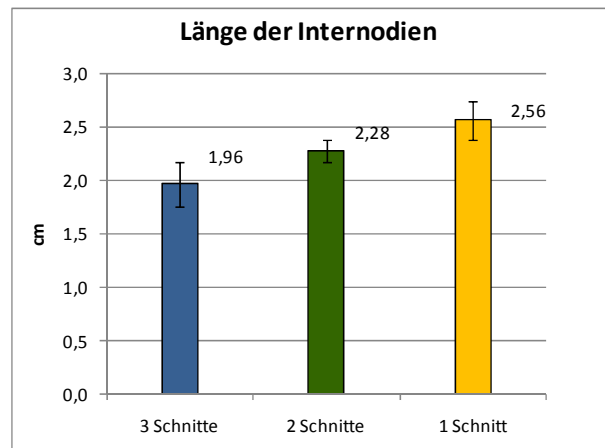


Abb. 94: Versuch Schnittregime: Mittlere Internodienlänge in Abhängigkeit vom Schnittregime. Feldversuche Artern 2006 – 2008. T=Standardfehler.

In den ersten beiden Versuchsjahren wirkte sich das Schnittregime nicht signifikant auf die Internodienlänge aus. Im dritten Versuchsjahr hingegen zeigte sich ein signifikanter Einfluss. Die Internodienlänge stieg bei der 3-Schnitt-Variante vom ersten zum zweiten Versuchsjahr leicht an und fiel zum dritten Versuchsjahr stark ab. Auch bei der 2-Schnitt-Variante war vom ersten zum zweiten Versuchsjahr ein leichter Anstieg zu beobachten. Im dritten Versuchsjahr nahm die Internodienlänge hier wieder leicht ab. Sie ging jedoch nicht ganz auf das Niveau des ersten Versuchsjahres zurück. Nur bei der 1-Schnitt-Variante nahm die Internodienlänge von Jahr zu Jahr zu (Abb. 93). Je seltener die Bestände beerntet worden waren, desto länger waren die Internodien (Abb. 94).

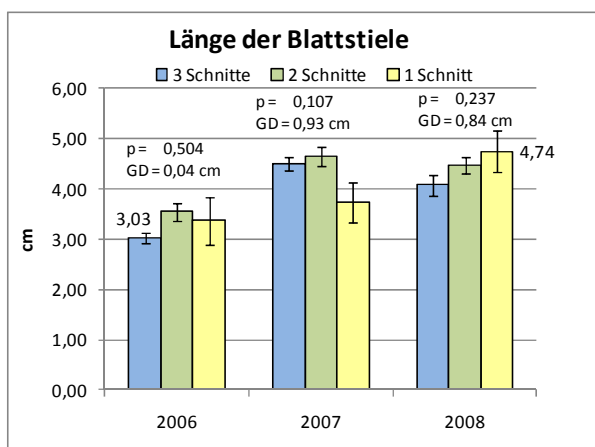


Abb. 95: Versuch Schnittregime: Mittlere Blattstiellänge in Abhängigkeit von Schnittregime und Versuchsjahr. Feldversuche Artern 2006 – 2008. p = Signifikanzwert. T= Standardfehler. GD = Grenzdifferenz (5 %).

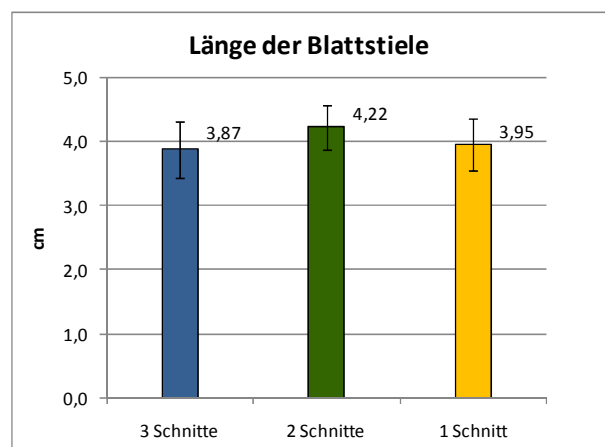


Abb. 96: Versuch Schnittregime: Mittlere Blattstiellänge in Abhängigkeit vom Schnittregime. Feldversuche Artern 2006 – 2008. T=Standardfehler.

Die Blattstiele wiesen im Gesamtmittel eine Länge von 4,01 cm auf. Die Werte bewegten sich zwischen 3,03 cm (3-Schnitt-Variante im ersten Versuchsjahr 2006) und 4,74 cm (1-Schnitt-Variante im dritten Versuchsjahr). Insgesamt verhielten sich die Blattstiellängen ähnlich wie die Internodienlängen. Sie waren im ersten Versuchsjahr am kürzesten. Zum zweiten Versuchsjahr nahm bei der 3- und der 2-Schnitt-Variante die Blattstiellänge deutlich zu und fiel zum dritten wieder leicht ab. Bei der 1-Schnitt-Variante nahm die Blattstiellänge von Jahr zu Jahr zu. In keinem der drei Versuchsjahre hatte das Schnittregime einen signifikanten Einfluss auf die Blattstiellänge (Abb. 95). Die Gesamtmittelwerte je Variante lagen bei einer Blattstiellänge von 3,87cm (3 Schnitte), 4,22 cm (2 Schnitte) und 3,95 cm (1 Schnitt). Somit zeigte sich auch hier, dass sich die Varianten in ihrer Blattstiellänge nicht wesentlich unterschieden. Die 2-Schnitt-Variante hatte geringfügig längere Blattstiele als die beiden anderen Varianten (Abb. 96).

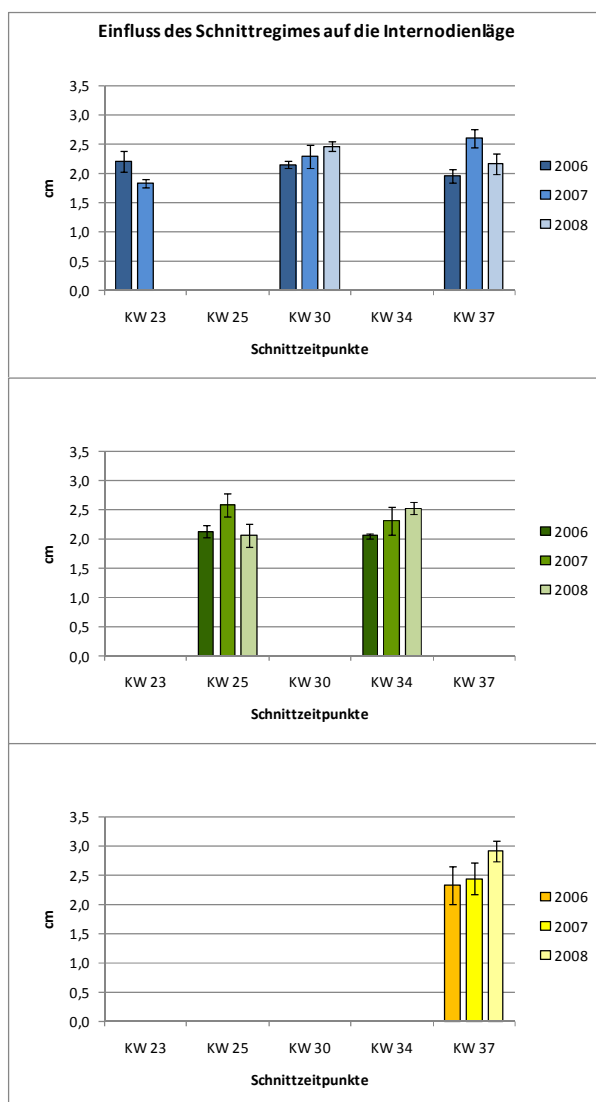


Abb. 97: Versuch Schnittregime: Mittlere Internodienlänge in Abhängigkeit von Schnittregime, Erntetermin (KW=Kalenderwoche) und Versuchsjahr. Feldversuche Artern 2006 – 2008. T=Standardfehler.

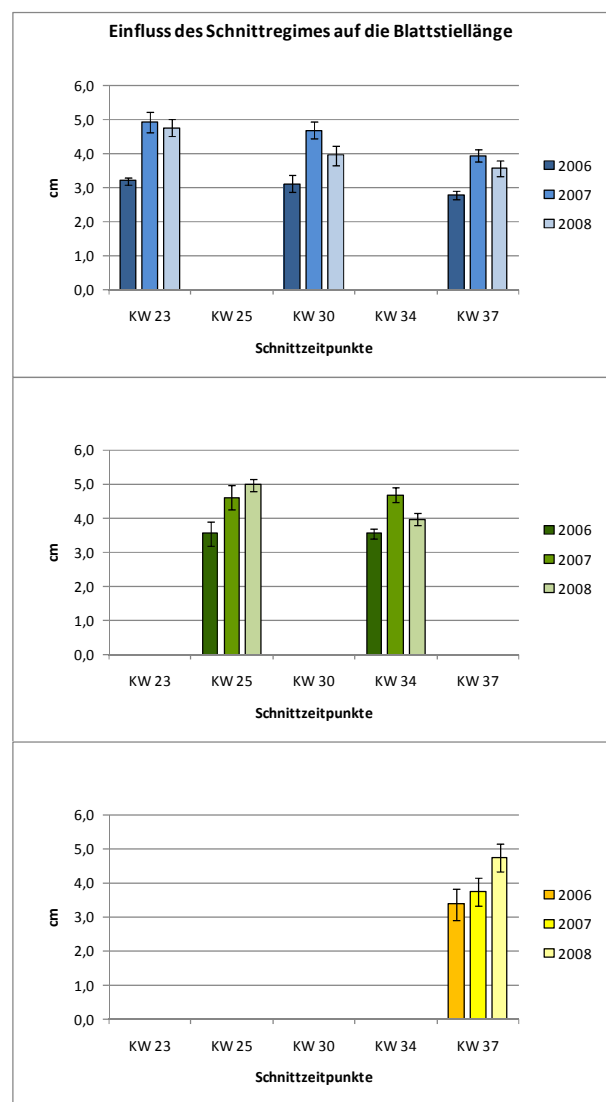


Abb. 98: Versuch Schnittregime: Mittlere Blattstiellänge in Abhängigkeit von Schnittregime, Erntetermin (KW=Kalenderwoche) und Versuchsjahr. Feldversuche Artern 2006 – 2008. T=Standardfehler.

Bei Betrachtung der Dynamik der Blattstiel- und Internodienlängen im Jahresverlauf (Abb. 97 und 98) fiel vor allem auf, dass die 1-Schnitt-Variante bei beiden Merkmalen ähnliche Ergebnisse lieferte.

Sowohl die Internodien- als auch die Blattstiellänge nahm hier von Jahr zu Jahr zu. Im dritten Versuchsjahr entfiel bei der 3-Schnitt-Variante die erste Ernte aufgrund schlechter Bestandesentwicklung. Dennoch wurden zum Termin der entfallenen ersten Ernte die Internodien- und Blattstiellängen gemessen. Ein Wachstum neuer Triebe war zu diesem Zeitpunkt noch nicht zu verzeichnen und somit ergab sich hier eine Internodienlänge von 0 cm. Hingegen trieben an alten Zweigen neue Blätter aus, bei denen dann auch die Blattstiellänge gemessen werden konnte. Bei den Internodienlängen der 2- und 3-Schnitt-Variante war im Jahresverlauf keine eindeutige Tendenz zu erkennen. So zeigte sich bei der 3-Schnitt-Variante im ersten Versuchsjahr eine Zunahme der Internodienlänge während sie im zweiten Versuchsjahr abnahm.

Bei den Blattstiellängen der 3-Schnitt-Variante trat eine deutlichere Tendenz zutage als bei den Internodienlängen. Die Blattstiellänge nahm in jedem Versuchsjahr von Schnitt zu Schnitt ab. Zu jedem Erntetermin waren die Blattstiele im zweiten Versuchsjahr (2007) am längsten und im ersten Versuchsjahr am kürzesten. Die Blattstiellänge der 2-Schnitt-Variante zeigte keinen spezifischen Jahresverlauf.

4.3.2 ERTRÄGE UND EINTROCKNUNGSVERHÄLTNIS

ERTRÄGE AN BLATTFRAKTION UND STIELFRAKTION TM

Die Schnitthäufigkeit beeinflusste die Erträge an Blattdroge in ähnlicher Weise wie die Erträge an Stielfraktion (Abb. 99 und 101).

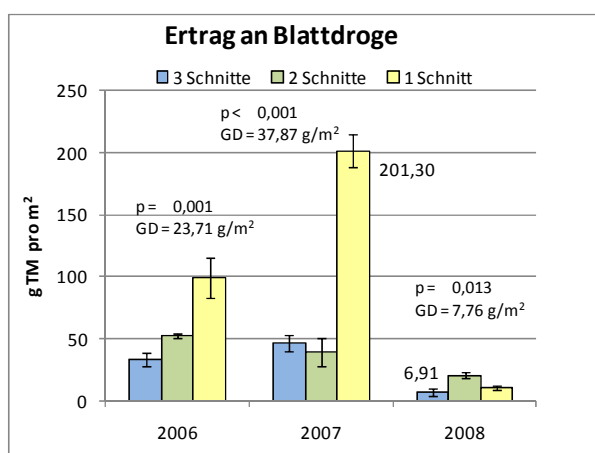


Abb. 99: Versuch Schnittregime: Mittlerer Ertrag an Efeublättern (g TM/m²) in Abhängigkeit von Schnittregime und Versuchsjahr. Feldversuche Artern 2006 – 2008. p = Signifikanzwert. T= Standardfehler. GD = Grenzdifferenz (5 %).

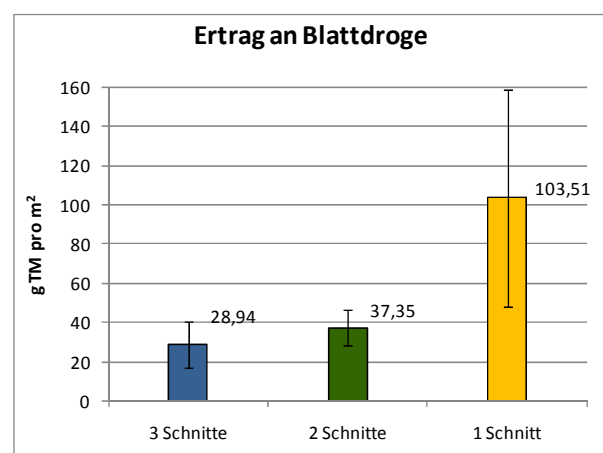


Abb. 100: Versuch Schnittregime: Mittlerer Ertrag an Efeublättern (g TM/m²) in Abhängigkeit vom Schnittregime. Feldversuche Artern 2006 – 2008. T=Standardfehler.

Die niedrigsten Blatt- und Stielerträge traten bei allen Varianten im dritten Versuchsjahr auf. Die höchsten zeigten sich bei der 1-Schnitt-Variante im zweiten Versuchsjahr. In jedem der drei Versuchsjahre hatte das Schnittregime einen signifikanten Einfluss auf den Ertrag an Blattdroge. Mit Ausnahme des dritten Versuchsjahres traf dies auch bei den Stielerträgen zu. In den ersten beiden Versuchsjahren wurden bei der 1-Schnitt-Variante deutlich höhere Erträge erzielt als bei den anderen beiden Varianten.

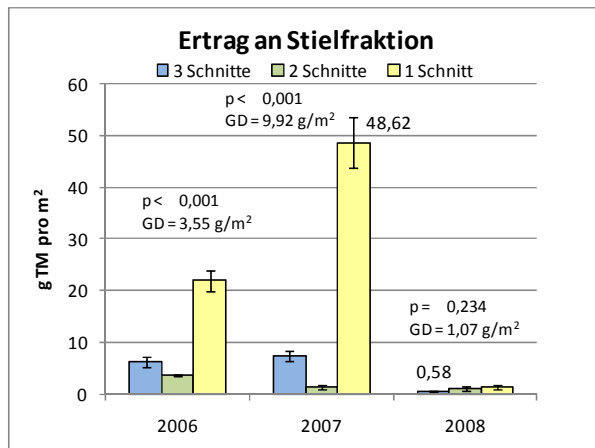


Abb. 101: Versuch Schnittregime: Mittlerer Ertrag (g TM/m²) an Efeu-Stiefraction in Abhängigkeit von Schnittregime und Versuchsjahr. Feldversuche Artern 2006 – 2008. p = Signifikanzwert. T= Standardfehler. GD = Grenzdifferenz (5 %).

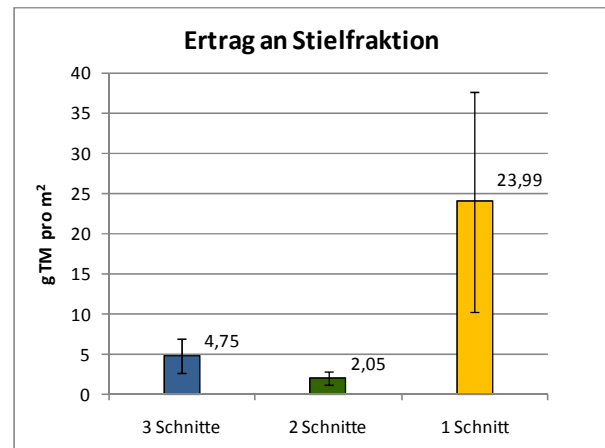


Abb. 102: Versuch Schnittregime: Mittlerer Ertrag (g TM/m²) an Efeu-Stiefraction in Abhängigkeit vom Schnittregime. Feldversuche Artern 2006 – 2008. T=Standardfehler.

Im Gesamtmittel lag der Ertrag an Stiefraction bei 10,27 g TM/m². Der niedrigste Stielsertrag wurde im dritten Jahr 2008 mit 0,58 g TM/m² in der 3-Schnitt-Variante erzielt, der höchste mit 48,62 g TM/m² in der 1-Schnitt-Variante im zweiten Versuchsjahr (Abb. 101). Der mittlere jährliche Ertrag an Stiefraction war mit 23,99 g TM/m² in der 1-Schnitt-Variante, bei der die Werte stark variierten, am höchsten. Die 3-Schnitt und die 2-Schnitt-Variante (4,69 und 2,05 g TM/m²) erbrachten deutlich niedrigere Stielserträge (Abb. 102). Die niedrigste Ertragsleistung trat bei den Blättern der 1-Schnitt-Variante und bei den Stielen der 2-Schnitt-Variante auf. Die höchsten Erträge beider Fraktionen traten in der 1-Schnitt-Variante auf (Abb. 100 u. 102).

Die Blatterträge lagen im Gesamtmittel bei einem Jahresertrag von 56,60 g TM/m². Mit 6,91 g/m² trat der niedrigste Ertrag im dritten Versuchsjahr in der 3-Schnitt-Variante auf. Den höchsten Blattertrag erzielte die 1-Schnitt-Variante im zweiten Versuchsjahr mit 201,30 g/m² (Abb. 99). Der mittlere jährliche Blattertrag war mit 103,51 g TM/m² in der 1-Schnitt-Variante deutlich höher als in der 3-Schnitt und in der 2-Schnitt-Variante (28,94 und 37,35 g TM/m²). Die mittleren Jahreserträge variierten in der 1-Schnitt-Variante stärker als in den anderen (Abb. 100). Die 3-Schnitt- und die 1-Schnitt-Variante verzeichneten vom ersten zum zweiten Versuchsjahr einen Ertragszuwachs und gingen in ihrer Ertragsleistung zum dritten Jahr zurück. Diese Ertragsdynamik war bei der 1-Schnitt-Variante am deutlichsten ausgeprägt. Die 2-Schnitt-Variante nahm in ihrer Ertragsleistung im Verlauf der drei Versuchsjahre kontinuierlich ab (Abb. 99 und 101).

Bei Betrachtung der Dynamik der Blatt- und Stielserträge im Jahresverlauf (Abb. 103 und 104) zeigte sich, dass sich die Ergebnisse beider Merkmale ähneln. So wurden die höchsten Erträge meist bei den späten Ernten erzielt. Besonders ausgeprägte Ähnlichkeit zeigte sich zwischen den Ergebnisse der Spätsommerernte der 3-Schnitt-Variante und jenen der 1-Schnitt-Variante, deren einziger Schnitttermin ebenfalls im Spätsommer lag. Hier traten die höchsten Erträge im zweiten Versuchsjahr auf und die niedrigsten im dritten. Auch bei der 2-Schnitt-Variante ähnelten sich die Resultate der Blatt- und der Stielserträge. Im zweiten Versuchsjahr gingen die Erträge von der ersten zur zweiten Ernte zurück, während sie im ersten und dritten Versuchsjahr anstiegen.

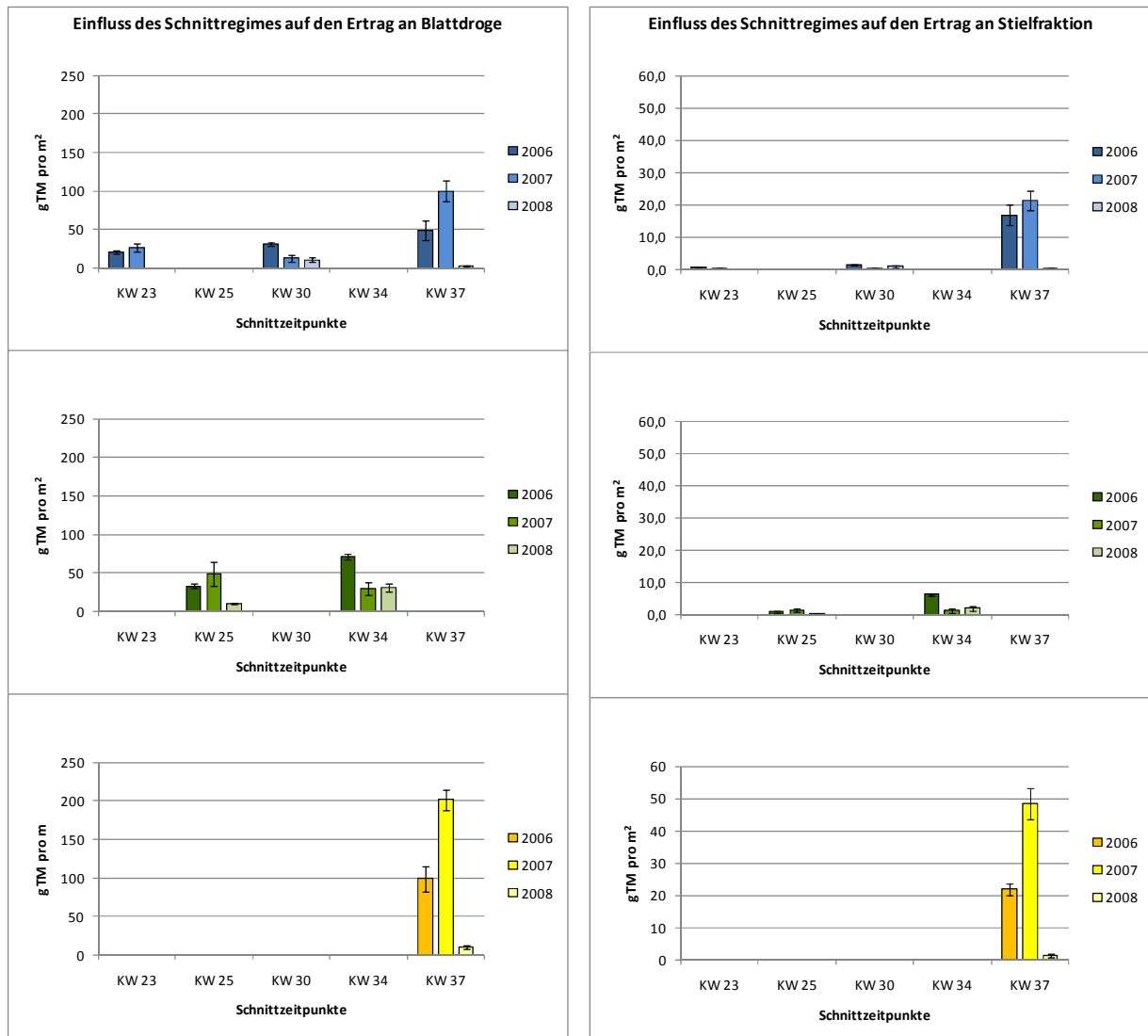


Abb. 103: Versuch Schnittregime: Mittlerer Ertrag an Efeublättern (g TM/m^2) in Abhängigkeit von Schnittregime, Erntetermin (KW=Kalenderwoche) und Versuchsjahr. Feldversuche Artern 2006 – 2008. T=Standardfehler.

Abb. 104: Versuch Schnittregime: Mittlerer Ertrag an Stielfraktion (g TM/m^2) in Abhängigkeit von Schnittregime, Erntetermin (KW=Kalender-woche) und Versuchsjahr. Feldversuche Artern 2006 – 2008. T=Standardfehler.

EINTROCKNUNGSVERHÄLTNIS VON BLATT- UND STIELFRAKTION

Insgesamt wirkte sich das Schnittregime weder auf das Eintrocknungsverhältnis der Blätter noch auf jenes der Stiele signifikant aus. Im Gesamtmittel betrug es bei den Blättern 1 : 3,05 und bei den Stielen 1 : 3,81.

Zwar unterschieden sich die Blatt-Eintrocknungsverhältnisse der verschiedenen Varianten in jedem Jahr signifikant voneinander. Jedoch traten diese Unterschiede stets an anderen Stellen auf, so dass sich keine klare Tendenz ergibt (Abb. 105). Die Gesamtmittelwerte der einzelnen Varianten sind 1 : 2,99 (3 Schnitte), 1 : 3,01 (2 Schnitte) und 1 : 3,15 (1 Schnitt, Abb. 106) und liegen auf sehr ähnlichem Niveau. Damit sind die Unterschiede zwischen den Varianten in den einzelnen Erntejahren überwiegend auf wetterbedingte Einflüsse im Jahresverlauf zurückzuführen und nur bedingt auf das Schnittregime. Das niedrigste Blatt-Eintrocknungsverhältnis (1 : 2,56) trat bei der 2-Schnitt-Variante im ersten Versuchsjahr und das höchste (1 : 3,79) bei der 1-Schnitt-Variante im zweiten Versuchsjahr auf.

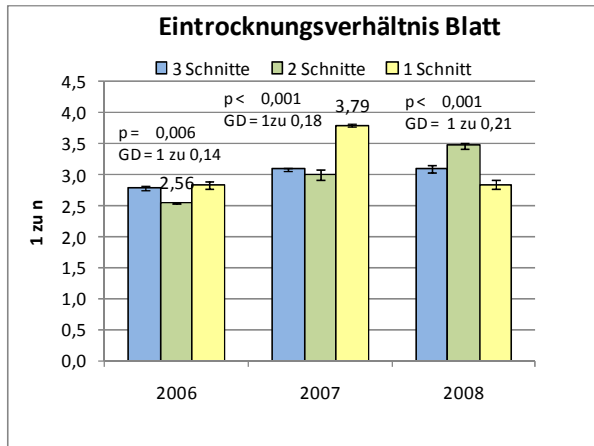


Abb. 105: Versuch Schnittregime: Mittleres Eintrocknungsverhältnis (1 zu n) von Efeu-Blättern in Abhängigkeit von Schnittregime und Versuchsjahr. Feldversuche Artern 2006 – 2008. p = Signifikanzwert. T= Standardfehler. GD = Grenzdifferenz (5 %).

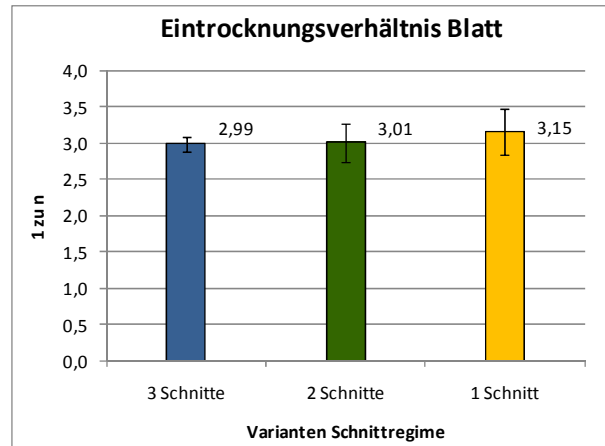


Abb. 106: Versuch Schnittregime: Mittleres Eintrocknungsverhältnis (1 zu n) von Efeu-Blättern in Abhängigkeit vom Schnittregime. Feldversuche Artern 2006 – 2008. T=Standardfehler.

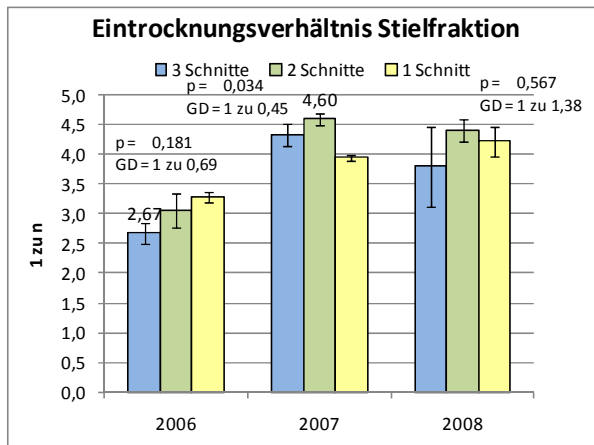


Abb. 107: Versuch Schnittregime: Mittleres Eintrocknungsverhältnis (1 zu n) von Efeu-Stielfraktion in Abhängigkeit von Schnittregime und Versuchsjahr. Feldversuche Artern 2006 – 2008. p = Signifikanzwert. T= Standardfehler. GD = Grenzdifferenz (5 %).

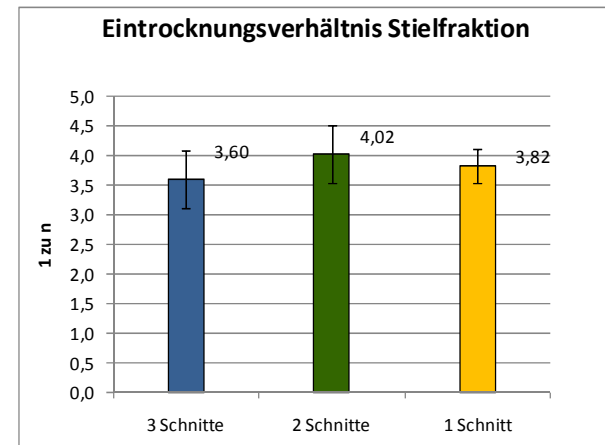


Abb. 108: Versuch Schnittregime: Mittleres Eintrocknungsverhältnis (1 zu n) von Efeu-Stielfraktion in Abhängigkeit vom Schnittregime. Feldversuche Artern 2006 – 2008. T=Standardfehler.

Wie die Eintrocknungsverhältnisse der Blätter liegen auch jene der Stiele (Gesamtmittelwerte je Variante) mit 1 : 3,60 (1-Schnitt-Variante), 1 : 4,02 (2-Schnitt-Variante) und 1 : 3,82 (1-Schnitt-Variante) auf ähnlichem Niveau (Abb. 108). Tendenziell zeigten sich insgesamt die höchsten Stiel-Eintrocknungsverhältnisse im zweiten und die niedrigsten im ersten Versuchsjahr. Der niedrigste Wert trat mit 1 : 2,67 bei der 3-Schnitt-Variante im ersten Versuchsjahr auf, der höchste (1 : 4,6) bei der 2-Schnitt-Variante im zweiten Versuchsjahr (Abb. 107).

RELATIVER ANTEIL DER STIELFRAKTION AN DER HERBA TM

Das Schnittregime hatte in jedem der drei Versuchsjahre einen signifikanten Einfluss auf den relativen Anteil an Stielfraktion (Sprosstiele ohne Blätter und Blattstiele) am Gesamtertrag Herba TM. Stets war er bei der 1-Schnitt-Variante am höchsten und bei der 2-Schnitt-Variante am niedrigsten. Im dritten Versuchsjahr waren die Unterschiede nicht so deutlich ausgeprägt wie in den beiden vorangegangenen Jahren. Hier war der Wert bei der 1-Schnitt-Variante zwar nach wie vor am höchsten, er unterschied sich jedoch nicht mehr so deutlich von jenem der 2-Schnitt-Variante. Im Gesamtmittel lag der relative Anteil der Stielfraktion an der Gesamttrockenmasse des Ernteguts bei 9,90 % TM. Der niedrigste Wert trat mit 2,97 % TM bei der 2-Schnitt-Variante des zweiten Versuchsjahrs auf und der höchste mit 19,34 % TM bei der 1-Schnitt-Variante des gleichen Jahres.

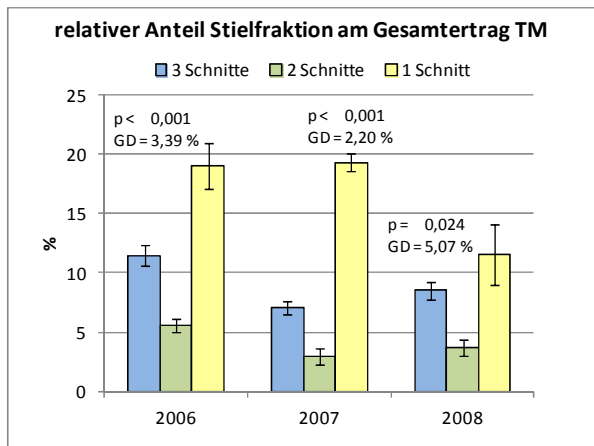


Abb. 109: Versuch Schnittregime: Mittlerer relativer Anteil der Efeu-Stielfraktion am Gesamtertrag in Abhängigkeit von Schnittregime und Versuchsjahr. Feldversuche Artern 2006 – 2008. p = Signifikanzwert. T= Standardfehler. GD = Grenzdifferenz (5 %).

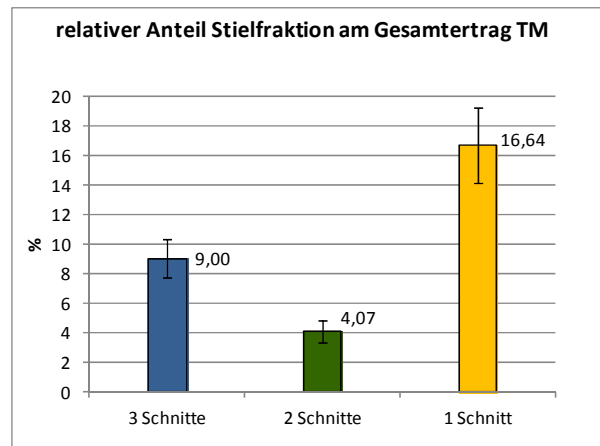


Abb. 110: Versuch Schnittregime: Mittlerer relativer Anteil der Efeu-Stielfraktion am Gesamtertrag in Abhängigkeit vom Schnittregime. Feldversuche Artern 2006 – 2008. T=Standardfehler.

In ihrem relativen Verhältnis zueinander ähnelten sich die Ergebnisse der 3- und der 2-Schnitt-Variante, da die niedrigsten Werte im ersten Versuchsjahr und die niedrigsten im zweiten auftraten. Bei der 1-Schnitt-Variante hingegen zeigten sich die höchsten Werte im zweiten Versuchsjahr (Abb. 109). Der relative Anteil der Stielfraktion am Gesamtertrag nahm mit Fortschreiten der Vegetationsperiode zu, wobei der größte Anstieg bei der 3-Schnitt-Variante in den ersten beiden Versuchsjahren vom zweiten zum dritten Ernteschnitt zu beobachten war. Im dritten Versuchsjahr entfiel hier die erste Ernte, wodurch die Ernte in KW 30 faktisch zur ersten Ernte wurde. Die Werte lagen hier auf ähnlichem Niveau wie bei der nachfolgenden Ernte. Die relativen Stielanteile der Spätsommerernten (KW 37) bei der 3-Schnitt-Variante nahmen von Jahr zu Jahr deutlich ab.

Bei der 2-Schnitt-Variante, deren spätestes Erntetermin in der KW 34 lag, stiegen die Werte zwar ebenfalls im Verlauf der Vegetationsperiode an. Sie erreichten jedoch nie das Niveau der Spätsommerschnitte der 3- und der 1-Schnitt-Variante, die in der KW 37 stattfanden. Bei der 1-Schnitt-Variante waren die relativen Stielanteile der ersten beiden Versuchsjahre auf ähnlichem Niveau, während der Wert im dritten Versuchsjahr deutlich absank (Abb. 111).

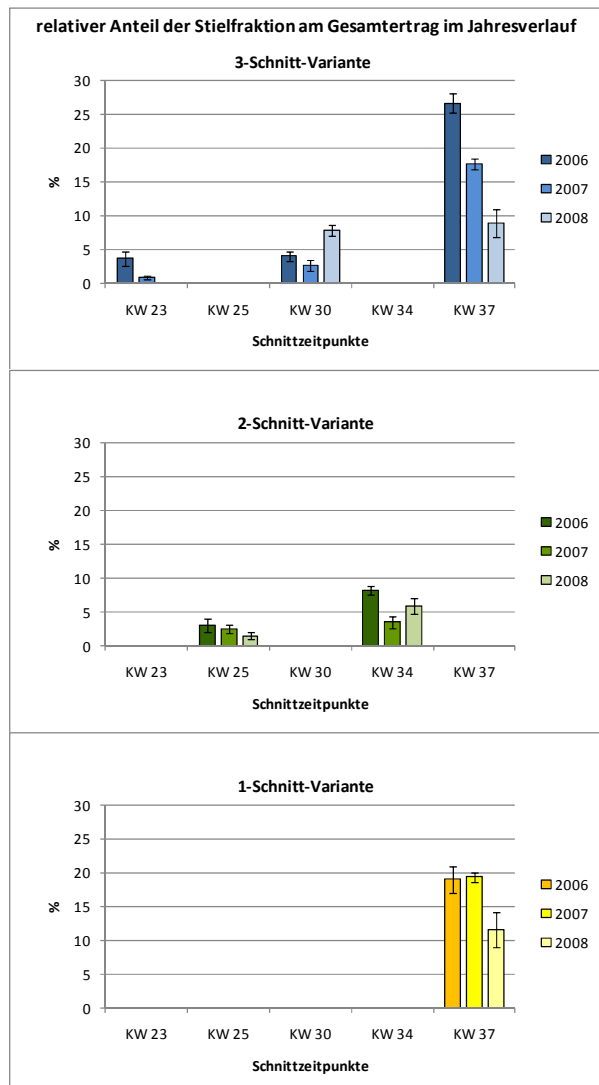


Abb. 111: Versuch Schnittregime: Mittlerer relativer Anteil der Efeu-Stielfraktion am Gesamtertrag in Abhängigkeit von Schnittregime, Erntetermin (KW=Kalenderwoche) und Versuchsjahr. Feldversuche Artern 2006 – 2008. T=Standardfehler.

4.3.3 INHALTSSTOFFE

hederacosid C IN DER BLATTDROGE

Im Gesamtmittel betrug der Hederacosid-C-Gehalt in der Blattdroge 9,49 % TM. Mit 9,50 % TM (3-Schnitt-Variante), 9,49 % TM (2-Schnitt-Variante) und 9,49 % TM (1-Schnitt-Variante) unterschieden sich die verschiedenen Varianten nicht signifikant voneinander (Abb. 113). In den einzelnen Versuchsjahren traten jedoch durchaus Unterschiede auf. So zeigte sich im ersten Versuchsjahr ein signifikanter Einfluss des Schnittregimes auf den Hederacosid-C-Gehalt. Der Gehalt bei der 1-Schnitt-Variante war mit 11,82 % TM signifikant höher als bei der 2-Schnitt-Variante (11,23 % TM) und bei der 3-Schnitt-Variante (10,98 % TM).

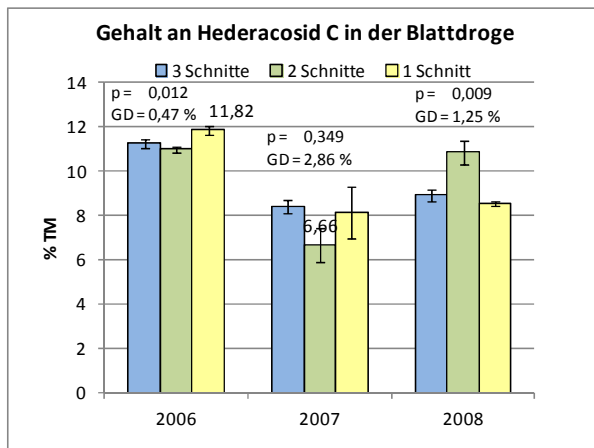


Abb. 112: Versuch Schnittregime: Mittlerer Hederacosid-C-Gehalt in Efeublättern in Abhängigkeit von Schnittregime und Versuchsjahr. Feldversuche Artern 2006 – 2008. p = Signifikanzwert. T= Standardfehler. GD = Grenzdifferenz (5 %).

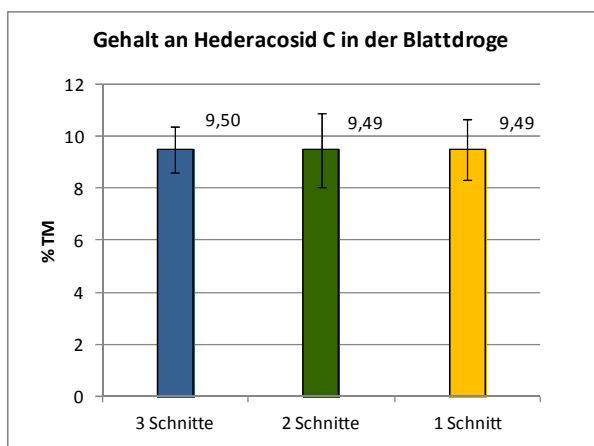
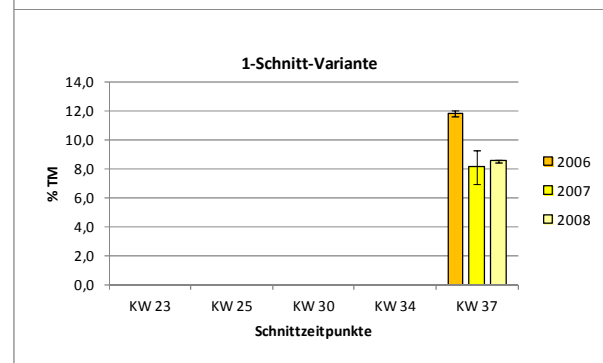
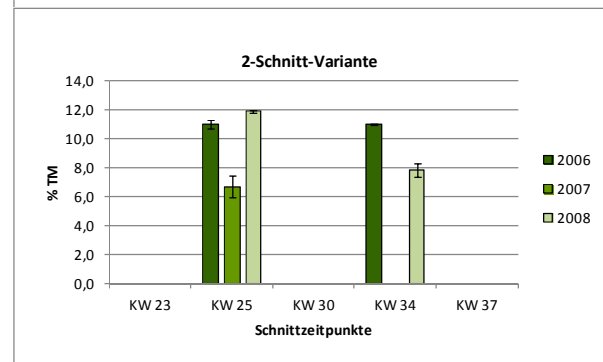
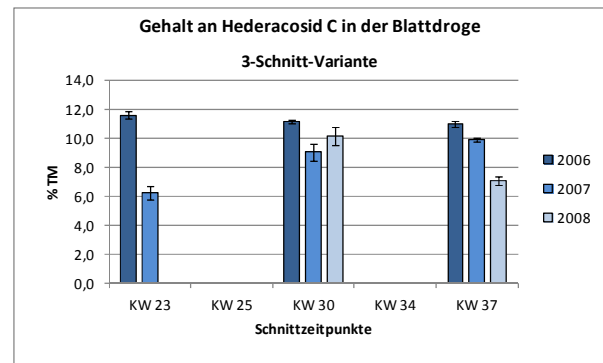


Abb. 113: Versuch Schnittregime: Mittlerer Hederacosid-C-Gehalt in Efeublättern in Abhängigkeit vom Schnittregime. Feldversuche Artern 2006 – 2008. T=Standardfehler.

Abb. 114: Versuch Schnittregime: Mittlerer Hederacosid-C-Gehalt in Efeublättern in Abhängigkeit von Schnittregime, Erntetermin (KW=Kalenderwoche) und Versuchsjahr.

Im zweiten Versuchsjahr traten keine signifikanten Unterschiede auf. Allerdings traten hier bei allen Varianten die niedrigsten Hederacosid-C-Gehalte auf. Insgesamt die höchsten Gehalte zeigten sich im ersten Versuchsjahr. Im dritten Versuchsjahr war der Gehalt der 2-Schnitt-Variante (10,82 % TM) signifikant höher als bei der 1-Schnitt-Variante (8,89 % TM) und der 3-Schnitt-Variante (8,54 % TM). Die Werte bewegten sich zwischen 6,66 % TM (2-Schnitt-Variante im zweiten Versuchsjahr) und

11,82 % TM (1-Schnitt-Variante im ersten Versuchsjahr, Abb. 112). Die Hederacosid-C-Gehalte zu den einzelnen Schnittzeitpunkten der verschiedenen Varianten variierten stark. Eine klare Tendenz war nicht zu erkennen. So sanken sie im Jahresverlauf bei der 3-Schnitt-Variante im ersten Versuchsjahr ab, während sie im zweiten Versuchsjahr anstiegen. Nur bei der 2-Schnitt-Variante trat im dritten Versuchsjahr beim ersten Schnitt der höchste Wert auf (11,86 % TM), während bei den anderen Varianten die Gehalte Jahr für Jahr tendenziell abfielen. Die 1-Schnitt-Variante lieferte im ersten Versuchsjahr mit 11,82 % TM Hederacosid C den höchsten Gehalt dieses Versuchsjahres. Anschließend gingen die Werte mit 8,12 % TM im zweiten Versuchsjahr und 8,54 % TM im dritten stärker zurück als bei den anderen Varianten (Abb. 114).

α-HEDERIN IN DER BLATTDROGE

Der Gesamtmittelwert lag bei 0,15 % TM α-Hederin in der Blattdroge. Mit 0,21 % TM trat der höchste Wert bei der 3-Schnitt-Variante und der niedrigste mit 0,09 % TM bei der 2-Schnitt-Variante auf. Mit 0,15 % TM nahm der α-Hederin Gehalt der 1-Schnitt-Variante die mittlere Position ein (Abb. 116).

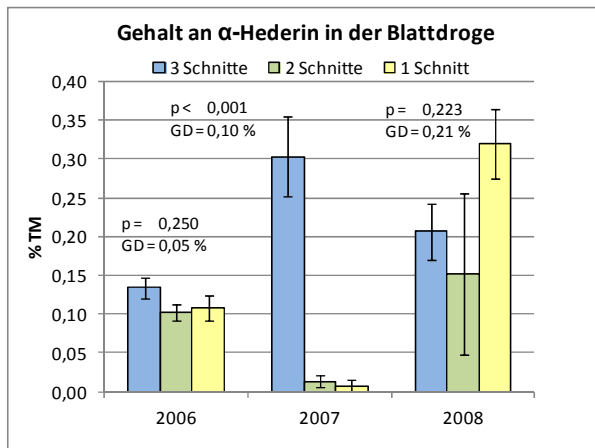


Abb. 115: Versuch Schnittregime: Mittlerer α-Hederin-Gehalt in Efeu-Blättern in Abhängigkeit von Schnittregime und Versuchsjahr. Feldversuche Artern 2006 – 2008. p = Signifikanzwert. T= Standardfehler. GD = Grenzdifferenz (5 %)

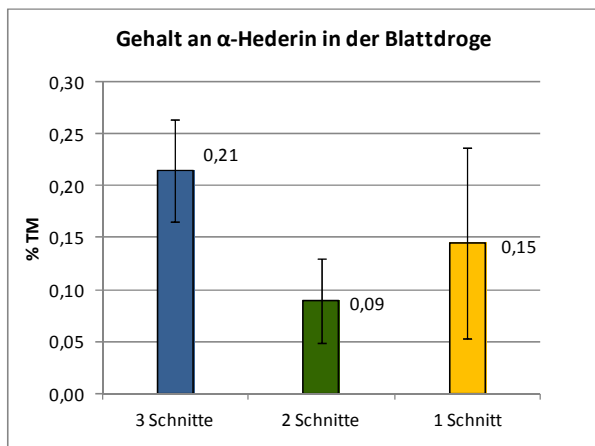


Abb. 116: Versuch Schnittregime: Mittlerer α-Hederin-Gehalt in Efeu-Blättern in Abhängigkeit vom Schnittregime. Feldversuche Artern 2006 – 2008. T=Standardfehler.

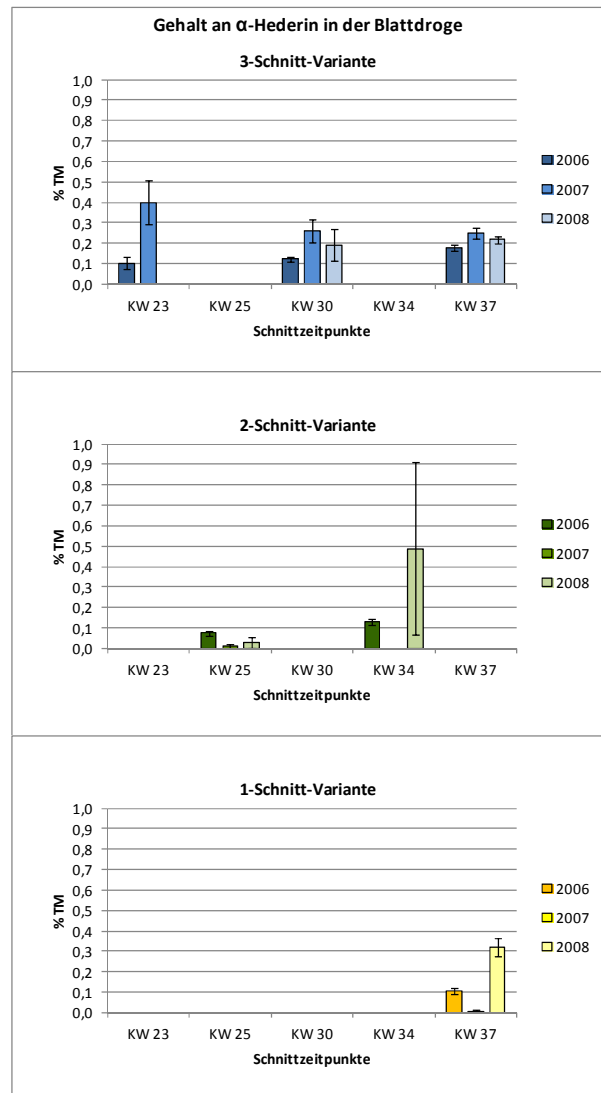


Abb. 117: Versuch Schnittregime: Mittlerer α-Hederin-Gehalt in Efeu-Blättern in Abhängigkeit von Schnittregime, Erntetermin (KW=Kalenderwoche) und Versuchsjahr.

Nur im zweiten Versuchsjahr hatte das Schnittregime einen signifikanten Einfluss auf den α -Hederingehalt in der Blattdroge. Hier hatte die 3-Schnitt-Variante mit 0,303 % TM einen deutlich höheren Gehalt als die 2-Schnitt-Variante mit 0,013 % TM und die 1-Schnitt-Variante mit 0,008 % TM (Abb. 116). Im Verlauf der Vegetationsperiode nahm der α -Hederingehalt bei der 3-Schnitt-Variante im ersten Versuchsjahr zu und im zweiten Versuchsjahr ab. Im dritten Versuchsjahr, in dem der erste Schnitt entfiel, lagen die Werte bei den Schnitten in KW 30 und 37 mit 0,019 % TM und 0,22 % TM auf ähnlichem Niveau. Stets waren die Gehalte im zweiten Versuchsjahr höher als im ersten und im dritten. Hingegen waren bei der 2-Schnitt-Variante die Werte im zweiten Versuchsjahr stets am niedrigsten. Darüber hinaus streuten die Einzelwerte bei der zweiten Ernte im dritten Versuchsjahr hier sehr stark. Auch bei der 1-Schnitt-Variante traten wie bei der 2-Schnitt-Variante, die niedrigsten Gehalte im zweiten Versuchsjahr auf. In ihrer Rangfolge ähnelten die Ergebnisse der 1-Schnitt-Variante jenen der 2-Schnitt-Variante bei der zweiten Ernte (Abb. 117)

CHLOROGENSÄURE

Im Gesamtmittel betrug der Chlorogensäuregehalt in der Blattdroge 2,43 % TM. Mit 2,40 % TM (3 Schnitte), 2,30 % TM (2 Schnitte) und 2,60 % TM (1 Schnitt) unterschieden sich die verschiedenen Schnittregimevarianten in ihren Gesamtmittelwerten nicht wesentlich voneinander (Abb. 119). Bei den Jahresmittelwerten trat der niedrigste Chlorogensäuregehalt mit 1,81 % TM bei der 2-Schnitt-Variante im zweiten Versuchsjahr auf und der höchste mit 3,38 % TM bei der 1-Schnitt-Variante ebenfalls im zweiten Versuchsjahr auf. Im zweiten und dritten Versuchsjahr zeigte sich ein signifikanter Einfluss des Schnittregimes auf den Chlorogensäuregehalt, während im ersten Versuchsjahr die Gehalte auf ähnlichem Niveau lagen. Die 2-Schnitt-Variante wies im zweiten Versuchsjahr mit 1,81 % TM den niedrigsten Gehalt auf, wohingegen sie im dritten Versuchsjahr mit 3,09 % TM den höchsten erbrachte. Bei der 3- und bei der 1-Schnitt-Variante traten die höchsten Chlorogensäuregehalte im zweiten Versuchsjahr auf, während bei der 2-Schnitt-Variante hier die niedrigsten Werte vorlagen (Abb. 118).

Bei der 3-Schnitt-Variante stiegen die Werte im ersten Versuchsjahr im Verlauf der Vegetationsperiode kontinuierlich an, während sie in den beiden folgenden Versuchsjahren konstant blieben. Bei der 2-Schnitt-Variante lagen die Werte mit Ausnahme jenes der ersten Ernte im dritten Versuchsjahr, welcher vergleichsweise hoch war, auf ähnlichem Niveau. Bei der 1-Schnitt-Variante lag der Chlorogensäuregehalt im zweiten Versuchsjahr deutlich höher als in den beiden anderen. Damit ähnelten die Ergebnisse der 1-Schnitt-Variante jenen der 3-Schnitt-Variante in der dritten Ernte (Abb. 120).

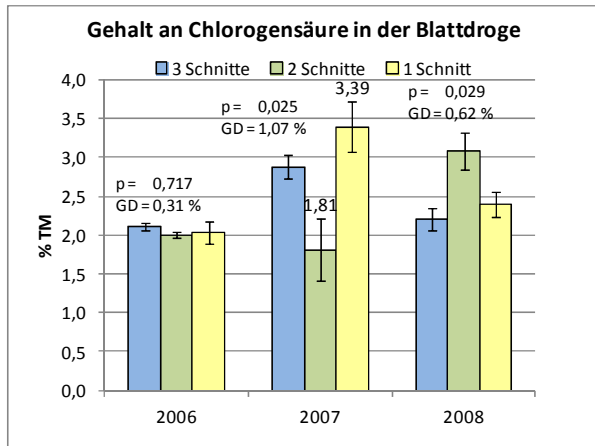


Abb. 118: Versuch Schnittregime: Mittlerer Chlorogensäure-Gehalt in Efeublättern in Abhängigkeit von Schnittregime und Versuchsjahr. Feldversuche Artern 2006 – 2008. p = Signifikanzwert. T= Standardfehler. GD = Grenzdifferenz (5 %).

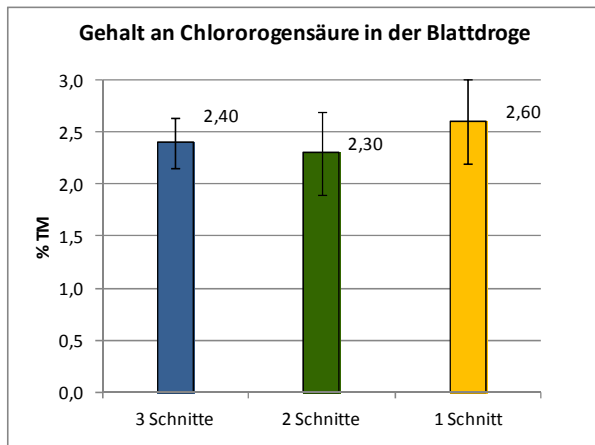


Abb. 119: Versuch Schnittregime: Mittlerer Chlorogensäure-Gehalt in Efeublättern in Abhängigkeit vom Schnittregime. Feldversuche Artern 2006 – 2008. T=Standardfehler.

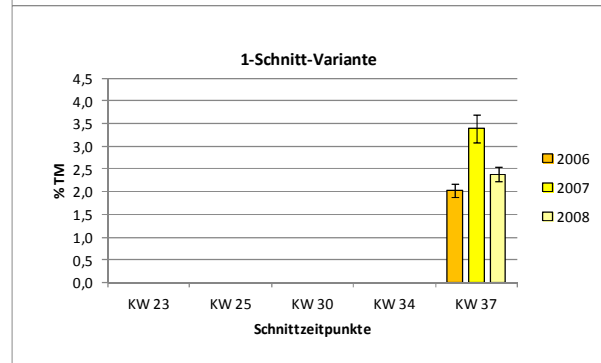
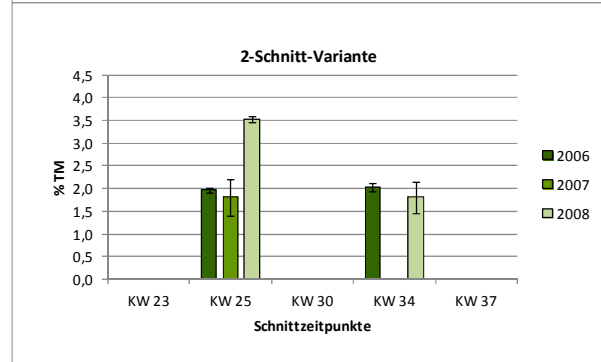
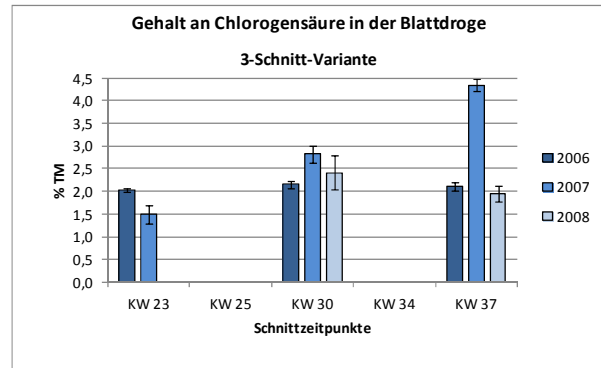


Abb. 120: Versuch Schnittregime: Mittlerer Chlorogensäure-Gehalt in Efeublättern in Abhängigkeit von Schnittregime, Erntetermin (KW=Kalenderwoche) und Versuchsjahr. Feldversuche Artern 2006 – 2008. T=Standardfehler.

RUTOSID

Der Gesamtmittelwert betrug 1,10 % TM Rutosid in der Blattdroge. Mit 1,04 % TM (3 Schnitte), 1,06 % TM (2 Schnitte) und 1,19 % TM (1 Schnitt) unterschieden sich die Varianten nicht wesentlich voneinander. Tendenziell stieg der Rutosidgehalt mit abnehmender Schnitthäufigkeit (Abb. 122). Auch in den einzelnen Versuchsjahren zeigte sich kein signifikanter Einfluss des Schnittregimes auf den Gehalt an Rutosid in der Blattdroge. Lediglich im dritten Versuchsjahr wurde ein Effekt mit p = 0,052 sichtbar. Bei der 3- und der 2-Schnitt-Variante sanken die Rutosidgehalte von Jahr zu Jahr, während bei der 2-Schnitt-Variante der niedrigste Wert im zweiten und der höchste im ersten Versuchsjahr auftrat (Abb. 121). Bei der 3-Schnitt-Variante sanken die Werte im Verlauf des ersten Versuchsjahres, während sie im zweiten Versuchsjahr anstiegen. Im dritten Versuchsjahr, in welchem hier die erste Ernte entfiel, traten bei den Ernten in KW 30 und 37 Werte auf ähnlichem Niveau auf. Bei der 2-Schnitt-Variante liegen für die zweite Ernte im zweiten Versuchsjahr keine Werte vor. Daher kann hier lediglich die Aussage getroffen werden, dass der Rutosidgehalt in der ersten Ernte

deutlich niedriger war als in den ersten Ernten des ersten und des dritten Versuchsjahres. Im dritten Versuchsjahr sank der Rutosidgehalt von der ersten zur zweiten Ernte stark ab, während der im ersten Versuchsjahr konstant geblieben war. Bei der 3-Schnitt-Variante sanken die Rutosidgehalte von Jahr zu Jahr (Abb. 123).

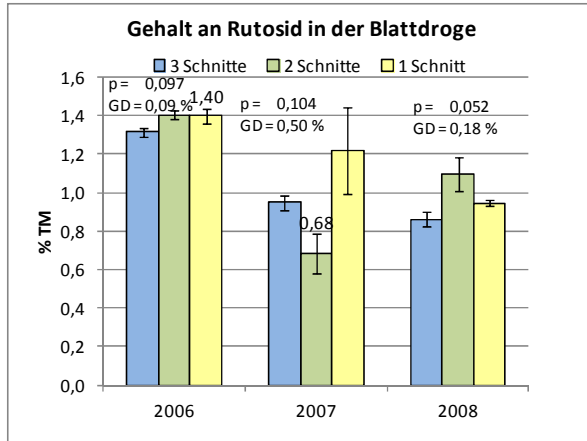


Abb. 121: Versuch Schnittregime: Mittlerer Rutosid-Gehalt in Efeublättern in Abhängigkeit von Schnittregime und Versuchsjahr. Feldversuche Artern 2006 – 2008. p = Signifikanzwert. T= Standardfehler. GD = Grenzdifferenz (5 %).

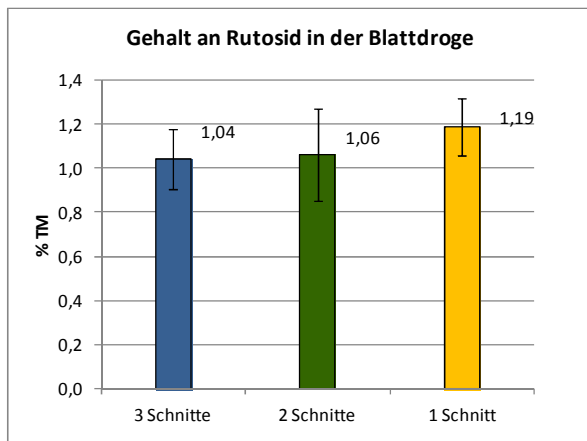


Abb. 122: Versuch Schnittregime: Mittlerer Rutosid-Gehalt in Efeublättern in Abhängigkeit vom Schnittregime. Feldversuche Artern 2006 – 2008. T=Standardfehler.

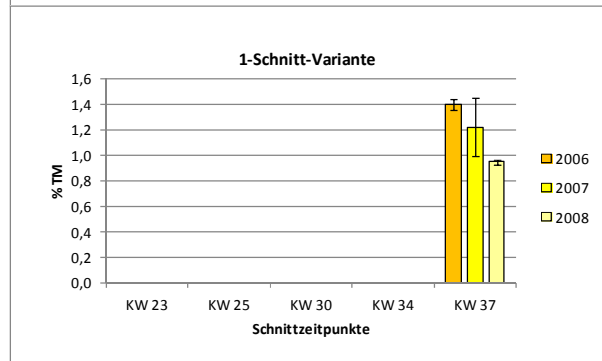
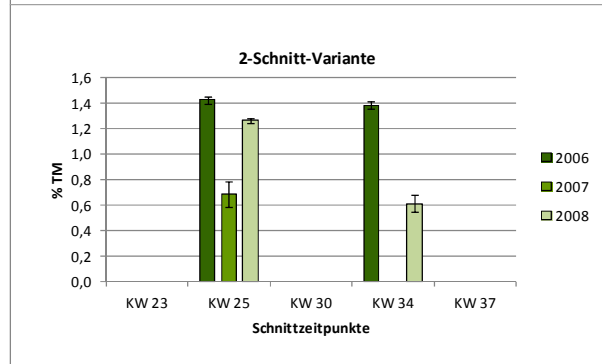
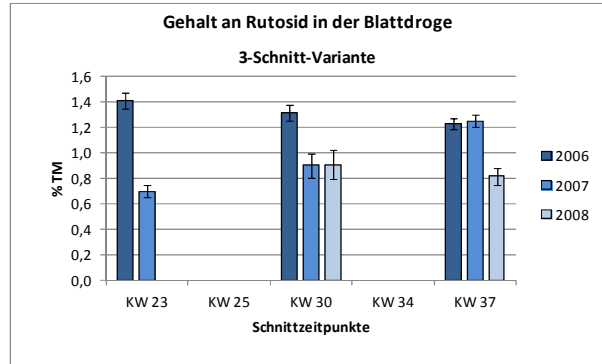


Abb. 123: Versuch Schnittregime: Mittlerer Rutosid-Gehalt in Efeublättern in Abhängigkeit von Schnittregime, Erntetermin (KW=Kalenderwoche) und Versuchsjahr. Feldversuche Artern 2006 – 2008. T=Standardfehler.

5. DISKUSSION

Ziel der vorliegenden Arbeit war es, geeignete Sorten und relevante Parameter für den kommerziellen feldmäßigen Anbau von Efeu zu ermitteln. Das Versuchskonzept sah vor, den Einfluss von Pflanzdichte, Ernteregime (Schnittregime) und Herkunft des Efeus auf die Ertragsleistung, morphologische Merkmale und den Inhaltsstoffgehalt zu ermitteln. Dabei muss berücksichtigt werden, dass sich neben den konzeptbedingten Einflüssen auch externe Faktoren auf die untersuchten Merkmale auswirkten. So unterlagen sämtliche Versuche dem Einfluss von Klima und Standort. Darüber hinaus wurde die ausdauernde, immergrüne Pflanze Efeu als Dauerkultur im Verlauf von drei Versuchsjahren geprüft, so dass auch das Pflanzenalter und das Alter des jeweiligen Aufwuchses eine Rolle spielten. Somit gehen die Ergebnisse dieser Arbeit auf Wechselwirkungen zwischen externen und konzeptbedingten Einflussfaktoren zurück.

5.1 ERTRAGSLEISTUNG, REGENERATIONSVERMÖGEN UND WINTERHÄRTE

Bei einer perennierenden Kultur wie Efeu ist eine nachhaltige Ertragsleistung entscheidend. Diese zeichnet sich durch stabile Erträge auf möglichst hohem Niveau über die gesamte Kulturdauer aus. Efeu ist nur dann anbauwürdig, wenn er in der Lage ist, regelmäßige Beerntung über mehrere Kulturjahre zu kompensieren. Damit hängt die Ertragsleistung maßgeblich von Eigenschaften wie Regenerationsvermögen und Verhalten gegenüber Klimafaktoren, insbesondere Wintereinflüssen, ab.

VERSUCH HERKUNFTSVERGLEICH

Im Herkunftsvergleich zeigte sich, dass die Herkünfte 06 und 17 mit Abstand die höchste Ertragsleistung aufwiesen. Gleichzeitig waren sie die einzigen Herkünfte, die im dritten Versuchsjahr noch relativ hohe Erträge erzielten, welche noch über jenen des ersten Versuchsjahres lagen. Alle anderen Herkünfte reagierten auf die Beerntung mit deutlichem Ertragsrückgang.

Beide Herkünfte gehören der Art bzw. Subspezies *Hedera hibernica* an, die auch schon von McALLISTER & RUTHERFORD, (1990) als besonders frohwüchsig beschrieben wurde. Der mittlere jährliche Blattertrag der meisten Herkünften lag unter 50 g TM/m², während die Herkünfte 06 und 17 eine Ertragsleistung von 344,04 g TM/m² aufwiesen. Neben den Herkünften 06 und 17 lieferte nur eine weitere Herkunft (16) über 100 g TM/m². Ohne die Herkünfte 06 und 17 lag der mittlere jährliche Blattertrag bei 49,12 g TM/m². Rechnerisch entspricht dies Hektarerträgen von 490 kg TM Blattdroge bzw. 3 440 kg TM Blattdroge. Parzellenergebnisse aus Feldversuchen sind nur eingeschränkt auf Praxismaßstäbe des Feldbaus übertragbar, unter denen mit geringeren Erträgen zu rechnen ist. Die errechnete Efeu-Ertragsleistung der Herkünfte 06 und 17 von durchschnittlich 3,4 t Blatt TM/ha liegt deutlich über den üblichen Erträgen von feldmäßig angebauter Pfefferminze und Melisse mit ca. 2,5 t Blatt TM/ha. Es ist also davon auszugehen, dass die Efeu-Herkünfte 06 und 17 unter Praxisbedingungen des Feldbaus Ertragsleistungen zeigen können, die mit jenen von anderen kommerziell angebauten Blattdrogen vergleichbar sind.

Das Ertragspotenzial von Efeu wird wesentlich durch Regenerationsvermögen und Winterhärte bestimmt. Zur Winterhärte finden sich verschiedene Aussagen in der Literatur (Bundessortenamt, 2008). So wird die Sorte „Woerner“ (Herkunft 01) als winterhärter beschrieben als die *hibernica*-Typen (Herkünfte 06 und 17) (Bundessortenamt, 2008). Auch im Herkunftsvergleich zeigte sich die Sorte „Woerner“ als relativ winterhart, im Gegensatz zu den Literaturangaben und im Vergleich mit den anderen Herkünften erwiesen sich jedoch die *hibernica*-Typen ebenfalls als ziemlich winterhart.

Diese Diskrepanz ist darauf zurückzuführen, dass in der Literatur die Sorten bei ungestörtem Wachstum beurteilt wurden, während in den vorliegenden Versuchen fortlaufend Ernteschnitte durchgeführt wurden. In den Versuchen „Herkunftsvergleich“ und „Pflanzdichte“ wurden jeweils zwei Ernteschnitte pro Jahr durchgeführt. Dabei fand der zweite Ernteschnitt relativ spät, in der ersten Septemberhälfte, statt. Die Frosthärte wurde im folgenden Frühjahr anhand der vitalen Blattmasse ermittelt. Je besser sich die Bestände noch vor Winter regeneriert hatten, desto mehr vitale Blattmasse war im Frühjahr vorhanden. Entsprechend ist die bonitierte „Frosthärte“ im Herkunftsvergleich eher als Wechselwirkung zwischen Regenerationsvermögen und Frosthärte der einzelnen Herkünfte anzusehen. Beide Eigenschaften wirken sich auf die Ertragsleistung aus. Welche die wichtigere Rolle spielte, lässt sich anhand der vorliegenden Daten nicht quantifizieren, da das Austreiben an den Ranken (im Gegensatz zum Austreiben an der Sprossbasis) in der vorliegenden Arbeit als Indikator für Winterhärte betrachtet wurde. Gleichzeitig trägt es jedoch auch zur Regeneration eines Bestandes bei.

VERSUCH PFLANZDICHTEN

Im Versuch Pflanzdichte (5,0 Pflanzstellen/m², 6,7 Pflanzstellen/m² und 10,0 Pflanzstellen/m²) zeigte sich, dass mit zunehmender Pflanzdichte die Ertragsleistung zunahm. Dabei traten bei der Variante mit der niedrigsten Pflanzdichte mit Abstand die niedrigsten Erträge auf, während sich die beiden anderen Varianten nicht so deutlich voneinander unterschieden. Mit Ausnahme der Frühjahrsernte im zweiten Versuchsjahr 2007 trat diese Rangfolge bei allen Ernten (zwei Ernten in jedem der drei Versuchsjahre) auf. Im dritten Versuchsjahr 2008 waren die Ertragsunterschiede zwar nicht mehr signifikant; dennoch war die Tendenz zunehmender Erträge bei zunehmender Pflanzdichte nachwievor erkennbar. Demnach hatten die Versuchsbestände auch nach drei Jahren die unterschiedlichen Pflanzdichten nicht vollständig kompensiert. Im zweiten Versuchsjahr 2007 wurden im Pflanzdichteversuch wie auch bei den anderen Versuchen die höchsten Erträge an Blattdroge verzeichnet, was auf die günstigen Wetterbedingungen dieses Jahres zurückzuführen ist. Der Frühling setzte im Vergleich mit den Jahren 2006 und 2008 deutlich früher ein und war durch überdurchschnittlich hohe Niederschläge und Temperaturen geprägt. In diesem Jahr waren Unterschiede in der Ertragsleistung zwischen den beiden Pflanzdichtevarianten mit 6,7 und 10,0 Pflanzstellen/m² nicht nachweisbar und nur die Variante mit 5,00 Pflanzstellen/m² wies mit Abstand die niedrigsten Erträge auf. Dies zeigt, dass eine möglichst hohe Pflanzdichte für den Kulturerfolg von Efeu wichtig ist. 5,0 Pflanzstellen/m² sind nicht ausreichend, jedoch bringt eine Steigerung über 6,7 Pflanzstellen/m² hinaus bei optimalen Wachstumsbedingungen keine signifikanten Ertragsvorteile.

VERSUCH SCHNITTREGIME

Im Versuch „Schnittregime“ (ein, zwei und drei Ernteschnitte pro Jahr), zeigte die 1-Schnitt-Variante im Mittel aller drei Versuchsjahre die höchste Ertragsleistung. Im ersten Versuchsjahr erreichte sie das 2,3-fache des Ertragsdurchschnitts (Blatt TM) der anderen zwei Varianten und im zweiten sogar das 4,7-fache. Im dritten Versuchsjahr hingegen ging hier der Ertrag stark zurück und war sogar niedriger als jener der 2-Schnitt-Variante. Bei Letzterer sank der Blattertrag im Verlauf der drei Versuchsjahre kontinuierlich, während die 3-Schnitt-Variante im zweiten Versuchsjahr 2007 den höchsten Ertrag hervorbrachte und anschließend im dritten stark abfiel und sogar einen niedrigeren Ertrag lieferte als im ersten Versuchsjahr.

Die Tatsache, dass alle Varianten im dritten Versuchsjahr die niedrigsten Erträge lieferten, zeigt, dass das Regenerationsvermögen der beprobten Efeu-Herkunft nicht ausreichte, um eine kontinuierliche

Beerntung über drei Jahre zu kompensieren. Allerdings fällt auf, dass die 2-Schnitt-Variante im dritten Jahr höhere Erträge abwarf als die anderen beiden Varianten. Dies ist die Folge des Schnittregimes dieser Variante, bei der der letzte Schnitt bereits in der 34. Kalenderwoche durchgeführt wurde, während die beiden anderen Varianten erst in der 37. KW beerntet wurden.

Das erklärt einerseits den durchschnittlich höheren Ertrag der 1-Schnitt-Variante (Mittel aller Versuchsjahre), die bis zur KW 37 ungestört wachsen konnte. Andererseits zog der spätere Schnittzeitpunkt der 1- und der 3-Schnitt-Variante letztendlich eine Ertragsminderung im dritten Jahr nach sich.

Unter natürlichen Bedingungen ist Efeu immergrün und besitzt durch das überdauernde Blattwerk im Frühling große Konkurrenzkraft gegenüber der umgebenden Vegetation. „Der Frühjahrsaustrieb setzt erst spät am Übergang von Frühling zu Sommer ein“ (DIERSCHKE, 2005). Der späte Frühjahrsaustrieb war auch in den Versuchen zu beobachten, jedoch trat während des Winters zusätzlich großer, mitunter sogar vollständiger Blattverlust ein. Da viele Ackerunkräuter bereits sehr früh im Jahr auftreten und durch eine rasche Jugendentwicklung charakterisiert sind, ist die durch winterlichen Blattverlust und späten Austrieb bedingte, geringe Konkurrenzkraft des Efeus problematisch für einen Feldanbau dieser Kultur.

Im Schnittregime-Versuch wurde zwar die Winterhärte nicht direkt bonitiert, dennoch wurden anhand der den Winter überdauernden Blattmasse Unterschiede zwischen den Varianten deutlich. Während die 1- und die 3-Schnitt-Variante im Verlauf des Winters nahezu alle Blätter verloren, zeigte die 2-Schnitt-Variante zu Beginn der Vegetationsperiode nur geringen Blattverlust (Abb. 124).



Abb. 124: Von links nach rechts: 3-, 2- und 1-Schnitt-Variante im Versuch Schnittregime, Anfang April 2007. Eigene Fotos.

Ein ähnliches Phänomen zeigte sich im Herkunftsvergleich. Hier blieben nur die ertragsstarken, also regenerationsfähigeren Herkünfte 06, 17 und die Adultform Herkunft 28 vom winterlichen Blattverlust verschont, obwohl auch hier die Herbsterte in der KW 37 erfolgte. Wuchsstärke Typen wie die Linien 06 und 17 (*Hedera hibernica*), sowie Adultformen sind in der Lage, auch späte Ernteschnitte zu kompensieren, während wuchsschwächere Typen (*Hedera helix*) durch einen späten Ernteschnitt in ihrer Winterhärte stark eingeschränkt werden.

Diese Ergebnisse werden auch in der Literatur bestätigt. Laut ANDERGASSEN & BAUER (2002) zeigen adulte Efeupflanzen eine größere Frosttoleranz als juvenile. Nach FISCHER & FELLER (1994, in METCALFE, 2005) scheint ein erhöhter Gehalt an wasserlöslichen Proteinen und Zuckern Bestandteil des Mechanismus zur Erzeugung der Frosttoleranz zu sein. Möglicherweise steht auch der hohe Rutosidgehalt der Adultform Herkunft 28 im Zusammenhang mit der großen Frosttoleranz dieser Linie. Nach ANDERGASSEN & BAUER (2002) kann Efeu nach einer ausreichenden Abhärtungsphase Temperaturen von bis zu -25°C tolerieren. Man kann folgern, dass bei einem späten Ernteschnitt (KW 37) die *helix*-Typen, im Gegensatz zu den *hibernica*-Typen vor dem Wintereinbruch keine ausreichende Frosttoleranz aufbauen konnten. Dies ist auf das insgesamt langsamere Wiederaustreiben der *helix*-Typen zurückzuführen, wodurch das Gewebealter der *helix*-Blätter zum Ende der Vegetationsperiode geringer war als jenes der *hibernica*-Blätter. Der Herbstaufwuchs der

hibernica-Typen konnte die Zeit bis zum Wintereinbruch besser für Assimilation und Einlagerung von Proteinen und Zuckern zum Aufbau von Frosttoleranz nutzen.

Für den feldmäßigen Praxisanbau ist ein einziger Ernteschnitt pro Saison das optimale Schnittregime, da auf diese Weise geringer Aufwand mit nachhaltigen Erträgen kombiniert wird. Der Ertragsaufbau setzt sich während der gesamten Vegetationsperiode fort. Daher bedeutet Ernteverfrühung gleichzeitig auch Ertragsverlust. Als Kompromiss zwischen Ertragsmaximierung und der Absicherung ausreichender Winterhärte sollte die Ernte unter mitteleuropäischen Klimabedingungen im August erfolgen, damit die Kultur vor dem Winter noch ausreichend regenerieren kann und überwinterndes Laub ausbildet. Darüber hinaus empfiehlt es sich, einen Anbaustandort zu wählen, der durch möglichst geringes Risiko von Kahlfrösten charakterisiert ist. Im europäischen Raum handelt es sich dabei um vom Golfstrom geprägte Regionen mit kühl-feuchten Sommern und milden Wintern, welche nach McALLISTER & RUTHERFORD (1990) das natürliche Hauptverbreitungsgebiet von *Hedera hibernica* sind.

5.2 BIOMASSEENTWICKLUNG, INTERNODIEN- UND BLATTSTIELLÄNGE, RELATIVER STIELANTEIL

VERSUCH HERKUNFTSVERGLEICH

Die Bonitur der Biomasseentwicklung fand jeweils vor jedem Ernteschnitt statt. Es handelt sich um eine subjektive Bewertung des optischen Eindrucks, den ein Bestand hinsichtlich seiner zu erwartenden Ertragsleistung hinterließ.

Die stärkste Biomasseentwicklung wiesen stets die *hibernica*-Typen (Herkunft 06 und 17) auf, was sich auch in der tatsächlichen Ertragsleistung widerspiegelte. Insgesamt machten die Versuchsbestände im Spätsommer einen ertragreicheren Eindruck als im Frühling, was sich bei den tatsächlichen Blatterträgen nicht so deutlich niederschlug. Allerdings waren die Erträge der Stielfraktion (Sprossachsen ohne Blätter und Blattstiele) bei den meisten Linien im Spätsommer höher als im Frühling. Das zeigt, dass der ertragreiche Gesamteindruck der Efeubestände mehr auf die Stielfraktion und weniger auf die Blattfraktion (Blätter mit Blattstielen) zurückgeht.

Hinsichtlich der Internodien- wie auch der Blattstielänge unterschieden sich die Herkünfte signifikant voneinander. Dabei fiel auf, dass die ertragreichsten Linien 06 und 17, gemeinsam mit der vergleichsweise ertragsarmen Linie 03 (mangelnde Frosthärte), die längsten Blattstiele und Internodien hatten. Im Hinblick auf die technische Beerntbarkeit eines Efeubestandes sind lange Internodien und Blattstiele von Vorteil, weil sie eine vergleichsweise große Bestandeshöhe bedingen, durch die mehr Blätter im Erntehorizont lokalisiert sind als in niedrigeren Beständen. Die Blattstiele und Internodien zeigten im Frühjahr ähnliche Längen wie im Spätsommer. Allerdings führte der zeitig einsetzende Frühling des zweiten Versuchsjahres 2007 mit seinen hohen Temperaturen und Niederschlägen zu überdurchschnittlich langen Blattstielen vor der ersten Ernte, während die Internodienlänge nicht auf diese Klimaeinflüsse reagierte. Andererseits waren die Internodien im Spätsommer des dritten Versuchsjahres 2008 relativ lang, während die Blattstielänge konstant geblieben war. Im Jahr 2007 wurde das Wachstum der Bestände durch die günstigen Wetterbedingungen gefördert. Der Austrieb setzte bei den Efeubeständen relativ früh ein, so dass die Bestandesentwicklung zum Zeitpunkt der ersten Ernte weiter vorangeschritten war als in den anderen Versuchsjahren. Dies führte zu insgesamt hohen Blatterträgen.

Im dritten Versuchsjahr 2008 entfiel die Frühjahrsernte weil die Bestände mit Ausnahme jener der Herkünfte 06 und 17 keinen ausreichenden Zuwachs aufwiesen, was darauf hinweist, dass sie die vorausgegangene Beerntung nicht ausreichend kompensieren konnten. Auch bei der Spätsommerernte des dritten Versuchsjahres 2008 brachten die meisten Linien nur geringe Blatterträge, während die Blatterträge der Linien 06 und 17 auf ähnlichem Niveau lagen wie bei der Spätsommerernte des Vorjahres. Allerdings wurde das Ausfallen der ersten Ernte auch hier nicht kompensiert, sodass der Blattgesamtertrag des Jahres 2008 auch bei diesen Linien nur etwa 50 % jenes des Vorjahres betrug. Die überdurchschnittlich langen Internodien sind auf das ungestörte Wachstum durch das Entfallen der ersten Ernte zurückzuführen.

Der relative Anteil der Stielfraktion war in den Spätsommerernten höher als in den Frühjahrsernten, was zeigt, dass die Masse an Stielfraktion (Sprossachsen ohne Blätter und Blattstiele) im Vergleich zur Masse an Blattfraktion (Blätter mit Blattstielen) im Verlauf der Vegetationsperiode überproportional zunimmt. Bei den ertragreichsten Herkünften war der durchschnittliche relative Stielanteil im dritten Versuchsjahr 2008 höher als in den vorausgegangenen Versuchsjahren, da die erste Ernte entfallen war und sich die Bestände bis zum Spätsommerschnitt ungestört entwickeln konnten. Zwar wurde die Gesamtlänge der Efeuranken nicht explizit erhoben. Jedoch zeigt die gleichbleibende Blattstiel- und Internodienlänge, dass der ertragreichere Eindruck des Spätsommers auf die Zunahme der Rankenlänge im Jahresverlauf zurückgeht. Dies schlägt sich auch in der Zunahme des relativen Anteils der Stielfraktion am Gesamtertrag nieder. Er nahm mit zunehmendem Blattertrag ebenfalls zu und erreichte bei den Herkünften 06 und 17 Spätsommerwerte von ca. 40 %, während im Frühjahr der relative Stielanteil nur etwa halb so hoch war. Die höchsten relativen Stielanteile zeigte stets die Herkunft 28. Sie fiel zwar durch hervorragende Winterhärte auf, war jedoch hinsichtlich Biomassentwicklung und Ertragsleistung unterlegen. Die Blätter dieser Herkunft waren klein mit kurzen Internodien und Blattstielen. Die Mehrzahl der Blätter befand sich tendenziell im bodennahen Bereich, vereinzelt Triebe zeigten aufrechten Wuchs. Mit zunehmendem Alter der Pflanzen und damit zunehmender Anzahl der Ernteschnitte verfiel die Herkunft 28 immer mehr zurück in die kriechende Form unter Beibehaltung relativ derber Sprossachsen. Bei der festgelegten Schnitthöhe von 10 cm wurden überwiegend die derben, aufrechten Triebe erfasst, an denen sich nur wenige und eher kleine Blätter befanden, wodurch ein Großteil an Biomasse nicht geerntet wurde. Dies führte dazu, dass die Herkunft 28 den höchsten Anteil an „Stielfraktion“ (Sprossachsen ohne Blätter und Blattstiele) am Gesamtertrag aufwies, während der Gesamtertrag an Blattdroge relativ gering blieb. Während bei der Herkunft 28 stets die einzelnen Pflanzhorste voneinander unterscheidbar blieben, bildeten die *hibernica*-Typen (Herkünfte 06 und 17) einen geschlossenen Pflanzenteppich mit einer Höhe von bis zu 30 cm aus. Die einzelnen Ranken schoben sich dazu dachziegelartig übereinander und das Verhältnis von Blattmasse zu Stielmasse war über den gesamten Vegetationshorizont homogen. In ähnlicher Weise beschrieben bereits McALLISTER & RUTHERFORD (1990) den Wuchstyp von *Hedera hibernica*. Im Vergleich zu den übrigen Herkünften waren hier Internodien und Blattstiele relativ lang. Bedingt durch diesen Wuchstyp verliefen die meisten Ranken innerhalb des Vegetationsteppichs ziemlich waagrecht, sodass bei der Ernte relativ lange Ranken erfasst wurden. Da die Jahre 2006 und 2008 klimatisch ähnlich verliefen, befand sich die Blattentwicklung zum Zeitpunkt der Messung im gleichen Stadium. Da im Jahr 2007 die Vegetationsperiode zeitiger begann, waren die Blattstiele zum Messzeitpunkt länger. Offenbar werden bei der Ertragsbildung von Efeu im Verlauf der Vegetationsperiode zuerst die Blätter (und damit auch die Blattstiele) ausgebildet, während in der Folgezeit die Masse an Stielfraktion (Sprossachsen) überproportional zunimmt.

VERSUCH PFLANZDICHTE

Wie auch im Herkunftsvergleich, der nach dem gleichen Schema beerntet wurde, war im Versuch Pflanzdichte in allen Jahren der relative Anteil der Stielfraktion (Sprossbestandteile ohne Blätter und Blattstiele) am Gesamtertrag im Spätsommer stets höher als im Frühjahr. Auch hier zeigt sich also im Verlauf der Vegetationsperiode die überproportionale Zunahme der Sprossmasse im Vergleich zur Blattmasse. Sowohl in der Internodienlänge wie auch in der Länge der Blattstiele waren kaum Unterschiede zwischen den verschiedenen Pflanzdichtevarianten festzustellen. Allerdings reagierten die Blattstiele, wie auch im Herkunftsvergleich, deutlicher mit einer Streckung auf die günstigen Witterungsbedingungen des zweiten Versuchsjahres 2007 als die Internodien, was zu den hohen Blattertragsresultaten dieses Jahres beitrug.

VERSUCH SCHNITTREGIME

Mit abnehmender Schnitthäufigkeit nahm die Internodienlänge zu, während die Blattstiellänge bei der 2-Schnitt-Variante am höchsten war (Gesamtmittel je Schnittregimevariante). Der relative Anteil an Stielfraktion war bei der 2-Schnitt-Variante mit Abstand am niedrigsten (4% TM) und bei der 1-Schnitt-Variante am höchsten (17% TM). Dies deutet erneut darauf hin, dass sich die Blätter (und damit die Blattstiele) von Efeu beim jeweiligen Aufwuchs rascher entwickeln als die Internodien. Dagegen zieht sich die Internodienstreckung über die gesamte Vegetationsperiode hin. Zu Beginn der Vegetationsperiode setzt zunächst das Blattwachstum ein, wodurch bei der 2-Schnitt-Variante, welche im Frühling später geerntet wurde als die beiden anderen Varianten, längere Blattstiele resultierten. Zum selben Zeitpunkt war die Internodienstreckung hier noch nicht abgeschlossen. Bei der 1-Schnitt-Variante hingegen konnten sich die Internodien bis zum einzigen Ernteschnitt im Spätsommer vollständig ausbilden. Die häufige Beerntung hat bei der 3-Schnitt-Variante dazu geführt, dass die Internodien der einzelnen Aufwüchse sich nicht vollständig ausbilden konnten und demzufolge kürzer waren.

EINTROCKNUNGSVERHÄLTNIS

Das mittlere Blatt-Eintrocknungsverhältnis lag bei allen durchgeführten Versuchen bei rund 1: 3. Die untersuchten Faktoren (Herkunft, Pflanzdichte und Schnittregime) wirkten sich nur wenig darauf aus. Das Eintrocknungsverhältnis der Stielfraktion (Sprossachsen ohne Blätter und Blattstiele) lag im Herkunftsvergleich im Gesamtmittel bei 1: 3,90 und es traten mitunter große Unterschiede zwischen einzelnen Herkünften auf. Im Versuch Pflanzdichte lag es bei 1: 4,95 und im Versuch Schnittregime bei 1: 3,81. Die Faktoren Pflanzdichte und Schnittregime wirkten sich nicht eindeutig darauf aus. Allerdings konnten vom Erntetermin abhängige Unterschiede beobachtet werden, die auf die Witterungsbedingungen vor dem Ernteschnitt zurückzuführen sind. Das Eintrocknungsverhältnis von Efeublättern reagiert also weniger auf die verschiedenen Einflussfaktoren als jenes der Efeusprossachsen.

5.3 INHALTSSTOFFGEHALTE VON EFEUBLÄTTERN

Das Europäische Arzneibuch (Ph. Eur. 6. Ausgabe, 2008) definiert als Droge „die im Frühjahr geernteten, getrockneten, ganzen oder geschnittenen Blätter von *Hedera helix* L.“ Da der Begriff „Frühjahr“ nicht näher erläutert wird, kann aus dieser Definition des Erntezeitpunktes nicht abgeleitet werden, in welchem physiologischen Zustand sich der Efeu zum Zeitpunkt der Ernte befinden soll. „Der Neuaustrieb durch Auswachsen der Sprossenden beginnt sowohl in der Boden- als

auch in der Baumform erst relativ spät, an der Grenze Frühling-Sommer im Mai“ (DIERSCHKE, 2005). „Die Blattbildung findet kontinuierlich während der gesamten Vegetationsperiode statt, der Hauptblattfall ist im späten Frühling“ (BADRE et al., 1998; in METCALFE, 2005). Bei genauer Einhaltung der Vorgaben des Arzneibuchs ist davon auszugehen, dass es sich bei der Droge überwiegend um überwinterte Blattmasse handeln müsste. Zudem werden bei einer Wildsammlung im (zeitigen) Frühjahr zwangsläufig alte Blätter mit gesammelt, die im späteren Jahresverlauf abfallen würden. Wie sich der Zeitpunkt der Wildsammlung auf die Qualität der Droge auswirkt, konnte im Zuge der Literaturstudie nicht geklärt werden. Es muss jedoch berücksichtigt werden, dass in den Versuchen, die Gegenstand dieser Arbeit sind, stets Material bzw. Aufwuchs der aktuellen Vegetationsperiode untersucht wurde, während bei Wildsammlungen auch mehrjähriges Material einfließt.

VERSUCH HERKUNFTSVERGLEICH

Der Herkunftsvergleich zeigt bei den meisten durchgeführten Ernten signifikante Unterschiede zwischen den verschiedenen Herkünften hinsichtlich ihres Gehalts an Hederacosid C, Chlorogensäure und Rutosid. Auch die α -Hederin-Gehalte variierten stark. Sie konnten jedoch nicht eindeutig auf den Einflussfaktor Herkunft zurückgeführt werden.

Die Herkünfte 06 und 17 zeichneten sich nicht nur durch die höchste Ertragsleistung aus. Mit durchschnittlich 12,38 % TM und 11,32 % TM wiesen sie auch die höchsten Gehalte am wertgebenden Inhaltsstoff Hederacosid C auf. Ähnlich hohe Hederacosid-C-Gehalte von durchschnittlich 11 % TM traten auch bei der Adultform Herkunft 28 auf, jedoch bei deutlich niedrigerer Ertragsleistung. Wie auch bei allen anderen Herkünften, waren die niedrigsten Hederacosid-C-Gehalte bei den Linien 06 und 17 im zweiten Versuchsjahr 2007 zu verzeichnen, in welchem die höchsten Erträge auftraten. Durch einen sehr zeitig einsetzenden Frühlingsbeginn mit warmen Temperaturen und einer hohen Niederschlagssumme unterschied sich das Klima des Jahres 2007 deutlich von jenen der Jahre 2006 und 2008, die ortsüblich kontinental geprägt waren. Die günstigen Klimabedingungen waren der Hauptgrund für die hohe Ertragsleistung des Jahres 2007. Eine lange Vegetationsperiode mit mildem und niederschlagreichen Klima wirkt sich positiv auf das vegetative Wachstum von Efeu aus und geht mit einer verringerten Konzentration an Hederacosid C in der Blatttrockenmasse einher. Die durch günstige Umweltbedingungen erhöhte Stoffwechselrate führt zu einer verstärkten Einlagerung von primären Pflanzeninhaltsstoffen, während der sekundäre Pflanzeninhaltsstoff Hederacosid C unterproportional gebildet wird. Stets blieben die ermittelten Hederacosid-C-Gehalte jedoch weit über den im Pharm. Eu. geforderten Mindestwerten von 3,0 % TM. Selbst die niedrigsten im Herkunftsvergleich gefundenen Hederacosid-C-Gehalte lagen mit ca. 6% TM noch 100% über dem geforderten Wert. Ob die guten Ergebnisse auf optimale Nacherntebedingungen oder das vergleichsweise geringe Gewebeatler des Ernteguts zurückzuführen sind, ist aus den vorliegenden Versuchen nicht abzuleiten. Im Vergleich mit den Literaturangaben (DEMIRCI et al., 2004) lagen die gemessenen Werte stets im oberen Bereich der beschriebenen Variationsbreite und zeigten sich insgesamt weitaus konstanter.

Der unerwünschte Efeu-Inhaltsstoff α -Hederin trat bei den sehr vitalen Herkünften 06 und 17 mit sehr niedrigen Werten von durchschnittlich 0,08 % TM und 0,09 % TM auf. Nur die sehr robuste Adultform Herkunft 28 lag mit 0,03 % TM noch darunter. Im Vergleich zu Literaturangaben (DEMIRCI et al., 2004) lagen die ermittelten Gehalte insgesamt auf sehr niedrigem Niveau. Die Herkünfte mit den höchsten Hederacosid-C-Gehalten wiesen tendenziell die niedrigsten α -Hederin Gehalte auf. Darüber hinaus traten in den Spätsommerernten höhere α -Hederin Gehalte als in den Frühjahrs-ernten auf. Da α -Hederin unter anderem durch Fermentation aus Hederacosid C hervorgeht (HAGER &

BLASCHEK, 1998), kann man davon ausgehen, dass im Spätsommer mehr fermentierte (also ganz oder teilweise abgestorbene) Blattanteile geerntet wurden und zu einem erhöhten α -Hederin Gehalt in der Droge geführt haben. Die Zunahme abgestorbener oder beschädigter Blätter ist auf zunehmenden Krankheitsbefall im Verlauf der Vegetationsperiode zurückzuführen. Hinsichtlich eines möglichst niedrigen α -Hederin-Gehaltes bei gleichzeitig hohen Hederacosid-C-Werten sind die Herkünfte 06 und 17 interessant für den kommerziellen Anbau.

Beim Rutosidgehalt in den Efeublättern wird der Einfluss der Herkunft hauptsächlich im außerordentlich hohen Wert der Herkunft 28 sichtbar. Ohne die Herkunft 28 lag der Gesamtdurchschnitt aller anderen Herkünfte bei 1,09 % TM Rutosid in der Blattdroge, während die Herkunft 28 – die einzige Adult- bzw. Übergangsform des Herkunftsvergleichs – einen Gesamtdurchschnitt von 2,34 % TM Rutosid zeigte. Zwar konnte dieser Effekt nicht an weiteren Adultformen verifiziert werden, der Schluss liegt jedoch nahe, dass Efeu im Übergangs- bzw. Adultstadium deutlich höhere Rutosidgehalte hervorbringt als in seiner Juvenilform.

Hinsichtlich ihres Chlorogensäuregehaltes unterschieden sich die Herkunftslinien 06 und 17 nicht von den anderen Herkünften. Mit 2,44 % TM und 2,17 % TM lagen die Werte in der Blattdroge unter dem Gesamtdurchschnitt von 2,97 % TM, es gab jedoch auch eine Reihe von Herkünften mit niedrigeren Werten. Im Durchschnitt aller Herkünfte traten die höchsten Chlorogensäuregehalte in der Spätsommerernte des zweiten Versuchsjahres auf. Offenbar führen günstige Wachstumsbedingungen tendenziell zu einer Erhöhung der Chlorogensäuregehalte.

Unter Bewertung aller Prüfmerkmale des Herkunftsvergleichs zeigten die Herkünfte 06 und 17 die beste Anbaueignung, da sie eine hohe Ertragsleistung und Regenerationsfähigkeit in Kombination mit guten Inhaltsstoffkonzentrationen aufwiesen.

VERSUCH PFLANZDICHTEN

Hinsichtlich des Gehalts an sämtlichen analysierten Efeu-Inhaltsstoffen waren zwischen den verschiedenen Varianten (5,0, 6,7 und 10,0 Pflanzstellen/m²) innerhalb einzelner Ernten fast keine signifikanten Unterschiede nachzuweisen. Allerdings zeigten sich deutliche Unterschiede zwischen einzelnen Ernten. Somit spielt die Pflanzdichte hinsichtlich des Inhaltsstoffgehalts von Efeublättern nur eine untergeordnete Rolle, während sich Faktoren wie Klima, Alter des Aufwuchses und Jahreszeit offenbar deutlicher auswirken.

Die Hederacosid-C-Gehalte in den Efeublättern lagen in den ersten vier Ernten (jeweils zwei Ernten in den Jahren 2006 und 2007) auf ähnlichem Niveau um 9,5 % TM. Im dritten Versuchsjahr 2008 waren die Hederacosid-C-Gehalte aller Pflanzdichtevarianten im Frühjahr (Mittelwert über alle Varianten 11,17 % TM) deutlich höher als im Spätsommer (Mittelwert über alle Varianten 7,74 % TM). Gleichzeitig war das Eintrocknungsverhältnis der Efeublätter bei allen Pflanzdichtevarianten im Frühjahr höher als im Spätsommer. Das erhöhte Eintrocknungsverhältnis bei der Frühjahrsernte des dritten Versuchsjahres könnte ein Resultat der häufigen Beerntung der Bestände gewesen sein. Der wiederholte Ernteschnitt hatte zu einer Schwächung bzw. Wachstumsverzögerung geführt. Infolgedessen begann der Austrieb später als in den vorausgegangenen Jahren, was sich im geringen Ertrag und dem niedrigen relativen Anteil an Stielfraktion bei der Frühjahrsernte widerspiegelt. Dementsprechend war das Gewebealter der geernteten Blätter im Frühjahr relativ jung, was mit einem erhöhten Wassergehalt in der Biomasse einherging. Dies gibt einen Hinweis darauf, dass junges Blattgewebe mit hohen Hederacosid-C-Gehalten zusammenhängen könnte. Umgekehrt waren die Hederacosid-C-Gehalte in der zweiten Ernte des dritten Versuchsjahres niedriger als bei allen

anderen Ernten. Die durch den Ernteschnitt geschwächten Bestände hatten im Verlauf der sehr niederschlagsarmen Vegetationsperiode weniger neue Blätter gebildet als in den Vorjahren. Die Erträge waren niedriger als bei allen vorausgegangenen Spätsommerernten. Dementsprechend war der relative Anteil junger Blätter geringer, was zu einem verminderten Gehalt an Hederacosid C in der Blattdroge führte.

Zwar unterschieden sich die Pflanzdichtevarianten nur bei einer von sechs Ernten im α -Hederingehalt der Blattdroge signifikant voneinander, doch es fiel auf, dass die α -Hederingehalte im Frühjahr insgesamt niedriger waren als im Spätsommer, wie es auch schon im Herkunftsvergleich der Fall war. Im ersten und im dritten Versuchsjahr traten die höchsten α -Hederingehalte bei der Variante mit der höchsten Pflanzdichte auf. Im zweiten Versuchsjahr 2007 unterschieden sich die Varianten zwar nicht im α -Hederingehalt, aber alle Varianten wiesen bei der Spätsommerernte die höchsten Werte des gesamten Versuchs auf. Tendenziell war dieses Phänomen auch im Herkunftsvergleich zu beobachten. Während also die Erträge im Jahr 2007 sowohl bei der Frühjahrs- als auch bei der Spätsommerernte relativ hoch waren, waren die α -Hederingehalte nur im Spätsommer hoch. Im Verlauf der Vegetationsperiode nehmen Nekrosen zu und sind daher im Spätsommer zahlreicher. Der höhere Anteil fermentierter Blattanteile in der Spätsommerernte könnte eine Erklärung für den erhöhten α -Hederingehalt sein.

Die Chlorogensäuregehalte der verschiedenen Pflanzdichtevarianten unterschieden sich bei keiner der durchgeführten Ernten eindeutig voneinander. Allerdings traten insgesamt die höchsten Werte im zweiten Versuchsjahr 2007 auf. Im Gegensatz zu den α -Hederingehalten fiel kein Unterschied zwischen den Chlorogensäuregehalten der Frühjahrsernten und den Ernten im Spätsommer auf. Man kann also davon ausgehen, dass beim Chlorogensäuregehalt der Klimaeinfluss der gesamten Vegetationsperiode die wichtigere Rolle spielte, wohingegen die Dynamik innerhalb eines Jahres eher in den Hintergrund trat. Da im Jahr 2007 sowohl die höchsten Erträge also auch die höchsten Chlorogensäuregehalte erreicht wurden, kann gefolgert werden, dass gute Wachstumsbedingungen mit hohen Chlorogensäuregehalten einhergehen, wie auch schon beim Herkunftsvergleich beobachtet werden konnte.

Auch hinsichtlich der Rutosidgehalte gab es keine Unterschiede bei den Bestandesdichtevarianten. Allerdings traten im ersten und dritten Versuchsjahr bei der Frühjahrsernte höhere Gehalte als in der Spätsommerernte auf, während im zweiten Versuchsjahr 2007 die Resultate beider Ernten auf ähnlichem Niveau lagen. Die Daten der Rutosidgehalte sind relativ indifferent, weshalb eine weiter gehende Interpretation nicht möglich ist.

VERSUCH SCHNITTREGIME

Kennzeichnend für diesen Versuch ist das unterschiedliche Gewebealter des Ernteguts der drei Varianten. Während es sich beim Versuchsmaterial stets um Aufwuchs des jeweiligen Jahres handelte, werden Efeublätter in der Natur mehrere Jahre alt. Zwar tritt bei den Mehrschnitt-Varianten eine jahreszeitliche Inhaltsstoffdynamik in Erscheinung, bei der auch die Klimabedingungen zum jeweiligen Schnittzeitpunkt eine Rolle spielen. Möglicherweise würde sich diese in Naturbeständen, die durch ungestörtes Wachstum und ältere (mehrjährige) Blätter charakterisiert sind, jedoch anders darstellen.

Im Mittel aller Versuchsjahre war der Einfluss des Schnittregimes auf die Efeu-Inhaltsstoffgehalte gering. Das Gewebealter des Ernteguts hatte offenbar nur wenig Einfluss auf die Ergebnisse. Die größten Schwankungen zeigten sich beim α -Hederin. Besonders im Versuchsjahr 2007, das durch gute Wachstumsbedingungen gekennzeichnet war, standen auffallend geringe α -Hederin-Gehalte

der 1- und 2-Schnitt-Variante in Kontrast zu dem sehr hohen α -Hederin-Gehalt der 3-Schnitt-Variante. Vor allem die Ergebnisse des frühen ersten Schnitts der 3-Schnitt-Variante hatten zu diesem Ergebnis geführt. Die α -Hederin-Gehalte waren in diesem Jahr zu jedem Schnittzeitpunkt höher als in den anderen Jahren, sanken jedoch im Jahresverlauf kontinuierlich ab.

Nach HAGER & BLASCHEK (1998) entsteht α -Hederin unter anderem durch Fermentation von Hederacosid C. Der α -Hederin-Gehalt kann also als Indikator für Fermentationsprozesse innerhalb des Efeubestands betrachtet werden. Diese können unterschiedliche Ursachen haben, wie zum Beispiel Schädlings- und Krankheitsbefall, Trockenstress und Verletzungen (z.B. durch Schnitt). Im warm-feuchten Frühsommer 2007 wurden sie offenbar begünstigt, traten im weiteren Verlauf der Vegetationsperiode jedoch hinter dem wachstumsfördernden Effekt dieses Klimas zurück. Zum Versuchsjahr 2008 hatten die Bestände insgesamt stark abgebaut, was sich ebenfalls in hohen α -Hederin-Gehalten niederschlug.

Im Gegensatz zu den Schwankungen der α -Hederin-Gehalte, blieben die Hederacosid-C-Gehalte im Jahresmittel annähernd konstant. Während das Schnittregime die Gehalte nicht beeinflusste, zeigte sich jedoch ein deutlicher Jahreseinfluss. Wie auch in den anderen Versuchen gingen die höheren Erträge im Jahr 2007 meist mit deutlich reduzierten Hederacosid-C-Gehalten einher.

Auch der Chlorogensäuregehalt der Pflanzen zeigte keine eindeutige Reaktion auf das Schnittregime. Tendenziell waren die Werte der 1-Schnitt-Variante sowie die des wüchsigen Versuchsjahrs 2007 höher und deuten eine positive Korrelation des Chlorogensäuregehalts mit der Vitalität des Efeus an. Die Rutosidgehalte zeigten keine erkennbare Reaktion auf das Schnittregime, sanken jedoch im Verlauf der Versuchsjahre ab.

Insgesamt war der Einfluss des Schnittregimes auf die untersuchten Efeu-Inhaltsstoffe vernachlässigbar. Damit ist bei der Entscheidung für ein bestimmtes Schnittregime die Ertragsleistung ausschlaggebend. Da das Schnittregime mit einer einzigen Ernte pro Vegetationsperiode die besten Erträge lieferte, empfiehlt sich dieses für den feldmäßigen Anbau.

6. ZUSAMMENFASSUNG

Efeu ist eine seit dem Altertum bekannte und geschätzte Heilpflanze. Jährlich werden in Deutschland mehr als 200 Tonnen getrocknete Efeublätter zu Arzneimitteln verarbeitet. Diese stammen ausschließlich aus Wildsammlung. Die besonders bei Pharmazeutika wichtige Rückverfolgbarkeit der Rohstoffe ist bei der Beschaffungsart Wildsammlung nur teilweise gegeben. Darüber hinaus wird aufgrund wechselnder Rahmenbedingungen bei Sammlung und Trocknung das natürliche Potential des Ausgangsmaterials nicht immer optimal genutzt, woraus eine stark schwankende Qualität der verfügbaren Ware resultiert. Zur Erzeugung einheitlicher Qualitäten mit lückenloser Rückverfolgbarkeit ist der kontrollierte großflächige Anbau eine geeignete Methode. Da es einen solchen bis zum Beginn der vorliegenden Arbeit nicht gab, galt es, grundlegende Fragen zur Inkulturnahme von Efeu zu klären. Weil ein Anbausystem, welches sehr nah an den natürlichen Habitatansprüchen von Efeu bleibt (Beschattung, Rankhilfen), aus Kostengründen nicht in Frage kam, wurde der pragmatische Ansatz verfolgt, diese Pflanze feldmäßig, vergleichbar mit anderen Arzneipflanzen wie Pfefferminze oder Melisse, in Kultur zu nehmen. Dazu wurden drei Feldversuche angelegt, bei denen mit Ausnahme des untersuchten Einflussfaktors sämtliche Kulturbedingungen konstant gehalten wurden. Der Versuchszeitraum erstreckte sich über ein Etablierungsjahr (2005), in welchem die Parzellen angelegt wurden und drei Versuchsjahre (2006, 2007 und 2008). Alle Versuche wurden als randomisierte Blockanlagen mit vier Wiederholungen konzipiert.

1. HERKUNFTSVERGLEICH

Ziel dieses Versuchs war die Prüfung von 19 verschiedenen Efeulinien auf Inhaltsstoffgehalt und Eignung für den großflächigen Anbau (zwei Ernten/Jahr).

Mit einer Linie, die zunächst anbaueeignet erschien, wurden zwei weitere Versuche zur Bestandesführung etabliert:

2. PFLANZDICHTEVERSUCH

Vergleich von drei Varianten (10,0; 6,7 und 5,0 Pflanzstellen/m²) zur Bestimmung der optimalen Pflanzdichte.

3. VERSUCH SCHNITTREGIME

Zur Ermittlung der optimalen Erntefrequenz wurden drei Varianten mit einem, zwei bzw. drei Ernteschnitten pro Jahr verglichen.

Bei der Ernte wurden die Efeuranken in einer konstanten Höhe von 10 cm mit einer Gartenschere abgeschnitten. Anschließend wurde das Erntegut in zwei Fraktionen aufgetrennt: in die „Stielfraktion“ (Sprossachsen ohne Blätter und Blattstiele) und die „Blattfraktion“ (Blätter mit Blattstielen). Die einzelnen Fraktionen wurden unmittelbar nach der Ernte bei 42 °C künstlich getrocknet. Eine Inhaltsstoffbestimmung (Hederacosid C, α -Hederin, Chlorogensäure und Rutosid) erfolgte an der getrockneten Blattfraktion. Jeweils vor den Ernten wurden morphologische Merkmale wie Internodien- und Blattstiellänge erhoben sowie die Entwicklung des Bestandes bonitiert.

Der Herkunftsvergleich zeigte, dass sich zwei Efeu-Linien wegen hervorragender Ertragsleistung in besonderem Maß für den Feldanbau eignen. Bei beiden Linien handelt es sich um Vertreter der Subspezies *hibernica*, die bereits von McALLISTER & RUTHERFORD (1990) als besonders frohwüchsig beschrieben wurde. Die meisten anderen Herkünfte lieferten vergleichsweise niedrige Erträge.

Umgerechnet in Hektarerträge ergibt sich bei den beiden ertragsstärksten Linien eine durchschnittliche jährliche Ertragsleistung von 3,4 t TM Blattdroge pro Hektar. Zwar kann anhand von Ergebnissen aus Parzellenversuchen nur eingeschränkt auf den Feldbau in der landwirtschaftlichen Praxis geschlossen werden. Jedoch zeigt sich, dass eine Feldkultur von Efeu zumindest das Potenzial hat, unter Praxisbedingungen ähnliche Erträge zu liefern wie Pfefferminze und Melisse, deren Ertragsleistung bei ca. 2,5 t Blattdroge pro Hektar liegt. Im Verlauf der Vegetationsperiode nimmt der relative Anteil an Stielfraktion am Gesamtertrag zu. Je nach Erntetermin ist bei den *hibernica*-Typen mit einem Stielanteil von bis zu ca. 40 % TM zu rechnen. Das Eintrocknungsverhältnis von Efeublättern liegt bei 1 : 3, jenes der Stielfraktion bei 1 : 4.

Auch hinsichtlich des analysierten Inhaltsstoffspektrums erwiesen sich die beiden *hibernica*-Typen als besonders interessant für den Anbau. Die Gehalte am wertgebenden Inhaltsstoff Hederacosid C waren im Herkunftsvergleich bei diesen beiden Herkunftstypen höher als bei allen anderen und lagen bei 12,38 (Herkunft 06) bzw. 11,32 % TM (Herkunft 17). Im Gesamtmittel des Herkunftsvergleichs lag der Hederacosid-C-Gehalt in der Blattdroge bei 10,09 % TM.

Die Gehalte am unerwünschten Inhaltsstoff α -Hederin waren hier mit 0,08 % TM und 0,09 % TM sehr niedrig. Der Gesamtmittelwert im Herkunftsvergleich betrug 0,18 % TM α -Hederin in der Blattdroge. Mit 2,44 % TM und 2,17 % TM Chlorogensäure in der Blattdroge lagen die Werte bei den beiden Herkunftstypen 06 und 17 unterhalb des Gesamtdurchschnitts von 2,97 % TM.

Die mittleren Rutosidgehalte in der Blattdroge der Herkunftstypen 06 und 17 lagen bei 1,06 % TM und 0,99 % TM. Der Gesamtmittelwert im Herkunftsvergleich lag bei 1,16 % TM Rutosid in der Blattdroge.

Bei der Betrachtung der Efeu-Inhaltsstoffe muss berücksichtigt werden, dass es sich bei dem analysierten Material stets um Aufwuchs der jeweiligen Vegetationsperiode handelte, während in freier Natur Efeublätter mehrere Jahre alt werden können. Beim Schnittregime-Versuch, in dem die Bestände pro Saison ein, zwei und drei Mal beerntet wurden, war das geerntete Gewebe unterschiedlich alt. Unabhängig davon, wie oft die Bestände beerntet wurden, rangierten die mittleren Hederacosid-C-Gehalte der drei Varianten auf dem gleichen Niveau. Ein Einfluss der Schnitthäufigkeit auf dem Hederacosid-C-Gehalt in der Blattdroge war nicht festzustellen. Damit bestand kein nachweisbarer Zusammenhang zwischen dem Gewebeeralter des geernteten Blattmaterials und dem Hederacosid-C-Gehalt. Auch war kein jahreszeitlicher Einfluss auf Hederacosid-C-Gehalt festzustellen.

Hingegen zeichnete sich ein Zusammenhang zwischen dem Hederacosid-C-Gehalt und der Ertragsleistung ab. Mit steigendem Ertrag nahm der Gehalt an Hederacosid C tendenziell ab. Die Ertragsleistung hing wiederum mit den Wachstumsbedingungen des jeweiligen Versuchsjahres zusammen. So waren in allen Versuchen die Erträge im außerordentlich milden und feuchten Jahr 2007 höher als in den beiden anderen Versuchsjahren, während die Hederacosid-C-Gehalte niedriger waren. Dabei spielte es keine Rolle, wie oft die Bestände geschnitten wurden.

Bei allen Versuchen zeigte sich, dass hohe Hederacosid-C-Gehalte tendenziell mit niedrigen α -Hederin-Werten einhergehen. Oft waren die α -Hederin-Gehalte im Spätsommer höher als im Frühjahr. Zum einen könnte dies darauf zurückzuführen sein, dass sich α -Hederin im Verlauf der Vegetationsperiode anreichert. Andererseits könnten die erhöhten α -Hederin-Gehalte auch am erhöhten Anteil geschädigter Blattmasse liegen, welcher im Verlauf des Jahres zunimmt. Unter anderem entsteht α -Hederin bei Fermentationsprozessen aus Hederacosid-C. Stets waren die Erträge im Spätsommer höher als im Frühjahr und somit stieg möglicherweise auch der Anteil fermentierter Blätter. Einen Hinweis darauf gibt auch die Tatsache, dass im wachstumsbegünstigenden zweiten

Versuchsjahr 2007 die α -Hederin-Gehalte bei Beständen, die drei Mal geschnitten wurden, höher waren als bei Beständen mit geringerer Schnitffrequenz. Möglicherweise hat die Beerntung Fermentationsprozesse begünstigt.

Im Gesamtmittel des Herkunftsvergleichs lag der Chlorogensäuregehalt in der Efeu-Blattdroge bei 2,48 % TM. Die ertragsstärksten Herkünfte 06 und 17 wiesen Gehalte von 2,44 % TM und 2,17 % TM auf. Bei allen Versuchen traten die höchsten Chlorogensäuregehalte im wachstumsfördernden zweiten Versuchsjahr 2007 auf, was darauf hin deutet, dass die Chlorogensäurebildung in Efeu durch günstige Klimabedingungen gefördert wird. Tendenziell waren, über alle Versuche hinweg betrachtet, die Chlorogensäuregehalte im Spätsommer höher als im Frühjahr. Sie nahmen also im Verlauf der Vegetationsperiode und auch mit zunehmendem Blattalter zu.

Im Gesamtmittel des Herkunftsvergleichs lag der Gehalt an Rutosid in der Efeu-Blattdroge bei 1,16 % TM. Die ertragreichsten Herkünfte 06 und 17 wiesen Rutosid-Gehalte von 1,06 % TM und 0,99 % TM auf und lagen somit relativ niedrig. Bestandesdichte und Schnitffrequenz hatten in den Versuchen keinen Einfluss auf den Rutosid-Gehalt in der Efeu-Blattdroge. Im Herkunftsvergleich fiel auf, dass die einzige beprobte Efeu-Adultform (Herkunft 28) mit 2,37 % TM einen sehr hohen Wert aufwies, was darauf schließen lässt, dass bei adulten Efeublättern mit hohen Rutosid-Gehalten zu rechnen ist.

Die Bestandesdichte hatte auf den Gehalt an sämtlichen untersuchten Efeu-Inhaltsstoffen (Hederacosid C, α -Hederin, Chlorogensäure, Rutosid) keinen Einfluss. Hingegen zeigte sich ein deutlicher Einfluss auf die Ertragsleistung. Hier wies die Variante mit einer Pflanzdichte von 5,0 Pflanzstellen/m² mit Abstand die niedrigsten Erträge auf und kommt damit für einen großflächigen Feldanbau nicht in Frage. Die besten Erträge resultierten der höchsten Pflanzdichte von 10,0 Pflanzstellen/m², wobei unter sehr guten Wachstumsbedingungen kaum Unterschiede zur Variante mit 6,7 Pflanzstellen festzustellen waren.

Im Schnittregime-Versuch lieferte die 1-Schnitt-Variante höhere Erträge als die 2- und die 3-Schnitt-Variante. Späte Schnitte (Anfang September) wirkten sich negativ auf die Regenerationsleistung aus. Ausreichende Regeneration vor dem Winter zeigte sich bei Ernten im August, die allerdings mit leicht verringerter Jahresertragsleistung einhergingen.

Zusammenfassend lassen sich für die Anbaupraxis folgende Schlüsse ziehen: Hinsichtlich der Ertragsleistung sind *hibernica*-Typen gegenüber den *helix*-Typen zu bevorzugen. Für eine rasche Bestandsetablierung und gute Ertragsentwicklung ist eine Pflanzdichte von mindestens 6,7 Pflanzstellen/m² notwendig. Es empfiehlt sich ein einziger Ernteschnitt pro Vegetationsperiode. Dieser sollte in gemäßigttem Klima bis Mitte August durchgeführt werden, damit der Bestand vor dem Winter noch ausreichend Frosthärte erlangen kann. Bei der Ernte sollte nicht die gesamte Blattmasse abgeschnitten werden, damit noch ausreichende Assimilationsfläche auf dem Feld verbleibt, um einen raschen Wiederaustrieb zu gewährleisten und die Konkurrenzkraft gegenüber Unkraut zu erhöhen. Für den großflächigen Anbau sollte ein Standort mit optimalen Wachstumsbedingungen (milde Winter, lange Vegetationsperiode, hohe und gleichmäßig verteilte Niederschläge, hohe Temperatursumme) gewählt werden. Wegen der extrem langsamen Frühjahrsentwicklung ist auf möglichst geringen Unkrautdruck zu achten. Die Wahrscheinlichkeit von Kahlfrösten im Winter und von heißen Trockenperioden im Sommer sollte möglichst gering sein.

6.1 SUMMARY

Ivy is a well known and valued medicinal plant since ancient times. More than 200 mt of dried Ivy leaves are processed for pharmaceutical purposes in Germany per year. The raw material originates solely from wild collection. Traceability of the raw material, which is essential especially at pharmaceuticals, exists only partially. Moreover, due to changeable conditions at wild collection and drying of the leaves, the natural potential is not utilized completely in many cases, which leads to strongly changeable quality of the available material. For the production of uniform quality with complete traceability of the raw material, controlled large scale cultivation is an appropriate method. As such cultivation did not exist until the beginning of this work, it was necessary to answer fundamental questions concerning the cultivation of this crop. As a cultivation system that relates very closely to the natural demands of Ivy was considered to be too costly (shading, entwining constructions), a pragmatic approach was chosen. The aim was to cultivate Ivy in a way that is comparable to the cultivation of other herbs like peppermint or lemon balm. For that three field trials were established at which, with exception of the examined parameter, all cultivation conditions were kept constant. The trial period started with year of establishing the allotments (2005) and lasted three years of testing (2006, 2007 and 2008). All trials were established as randomized plot trials with four repetitions.

TRIAL COMPARISON OF ACCESSIONS

19 accessions, 2 crops per year

TRIAL PLANTING DENSITY

3 different planting densities with an accession, that was considered to be appropriate for field cultivation.

- model 1: 10 plantings/m²
- model 2: 6,67 plantings/m²
- model 3: 5 plantings/m²

TRIAL HARVESTING INTERVALS

3 different models with an accession, that was considered to be appropriate for field cultivation.

- model 1: 3 crops per year
- model 2: 2 crops per year
- model 3: 1 crop per year

Each harvesting was carried out by cutting the ivy vines at a constant height of 10 cm by using secateurs. After that the cut material was divided into two fractions: the "stem fraction" (stem without leaves and leaf stalks) and the "leaf fraction" (leaves with leaf stalks). Immediately after the harvest the separated fractions were dried artificially at a temperature of 42° C. The ingredients (Hederacoside C, α -Hederine, chlorogenic acid and rutoside) were analyzed at the leaf fraction. Prior to harvesting, morphological characteristics like length of internodes and leaf stalks were collected. Moreover the development of the crop was determined.

The comparison of accessions showed that the yield of two accessions was appropriate for cultivation in terms of quantity. Both lines belong to the subspecies *hibernica*, which has been already described as well growing by McALLISTER & RUTHERFORD (1990). Most of the other lines were

characterized by rather low yields. Converting the plot yields into hectare yields results an average yield of 3,4 mt of dried leaf material per hectare at the two mentioned lines. However, this result cannot be directly used to extrapolate yield expectations under practical agricultural conditions, but it shows that ivy has the potential to deliver yields that are comparable to the yields of other cultivated herbs like peppermint and lemon balm (app. 2.5 mt/ha).

Also considering the range of ingredients these two *hibernica* lines appeared to be interesting for cultivation. The average contents of the desirable ingredient Hederacoside C were higher than at any other line: 12.38 % Dry Matter (DM) (accession 06) and 11.32 % DM (accession 17). The total mean at the comparison of accessions was 10.09 % DM in the leaf material.

The concentrations of the undesirable ingredient α -hederine in the dried leaves were remarkably low here (0.08 % DM and 0.09 % DM, total mean at the comparison of accessions: 0.18 % DM).

Containing 2.44 % DM and 2.17 % of chlorogenic acid in the dried leaf fraction the concentrations of the accessions 06 and 17 were lower than the total mean of 2.97 % DM.

The average rutoside contents in the dried leaves of the lines 06 and 17 were 1.06 % DM and 0.99 % DM. The total mean of the comparison of accessions was 1.16 % DM.

Concerning the dynamic of ingredients during the vegetation period's course it must be considered that the analyzed material was always leaves of the current year, while in nature the leaves reach an age of several years. In the trial "harvesting intervals", where the plants were cut once, twice and three times a year, the harvested plant tissue was of different ages subsequently. Independent from how often plants were harvested, the average hederacoside C content stayed at a similar level. An influence of the harvest interval on the hederacoside C content could not be shown. According to this, no specific concentrations at specific times of the season appeared. However, there appeared a relation between the concentration of hederacoside c and yield. By trend, increasing yield was connected with decreasing hederacoside C content. The yield itself was connected to the climatic conditions of the particular year. According to that, at all trials the yield in 2007, which was characterized by mild and moist conditions, was remarkably higher than in 2006 and in 2008 while the hederacoside C contents were lower.

All trials showed, that, by trend, high hederacoside C contents are connected with low contents of α -hederine. Often the concentration was higher in autumn than in spring. On the one hand the reason for this could be, that α -hederine gets accumulated during the vegetation period. On the other hand this could relate to the increasing rate of damaged leaf material. Among other things α -hederine derives from hederacoside C during fermentation processes. In all cases the yields in autumn were higher than in spring. Subsequently it is possible that the rate of fermented leaves increased also. In the same way the α -hederine concentration in the year 2007, where growth promoting conditions predominated, were higher when the plants were harvested three times than in the models with less harvesting cuts. Potentially fermentation processes were promoted by the harvesting cuts.

The content of chlorogenic acid was 2.48 % DM in the total mean. The lines with the highest yields (accessions 06 and 17) showed concentrations of 2.44 % DM and 2.17 % DM in average. In all trials the highest chlorogenic acid contents showed up in the second trial year 2007, which allows to deduct that the production of chlorogenic acid in ivy gets stimulated by growth promoting conditions. By trend the chlorogenic acid contents in autumn were higher than in spring. They increased during the course of the vegetation period and with the increasing age of the leaves.

The total mean of the leaf rutoside content at the comparison of accessions was 1.16 % DM. The lines with the highest yields (accessions 06 and 17) showed concentrations of 1.06 % DM and 0.99 %

DM which was relatively low. Planting density and harvesting intervals had no influence on the rutoside contents of ivy leaves in the trials. The comparison of accessions showed remarkably high content of rutoside in the only adult type ivy line of the trial (accession 28) with 2.37 % DM. This indicates, that high rutoside concentrations are expectable in adult ivy leaves.

Planting density had no influence on any analyzed ivy leaf ingredient (hederacoside C, α -hederine, chlorogenic acid and rutoside). On the contrary, there was a remarkable influence on yield. Here the model with the lowest planting density (5 plantings per m²) showed the lowest yield by far. Therefore this density cannot be considered to be appropriate for industrial cultivation. The highest yield resulted at the model with the highest planting density (10 plantings per m²), whereas under good climatic conditions barely a difference to the model with 6.67 plantings per m² could be seen.

In the trial with different harvesting intervals the model with only one cut per year showed higher yields than the models with two and with tree cuts. Late harvesting cuts (at beginning of September) had a negative impact on the regeneration of the ivy. Sufficient regeneration before winter appeared, when the ivy was cut in August at latest. As a matter of fact, this resulted in a slightly reduced yield.

After all, the following conclusions can be drawn for the cultivation of ivy under agricultural conditions. With regard to yield capacity *hibernica* types are favorable compared to *helix* types. A planting density of at least 6.67 per m² must be chosen to allow a quick development of the crop. Only one single harvesting cut per year is recommended. At the harvest, not the complete existing quantity of leaves should be removed. It is necessary to keep enough leaves on the plants for weed suppression and assimilation to promote quick resprouting. Under moderate climatic conditions harvesting should be carried out by middle of August to allow the crop to develop adequate frost hardiness before winter. For large scale cultivation a site with optimal growing conditions (mild winter, long vegetation period, high rainfalls, high average temperature) should be chosen. Regarding the extremely slow development of the ivy plant in spring, it is necessary to make sure, that a field with low weed pressure is used. The probability of winters with very low temperatures without snow and of hot and dry summer seasons should be low.

7 LITERATURVERZEICHNIS

- Ackerfield, J., & Wen, J. (2002). A morphometric analysis of *Hedera* L. (the ivy genus, Araliaceae) and its taxonomic implications. *ADANSONIA, sér. 3*, S. 24 (2): 197 - 212.
- Albert, A. (1958). Abgerufen am 2009 von pharmawiki.ch:
<http://www.pharmawiki.ch/wiki/index.php?wiki=Prodrugs>
- Andergassen, S., & Bauer, H. (2002). Frost hardiness in the juvenile and adult life phase of ivy (*Hedera helix* L.). *Plant Ecology*, S. 161: 207 - 213.
- Badre, B., Nobelis, P., & Trémolières, M. (1998). Quantitative study and modelling of the litter decomposition in a European alluvial forest. Is there an influence of overstorey tree species on the decomposition of ivy litter (*Hedera helix* L.) *Acta Oecologica*, S. 19: 491 - 500.
- Bannister, P. (1976). *Introduction to Physiological Plant Ecology*. Oxford, UK: Blackwell Scientific Publications.
- Bauer, H., & Thöni, W. (1988). Photosynthetic light acclimation in fully developed leaves of the juvenile and adult life phases of *Hedera helix*. *Physiologia Plantarum*, S. 73: 31 - 37.
- Bean, W. J. (1915). *Trees and shrubs hardy in the British Isles*. New York: E. P. Dutton & Co.
- Bedir, I., Kirmizipekmez, H., Sticher, O., & Cahs, I. (2000). Triterpene saponins from the fruits of *Hedera helix*. *Phytochemistry* 53, S. 905 - 909.
- Büechi, S., & Bolli, R. (2003). Efeu - Expectorans, Mukolytikum und Broncholytikum. *Phytotherapie*, S. 3; 19 - 22.
- Bundessortenamt, B. d. (2008). *Bundesgehölzsichtung: Hedera 1990 - 1995*. Abgerufen am 19. April 2011 von <http://www.gehoelzsichtung.de/gehoelze/hedera/woerner.htm>
- Clark, J. (1983). Age-related changes in trees. *Journal of Arboriculture*, 9, S. 201-205.
- Clarke, M. M., Reihard, S. H., & Hamilton, C. W. (2006). Prevalence of different horticultural taxa of ivy (*Hedera* spp., Araliaceae) in invading populations. *Biological Invasions*, S. 8: 149 - 157.
- Clergeau, P. (1992). The effect of birds on seed germination of fleshy-fruited plants in temperate farmland. *Acta Oecologia*, S. 13: 679 - 686.
- Dahl, E. (1998). *The Phytogeography of Northern Europe*. Cambridge, UK: Cambridge University Press.
- Demirci, B., Goppel, M., Demirci, F., & Franz, G. (2004). HPLC profiling and quantification of active principles in leaves of *Hedera helix* L. *Pharmazie* 59, S. 59; 770 - 774.
- Dierschke, H. (2005). Zur Lebensweise, Ausbreitung und aktuellen Verbreitung von *Hedera helix*, einer ungewöhnlichen Pflanze unserer Flora und Vegetation. *Hoppea, Denkschr. Regensb. Bot. Ges.* 66; *Schönfelder-Festschrift*, S. 66: 187 - 206.
- Döring, M. (2007). *Untersuchungen zur Vermehrung und Mykorrhiza von Eleutherococcus (Maxim.) Araliaceae; Dissertation*. Marburg: Philipps-Universität.

- Elias, R., Diaz Lanza, A. M., Vidal-Ollivier, E., & Balansard, G. (Jan-Feb 1991). Triterpenoid Saponins from the Leaves of *Hedera helix*. *Journal of Natural Products* Vol. 54 , S. Vol. 54; No. 1; pp 98-103.
- Ellenberg, H. (1988). *Vegetation Ecology of Central Europe; fourth ed.* Cambridge, UK: Cambridge University Press.
- Ellenberg, H., Weber, H. E., Düll, R., Wirth, V., Werner, W., & Paulissen, D. (1992). Zeigerwerte von Pflanzen in Mitteleuropa. 2. Auflage. *Scripta Geobot.* , S. 18: 1 - 258.
- fid-gesundheitswissen.de. (2011). *fid-Gesundheitswissen.de*. Abgerufen am 05.. Januar 2011 von <http://www.fid-gesundheitswissen.de/pflanzenheilkunde/efeu/22201132/>
- Fischer, A., & Feller, U. (1994). Seasonal changes in the pattern of assimilatory enzymes and the proteolytic activities in leaves of juvenile ivy. *Annals of Botany* , S. 74: 389 - 396.
- forum-naturheilkunde.de. (05. 01 2012). *forum-naturheilkunde.de*. Von <http://www.forum-naturheilkunde.de/phytotherapie/heilpflanzen/efeu.html> abgerufen
- forum-naturheilkunde.de. (Zugriff 2010).
<http://www.forum-naturheilkunde.de/phytotherapie/heilpflanzen/efeu.html>. Internet.
- Grivet, D., & Petit, R. J. (2002). Phylogeography of the common ivy (*Hedera* sp.) in Europe: genetic differentiation through space and time. *Molecular Ecology* 11 , S. 11: 1351 - 1362.
- Gulyas, A., & Lämmlein, M. (1992). Zur Behandlung von Kindern mit chronisch-obstruktiver Bronchitis. *Sozial Päd.* 14 , S. 632 - 634.
- Häberlein, H. (3. Februar 2005). Der Nachweis der Wirkmechanismen unterstreicht den Stellenwert von Efeuextrakten. Diskussion im PresseClub München.
- Hager, & Blaschek (Hrsg.), W. (1998). *Hagers Handbuch der pharmazeutischen Praxis: Drogen A - K; Folgeband 2.* Berlin, Heidelberg, New York: Springer - Verlag.
- Hean, E. (1996; Suppl. 1). Pharmacological activities of *Thymus vulgaris* and *Hedera helix*. *Phytomedicine* , S. 144.
- Hecker, M. (1997). Efeublättertrockenextrakt: Hustentropfen mit Ethanol - deutlich bessere Wirksamkeit. *T & E Pädiatrie* 10 , S. 648 - 650.
- Hecker, M. (1999). Wirksamkeit und Verträglichkeit von Efeuextrakt bei Patienten mit Atemwegserkrankungen. *Natura med* 14 , S. 28 - 33.
- Hecker, M., Runkel, F., & Völp, A. (2002). Behandlung chronischer Bronchitis mit einem Spezialextrakt aus Efeublättern - multizentrische Anwendungsbeobachtung mit 1350 Patienten. *Forsch. Komplementärmed. Klass. Naturheilkd.* 9 , S. 77 - 84.
- Hegi, G. (1965). *Illustrierte Flora von Mitteleuropa. Band V, 2. Teil.* München: Carl Hanser.
- Heieck, I. (1992). *Schöne Efeus.* Stuttgart: Eugen Ulmer GmbH & Co.
- Hibbert, S. (1893). *The Ivy: a monograph.* London: W. H. & L. Collingridge.
- Hoflacher, H., & Bauer, H. (1982). Light acclimation in leaves of the juvenile and adult life phases of ivy (*Hedera helix*). *Physiologia Plantarum* , S. 56: 177 - 182.

- Horrel, B. A., Jameson, P. E., & Bannister, P. (1989). Growth promotion of ivy (*Hedera helix* L.) by paclobutrazol. *Plant Growth Regulation* , S. 8: 309 - 314.
- Horz, K.-H., & Reichling, J. (2003). HagerROM. Heidelberg: Springer-Verlag.
- Huntley, B., & Birks, H. J. (1983). *An Atlas of Past and Present Pollen Maps of Europe: 0–13 000 Years Ago*. Cambridge, UK: Cambridge University Press.
- itis.gov. (2012). *ITIS Report (Integrated Taxonomic Information System)*. Abgerufen am 2012 von http://www.itis.gov/servlet/SingleRpt/SingleRpt?search_topic=TSN&search_value=29393
- Iversen, J. (1944). *Viscum, Hedera and Ilex as climatic indicators*. *Geologiska Föreningens Stockholm Förhandlingar* , S. 66: 463 - 483.
- Kent, D. H. (1991). *List of vascular plants of the British Isles*. London: Botanical Society of the British Isles.
- Kollmann, J. (1994). Ausbreitungsökologie endozochlorer Gehölzarten. Naturschutzorientierte Untersuchungen über die Rolle von Gehölzen bei der Erhaltung, Entwicklung und Vernetzung von Ökosystemen. *Veröff. Projekt Angew. Ökol.* , S. 9: 1 - 212.
- Kraft, K. (2004). Verträglichkeit von Efeublättertrockenextrakt im Kindesalter. *Z. Phytotherapie* 25 , S. 179 - 181.
- Kunka, R. (Mai 2004). Klimawandel in Thüringen - Eine Herausforderung unserer Zeit. *Broschüre des Ministeriums für Landwirtschaft, Naturschutz und Umwelt des Freistaats Thüringen* .
- Lang, G. (1994). *Quartäre Vegetationsgeschichte Europas. Methoden und Ergebnisse*. Jena: Spektrum Akademischer Verlag.
- Laroque, K. (1998). *Hedera helix Liana; Master's thesis*. Victoria, Canada: University of Victoria.
- Lässig, W. e. (1996). Wirksamkeit und Verträglichkeit efeuhaltiger Hustenmittel. *TW Pädiatrie* 9 , S. 489 - 491.
- Lawrence, G. H., & Schulze, A. E. (1942). The cultivated *Hedera*s. *Gentes Herb.* 6 , S. 106 - 173.
- Lum, C., & Maze, J. (1989). A multivariate analysis of *Hedera* L. *Watsonia* 17 , S. 409 - 418.
- Mansfeld, H. J. (1998). Therapie des Asthma bronchiale mit Efeublätter-Trockenextrakt. *Münch. Med. Wschr.* 140 , S. 26 - 30.
- Mansfeld, H.-J. e. (1997). Sekretolyse und Bronchospasmolyse. *TW Pädiatrie* 10 , S. 155 - 157.
- Mayer, H., Pfandl, A., Grigorieff, A., & Zickner, I. (15. Oktober 1987). Der Efeu - eine alte Kult- und Heilpflanze. *Pharmazeutische Zeitung* , S. 2573-2678 .
- McAllister, H. A. (1988). Canary and Algerian ivies. *The plantsman* , S. 10: 27 - 29.
- McAllister, H. A. (1981). New work on ivies. *Int. Dendr. Soc.* , S. 106 - 109.
- McAllister, H. A., & Rutherford, A. (1990). *Hedera helix* L. and *Hedera hibernica* (Kirchner) Bean Araliaceae in the British Isles. *Watsonia* , S. 18: 7 - 15.
- Mehran, G. H., Hilal, S. H., & El-Alfi, T. S. (1975; 27 (2)). The Isolation and Characterisation of Emetine Alkaloid from *Hedera helix* . *Planta medica* , S. 127-132.

- Metcalfe, D. J. (2005). Biological Flora of the British Isles. *Hedera helix* L. *Journal of Ecology* 2005; 93 , S. 632 - 648.
- Meyer-Wegener, J., Liebscher, K., & Hettrich, M. (1993). Efeu versus Ambroxol bei chronischer Bronchitis. *ZFA* 69 , S. 61 - 66.
- Mullen, J., & Hagan, A. (1999). *Diseases of English Ivy*. Auburn, USA: Auburn University.
- Nijveldt, R. J., van Nood, E., van Hoorn, D. E., Poelens, P. G., van Norren, K., & van Leeuwen, P. A. (2001). Flavonoids: a review of probable mechanisms of action and potential applications. *Am J Clin Nutr* 74 , S. 74; 418 - 425.
- Parker, J. (1962). Relationships among cold hardiness, watersoluble protein, anthocyanins and free sugars in *Hedera helix* L. *Plant Physiology* , S. 37: 809 - 813.
- Pennisi, B. V., Oetting, R. D., Stegelin, F. I., Thomas, P. A., & Woodward, J. L. (2001; reviewed 2009). *Commercial Production of English Ivy (Hedera helix L.)*. Athens, Georgia USA: The University of Georgia .
- Pflanzensysteme, F. H. (kein Datum). *Bodendecker-am-laufenden-meter.de*. Abgerufen am 19. Februar 2011 von <http://www.bodendecker-am-laufenden-meter.de/de/content/sortiment-121/>
- Ph. Eur. 6. Ausgabe, G. 2. (2008). *Europäisches Arzneibuch, 6. Ausgabe, Grundwerk 2008*. Stuttgart: Deutscher Apotheker Verlag.
- Plenk, A., & Richter, E. (2006). *Gesunde Zierpflanzen für Garten, Terrasse und Zimmer*. Wien: Österreichischer Agrarverlag.
- Pollet, B., Steppe, K., Dambre, P., Van Labeke, M.-C., & Lemeur, L. (2008). Growth Response of *Hedera helix* L. to Temperature Integration. *Acta Horticulturae* , S. 801: 1387 - 1392.
- Poyarkova, A. I. (1973). *Hedera*. *Flora of the U.S.S.R. vol. 16* , S. 4 - 16.
- Preston, C. D., & Hill, M. O. (1997). The geographical relationships of British and Irish vascular plants. *Botanical Journal of the Linnean Society* , S. 124: 1 - 120.
- Preston, C. D., Pearman, D. A., & Dines, T. D. (2002). *New Atlas of the British and Irish Flora*. Oxford, UK: Oxford University Press.
- Rogler, C. E., & Hackett, W. P. (1975). Phase change in *Hedera helix*: induction of the mature to juvenile phase change by gibberellin A3. *Physiologia Plantarum* , S. 34: 141 - 147.
- Rose, P. Q. (1997). *The gardener's guide to growing ivies*. London: David and Charles.
- Roth, L., & Daunderer, M. (2007). *Giffliste*. Heidelberg: Verlagsgruppe Hüthig, Jehle, Rehm GmbH.
- Runkel, F., Prenner, L., & Häberlein, H. (27. Januar 2005). Ein Beitrag zum Wirkmechanismus von Efeu. *Pharmazeutische Zeitung* , S. 19 - 25.
- Runkel, F., Prenner, L., & Häberlein, H. (2005). Ein Beitrag zum Wirkmechanismus von Efeu. *Pharmazeutische Zeitung, Heft 4* , S. 19 - 25.
- Runkel, F., Prenner, L., & Häberlein, H. (2005; Heft 4). Ein Beitrag zum Wirkmechanismus von Efeu. *Pharmazeutische Zeitung* , S. 19 - 25.

- Rusche, S. (1979). *Über das Vorkommen von Alkaloiden in juvenilen und adulten Blättern von Hedera helix L.* Diplomarbeit, Universität Graz.
- Rutherford, A., McAllister, H. A., & Mill, R. R. (1993). New ivies from the Mediterranean area and Macaronesia. *Plantsman*, S. 15: 115 - 128.
- Schäfer, S. (2006). *Untersuchung zur antioxidativen Wirksamkeit von polyphenolischen Apfelsaftinhaltsstoffen in humanen Klonzellen.* Kaiserslautern: Dissertation im Fachbereich Chemie TU Kaiserslautern.
- Schäffner, K.-H., & Nagl, W. (1979). Differential DNA replication involved in transition from juvenile to adult phase in *Hedera helix* (Araliaceae). *Plant Systematics and Evolution*, S. 2 (suppl.): 105 - 110.
- Scheidegger, I. J., & Cherbulieez, E. (1955). *Helvetica Chimica Acta* 38, S. 38: 547 - 556.
- Seemann, B. (1868). *Revision of the natural order Hederaceae.* London: Reeve & Co.
- Sieben, A., Prenner, L., Sorkalla, T., Wolf, A., Jakobs, D., Runkel, F., et al. (März 2009). alpha-Hederin, but not hederacoside C and hederagenin from *Hedera helix* affects the binding behaviour, dynamics, and regulation of beta2-adrenergic receptors. *Biochemistry*.
- Sinott, E. W. (1960). *Plant Morphogenesis.* New York, USA: McGraw-Hill.
- Stace, C. A. (1997). *New flora of the British Isles; second ed.* Cambridge: Cambridge Univ. Press.
- Steet, H. E., & Öpik, H. (1984). *The Physiology of Flowering Plants: Their Growth and Development, 3rd ed.* London, UK: Edward Arnold.
- Steponkus, P. L., & Lanphear, F. O. (1967). The Role of Light in Cold Acclimation of *Hedera helix* L. var. Thorndale. *Plant Physiol.*, S. 43: 151 - 156.
- Suzuki, A., Kusumoto, S., Horie, H., & Takikawa, Y. (2002). Bacterial Leaf Spot of Ivy Caused by *Xanthomonas campestris* pv. *hederae*. *J. Gen. Plant Pathol.*, S. 68: 398 - 400.
- Talalay, P., Fahey, J. W., Holtzclaw, W. D., Prestera, T., & Zhang, Y. (1995). Chemoprotection against cancer by phase 2 enzyme induction. *Toxicol Lett* 82 - 83, S. 82 - 83; 173 - 179.
- Tobler, F. (1912). *Die Gattung Hedera.* Jena: Gustav Fischer Verlag.
- University of Illinois. (1999). *Leaf Spot Diseases of English Ivy; Report on Plant Disease RPD No. 652.* Illinois, USA: University of Illinois, College of Agricultural, Consumer and Environmental Sciences.
- Valcácel, V., Fiz, O., & Vargas, P. (2003). Chloroplast and nuclear evidence for multiple origins of polyploids and diploids *Hedera* (Araliaceae) in the mediterranean basin. *Molecular Phylogenetics and Evolution* 27, S. 1 - 20.
- van Acker, S. A., van Balen, G. P., van den Berg, D. J., Bast, A., & van der Vijgh, W. J. (1998). Influence of iron chelation on the antioxidant activity of flavonoids. *Biochem Pharmacol* 56, S. 56; 935 - 943.
- Vargas, P., McAllister, H., Morton, C., Jury, S. L., & Wilkinson, M. J. (1999). Polyploid speciation in *Hedera* (Araliaceae): phylogenetic and biogeographic insights based on chromosome counts and ITS sequences. *Plant Systematics and Evolution* 219, S. 165 - 179.
- Voss, A. (1896). *Vilmorin's Blumengärtnerei Vol. 2.* Berlin: Verlagsbuchhandlung Paul Parey.
- Wagner, H., & Wiesenauer, M. (1995). *Phytotherapie.* Stuttgart: Gustav Fischer Verlag.

- Wareing, P. F., & Frydman, V. M. (1976). General aspects of phase change, with special reference to *Hedera helix* L. *Acta Horticulturae*, S. 56: 57 - 69.
- Warner Pierot, S. (1995). *The Ivy Book; The Growing and Care of Ivy*. Willow, New York: Suzanne Warner Pierot.
- Watzl, B. (2001). Saponine - Charakteristik, Vorkommen, Aufnahme, Stoffwechsel, Wirkungen. *Ernährungsumschau* 48, S. (6); 251 - 253.
- Wichtl, M. (4. Auflage, 2002). *Hederae folium in: Teedrogen und Phytopharmaka*. Stuttgart: Wissenschaftliche Verlagsgesellschaft mbH.
- Wichtl, M. (2002). *Teedrogen und Phytopharmaka*. Stuttgart: Wissenschaftliche Verlagsgesellschaft mbH.
- Zimmermann, R., Hackett, W. P., & Pharis, R. P. (1985). Hormonal aspects of the phase change and precocious flowering. In *Encyclopedia of plant physiology new series, Vol. 11 Hormonal Regulation of Development III: Role of Environmental Factors* (S. 79 - 115). Berlin: Springer - Verlag.

8. ANHANG

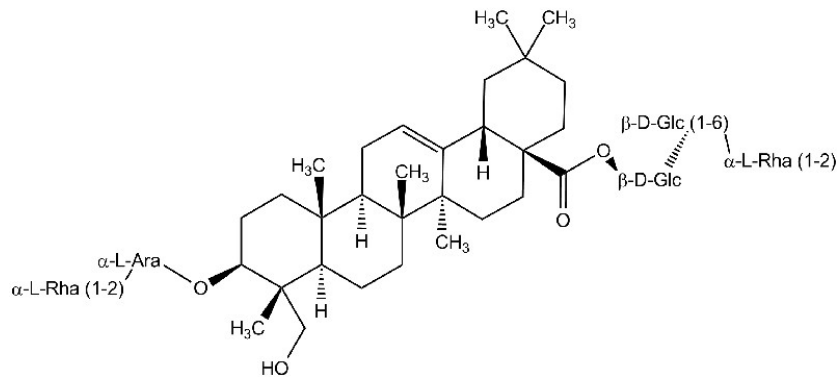


Abb. 125: Strukturformel von Hederacosid C. © PhytoLab GmbH & Co. KG

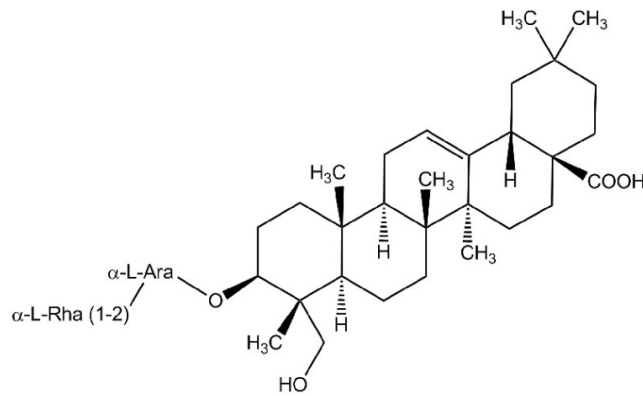
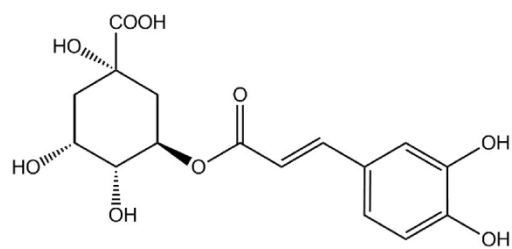
Abb. 126: Strukturformel von α -Hederin. © PhytoLab GmbH & Co. KG

Abb. 127: Strukturformel von Chlorogensäure. © PhytoLab GmbH & Co. KG

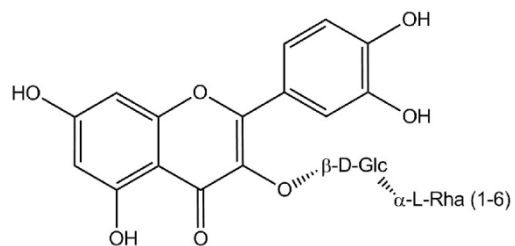


Abb. 128: Strukturformel von Rutosid. © PhytoLab GmbH & Co. KG

Tab. 10: zeitlicher Ablaufplan der Merkmalerhebung in den durchgeführten Versuchen.

Merkmal	Zeitpunkt der Erhebung	Versuch Herkunfts- vergleich	Versuch Pflanzdichte	Versuch Schnitt- regime
Bonitur Frosthärte	Spätfrühling 2006	X		
	Spätfrühling 2007	X		
	Spätfrühling 2008	X		
Bonitur Austrieb an Sprossbasis (%)	Spätfrühling 2006	X		
	Spätfrühling 2007	X		
	Spätfrühling 2008	X		
Bonitur Austrieb an Ranke (%)	Spätfrühling 2006	X		
	Spätfrühling 2007	X		
	Spätfrühling 2008	X		
Internodienlänge (cm)	Vor Ernte 1 im Jahr 2006	X	X	X
	Vor Ernte 2 im Jahr 2006	X	X	X
	Vor Ernte 3 im Jahr 2006			X
	Vor Ernte 1 im Jahr 2007	X	X	X
	Vor Ernte 2 im Jahr 2007	X	X	X
	Vor Ernte 3 im Jahr 2007			X
	Vor Ernte 1 im Jahr 2008	X	X	X
	Vor Ernte 2 im Jahr 2008	X	X	X
	Vor Ernte 3 im Jahr 2008			X
Blattstiellänge	Vor Ernte 1 im Jahr 2006	X	X	X
	Vor Ernte 2 im Jahr 2006	X	X	X
	Vor Ernte 3 im Jahr 2006			X
	Vor Ernte 1 im Jahr 2007	X	X	X
	Vor Ernte 2 im Jahr 2007	X	X	X
	Vor Ernte 3 im Jahr 2007			X
	Vor Ernte 1 im Jahr 2008	X	X	X
	Vor Ernte 2 im Jahr 2008	X	X	X
	Vor Ernte 3 im Jahr 2008			X
Bonitur Biomasse	Vor Ernte 1 im Jahr 2006	X		
	Vor Ernte 2 im Jahr 2006	X		
	Vor Ernte 1 im Jahr 2007	X		
	Vor Ernte 2 im Jahr 2007	X		
	Vor Ernte 1 im Jahr 2008	X		
	Vor Ernte 2 im Jahr 2008	X		
Ertrag Stielfraktion Frischmasse (g/m ²)	Vor Ernte 1 im Jahr 2006	X	X	X
	Vor Ernte 2 im Jahr 2006	X	X	X
	Vor Ernte 3 im Jahr 2006			X
	Vor Ernte 1 im Jahr 2007	X	X	X
	Vor Ernte 2 im Jahr 2007	X	X	X
	Vor Ernte 3 im Jahr 2007			X
	Vor Ernte 1 im Jahr 2008	X	X	X
	Vor Ernte 2 im Jahr 2008	X	X	X
	Vor Ernte 3 im Jahr 2008			X

Ertrag Blattfraktion Frischmasse (g/m ²)	Vor Ernte 1 im Jahr 2006	X	X	X
	Vor Ernte 2 im Jahr 2006	X	X	X
	Vor Ernte 3 im Jahr 2006			X
	Vor Ernte 1 im Jahr 2007	X	X	X
	Vor Ernte 2 im Jahr 2007	X	X	X
	Vor Ernte 3 im Jahr 2007			X
	Vor Ernte 1 im Jahr 2008	X	X	X
	Vor Ernte 2 im Jahr 2008	X	X	X
	Vor Ernte 3 im Jahr 2008			X
Ertrag Stielfraktion Trockenmasse (g/m ²)	Vor Ernte 1 im Jahr 2006	X	X	X
	Vor Ernte 2 im Jahr 2006	X	X	X
	Vor Ernte 3 im Jahr 2006			X
	Vor Ernte 1 im Jahr 2007	X	X	X
	Vor Ernte 2 im Jahr 2007	X	X	X
	Vor Ernte 3 im Jahr 2007			X
	Vor Ernte 1 im Jahr 2008	X	X	X
	Vor Ernte 2 im Jahr 2008	X	X	X
	Vor Ernte 3 im Jahr 2008			X
Ertrag Blattfraktion Trockenmasse (g/m ²)	Vor Ernte 1 im Jahr 2006	X	X	X
	Vor Ernte 2 im Jahr 2006	X	X	X
	Vor Ernte 3 im Jahr 2006			X
	Vor Ernte 1 im Jahr 2007	X	X	X
	Vor Ernte 2 im Jahr 2007	X	X	X
	Vor Ernte 3 im Jahr 2007			X
	Vor Ernte 1 im Jahr 2008	X	X	X
	Vor Ernte 2 im Jahr 2008	X	X	X
	Vor Ernte 3 im Jahr 2008			X
relativer Anteil (%) Stielfraktion am Gesamtertrag Trockenmasse	Vor Ernte 1 im Jahr 2006	X	X	X
	Vor Ernte 2 im Jahr 2006	X	X	X
	Vor Ernte 3 im Jahr 2006			X
	Vor Ernte 1 im Jahr 2007	X	X	X
	Vor Ernte 2 im Jahr 2007	X	X	X
	Vor Ernte 3 im Jahr 2007			X
	Vor Ernte 1 im Jahr 2008	X	X	X
	Vor Ernte 2 im Jahr 2008	X	X	X
	Vor Ernte 3 im Jahr 2008			X
Eintrocknungsverhältnis Stielfraktion (1 zu n)	Vor Ernte 1 im Jahr 2006	X	X	X
	Vor Ernte 2 im Jahr 2006	X	X	X
	Vor Ernte 3 im Jahr 2006			X
	Vor Ernte 1 im Jahr 2007	X	X	X
	Vor Ernte 2 im Jahr 2007	X	X	X
	Vor Ernte 3 im Jahr 2007			X
	Vor Ernte 1 im Jahr 2008	X	X	X
	Vor Ernte 2 im Jahr 2008	X	X	X
	Vor Ernte 3 im Jahr 2008			X

Eintrocknungsverhältnis Blattfraktion (1 zu n)	Vor Ernte 1 im Jahr 2006	X	X	X
	Vor Ernte 2 im Jahr 2006	X	X	X
	Vor Ernte 3 im Jahr 2006			X
	Vor Ernte 1 im Jahr 2007	X	X	X
	Vor Ernte 2 im Jahr 2007	X	X	X
	Vor Ernte 3 im Jahr 2007			X
	Vor Ernte 1 im Jahr 2008	X	X	X
	Vor Ernte 2 im Jahr 2008	X	X	X
	Vor Ernte 3 im Jahr 2008			X
Gehalt an Hederacosid C (% TM Blattdroge)	Vor Ernte 1 im Jahr 2006	X	X	X
	Vor Ernte 2 im Jahr 2006	X	X	X
	Vor Ernte 3 im Jahr 2006			X
	Vor Ernte 1 im Jahr 2007	X	X	X
	Vor Ernte 2 im Jahr 2007	X	X	X
	Vor Ernte 3 im Jahr 2007			X
	Vor Ernte 1 im Jahr 2008	X	X	X
	Vor Ernte 2 im Jahr 2008	X	X	X
	Vor Ernte 3 im Jahr 2008			X
Gehalt an α -Hederin (% TM Blattdroge)	Vor Ernte 1 im Jahr 2006	X	X	X
	Vor Ernte 2 im Jahr 2006	X	X	X
	Vor Ernte 3 im Jahr 2006			X
	Vor Ernte 1 im Jahr 2007	X	X	X
	Vor Ernte 2 im Jahr 2007	X	X	X
	Vor Ernte 3 im Jahr 2007			X
	Vor Ernte 1 im Jahr 2008	X	X	X
	Vor Ernte 2 im Jahr 2008	X	X	X
	Vor Ernte 3 im Jahr 2008			X
Gehalt an Chlorogensäure (% TM Blattdroge)	Vor Ernte 1 im Jahr 2006	X	X	X
	Vor Ernte 2 im Jahr 2006	X	X	X
	Vor Ernte 3 im Jahr 2006			X
	Vor Ernte 1 im Jahr 2007	X	X	X
	Vor Ernte 2 im Jahr 2007	X	X	X
	Vor Ernte 3 im Jahr 2007			X
	Vor Ernte 1 im Jahr 2008	X	X	X
	Vor Ernte 2 im Jahr 2008	X	X	X
	Vor Ernte 3 im Jahr 2008			X
Gehalt an Rutosid (% TM Blattdroge)	Vor Ernte 1 im Jahr 2006	X	X	X
	Vor Ernte 2 im Jahr 2006	X	X	X
	Vor Ernte 3 im Jahr 2006			X
	Vor Ernte 1 im Jahr 2007	X	X	X
	Vor Ernte 2 im Jahr 2007	X	X	X
	Vor Ernte 3 im Jahr 2007			X
	Vor Ernte 1 im Jahr 2008	X	X	X
	Vor Ernte 2 im Jahr 2008	X	X	X
	Vor Ernte 3 im Jahr 2008			X

Tab. 11: technische Details der HPLC-Analytik nach den Angaben der Fa. Engelhard GmbH & Co. KG

Analysierte Inhaltsstoffe:

Hederacosid C
 α -Hederin
Chlorogensäure
Rutosid

Reagenzien:Referenzsubstanzen:

α -Hederin:	Fa. Roth, Rotichrom [®] , Art. Nr.: 9970
Hederacosid C:	Fa. Roth, Art. Nr.: 6775
Chlorogensäure:	Fa. Roth, Art. Nr.: 6385
Rutosid:	Fa. Roth, Rotichrom [®] , Art. Nr.: 7176

Lösungsmittel:

Methanol:	Fa. Roth, Art. Nr.: 7342 Fa. VWR, Art. Nr.: 20864.320
Acetonitril:	Fa. Merck, Art. Nr.: 1.00030.2500 Fa. Roth, Art. Nr.: 8825 Fa. VWR, Art. Nr.: 20060.320
Phosphorsäure 85%:	Fa. Merck, Art. Nr.: 1.00573.1000
Entionisiertes Wasser:	Fa. Engelhard Arzneimittel GmbH & Co. KG

Herstellung der benötigten Lösungen:

Lösungsmittel zur Herstellung der Referenz- sowie der Untersuchungslösung:
Wasser R, Methanol R (20:80 V/V)

Referenzlösung

Es wurden 20 mg Hederacosid C und je 10 mg α -Hederin, Chlorogensäure sowie Rutosid zusammen in einen 50-ml-Messkolben gewogen und mit dem o.g. Lösungsmittel aufgefüllt.

Untersuchungslösung

1,00 g pulverisierter Droge wurde in einem 250-ml-Rundkolben mit 50 ml einer Mischung von 20 Volumteilen Wasser R und 80 Volumteilen Methanol R versetzt. Die Mischung wurde 1 h lang im Wasserbad bei 80 °C unter Rückflusskühlung erhitzt, anschließend abgekühlt und durch einen Wattebausch in einen 100-ml-Messkolben filtriert. Der Wattebausch und der Rückstand wurden 30 min lang mit 30 ml einer Mischung von 20 Volumteilen Wasser R und 80 Volumteilen Methanol R unter Rückflusskühlung extrahiert. Dieser Ansatz wurde filtriert und die Filtrate anschließend vereinigt. Der Rundkolben und der Wattebausch wurden mit einer Mischung von 20 Volumteilen Wasser R und 80 Volumteilen Methanol R gewaschen und die vereinigten Filtrate im Messkolben mit der Waschflüssigkeit zu 100.0 ml verdünnt. Vor der Verwendung wurde die Untersuchungslösung durch eine Membran filtriert.

Mobile Phase A

Die mobile Phase A bestand aus einer Mischung von 140 Volumteilen Acetonitril R und 880 Volumteilen Wasser R, das zuvor mit Phosphorsäure 85 % R auf einen pH-Wert von 2.0 eingestellt wurde.

Mobile Phase B

Die mobile Phase B besteht aus Phosphorsäure 85 % R und Acetonitril R (2:998 V/V).

Analytik

Es wurden drei HPLC-Anlagen verwendet:

„R6“, bestehend aus folgenden Bauteilen:

Pumpe: 655A-11 mit drei Proportionierungsventilen, Fa. Merck, Seriennummer: 6007-49
 Probengeber: Marathon, Fa. Spark, Seriennummer: 2-4-08
 Detektor: UV-Detektor 430, Kontron, Seriennummer: 03920272
 Kompressor: Modell 3, Fa. Jun-Air, Seriennummer: 456216
 LC-Controller: L-5000, Fa. Merck, Seriennummer: 6001-132

„R8“, eine „Komplettanlage“:

Varian 920-LC, Fa. Varian, Seriennummer: LC 0809 M035

„E2“, bestehend aus folgenden Bauteilen:

Pumpe: 9010, Fa. Varian, mit drei Proportionierungsventilen
 Probengeber: Marathon, Fa. Spark
 Diodenarray-Detektor 440, Fa. Kontron

Chromatographische Bedingungen:

Säule: LiChrospher 100 RP 18, 5 µm, 125*4 mm
 - Größe: $l = 0,125 \text{ m}$, $\varnothing = 4 \text{ mm}$
 - Stationäre Phase: octadecylsilyliertes Kieselgel zur Chromatographie R (5 µm)

Detektion: Spektrometer bei 205 nm

Durchflussrate: $1.5 \text{ ml} \cdot \text{min}^{-1}$

Auftragsvolumen: 20 µl

Laufzeit: 70 Minuten

Fließmittelgradient:

Zeit (min)	Mobile Phase A	Mobile Phase B
0 – 5	100	0
5 – 6	100 → 94	0 → 6
6 – 40	94 → 60	6 → 40
40 – 41	60 → 0	40 → 100
41 – 55	0	100
55 – 56	0 → 100	100 → 0
56 – 70	100	0

Tab. 12: Lageplan der Parzellenversuche

	Wdh 1	Wdh 2	Wdh 3	Wdh 4	Mutterpflanzenquartier
	Rand: Restplanzen	Rand: Restplanzen	Rand: Restplanzen	Rand: Restplanzen	Rand: Restplanzen
Herkunftsvergleich	PG 11	PG 12	PG 4	PG 5	Herkunft 22
	PG 13	PG 10	PG 14	PG 28	Herkunft 30
	PG 28	PG 4	PG 17	PG 7	Herkunft 29
	PG 8	PG 6	PG 2	PG 13	Herkunft 28
	PG 5	PG 1	PG 27	PG 17	Herkunft 27
	PG 9	PG 13	PG 3	PG 6	Herkunft 25
	PG 15	PG 16	PG 10	PG 8	Herkunft 24
	PG 12	PG 27	PG 1	PG 15	Herkunft 21
	PG 27	PG 8	PG 16	PG 14	Herkunft 20
	PG 4	PG 15	PG 9	PG 4	Herkunft 19
	PG 14	PG 7	PG 11	PG 27	Herkunft 18
	PG 3	PG 28	PG 15	PG 10	Herkunft 17
	PG 10	PG 9	PG 12	PG 1	Herkunft 16
	PG 2	PG 3	PG 28	PG 12	Herkunft 15
	PG 16	PG 14	PG 7	PG 11	Herkunft 14
	PG 1	PG 5	PG 8	PG 3	Herkunft 13
	PG 7	PG 17	PG 6	PG 16	Herkunft 12
	PG 6	PG 11	PG 13	PG 2	Herkunft 11
	PG 17	PG 2	PG 5	PG 9	Herkunft 10
	Versuch Schnittregime	PG 3	PG 1	PG 3	PG 2
PG 2		PG 2	PG 1	PG 1	Herkunft 8
PG 1		PG 3	PG 2	PG 3	Herkunft 7
				Herkunft 6	
				Herkunft 5	
				Herkunft 4	
Versuch Pflanzdichte	PG 3	PG 1	PG 3	PG 2	Herkunft 3
	PG 2	PG 2	PG 1	PG 1	Herkunft 2
	PG 1	PG 3	PG 2	PG 3	Herkunft 1

Tab. 13: Ablaufplan der Düngemaßnahmen in den Efeu-Parzellenversuchen

Versuchsjahr 2006				Schnitthäufigkeit		
KW	Tätigkeiten	Herkunftsvergleich	Pflanzdichte	3 Ernten	2 Ernten	1 Ernte
16	Düngergabe 30 kg N/ha (KAS)	30	30	30	30	30
20	Grunddüngung: 100 kg/ha Korn-Kali® (40% K ₂ O, 6 % MgO, 3% Na, 4% S); hier als 40 kg/ha K ₂ O aufgeführt	40	40	40	40	40
23	Ernte			X		
25	Ernte				X	
27	Ernte	X	X			
27	Düngergabe 40 kg N/ha (KAS)	40	40			
30	Ernte			X		
34	Ernte				X	
35	Düngergabe 10 kg N/ha (KAS)				10	
37	Ernte	X	X	X		X
37	Düngergabe 10 kg N/ha (KAS)	10	10	10		10
	SUMME N/ha	80	80	40	40	40
	SUMME K₂O/ha	40	40	40	40	40

Versuchsjahr 2007				Schnitthäufigkeit		
KW	Tätigkeiten	Herkunftsvergleich	Pflanzdichte	3 Ernten	2 Ernten	1 Ernte
18	Düngergabe 60 kg N/ha (KAS)	60	60	60	60	60
23	Ernte			X		
25	Ernte				X	
27/28	Ernte	X	X			
29	Düngergabe 40 kg N/ha (KAS)	40	40	40	40	40
30	Ernte			X		
34	Ernte				X	
37	Ernte	X	X	X		X
	SUMME N/ha	100	100	100	100	100
	SUMME K₂O/ha	0	0	0	0	0

Versuchsjahr 2008				Schnitthäufigkeit		
KW	Tätigkeiten	Herkunftsvergleich	Pflanzdichte	3 Ernten	2 Ernten	1 Ernte
16	Düngergabe 50 kg N/ha (KAS)	50	50	50	50	50
16	Grunddüngung: 100 kg/ha Korn-Kali® (40% K ₂ O, 6 % MgO, 3% Na, 4% S); hier als 40 kg/ha K ₂ O aufgeführt	40	40	40	40	40
23	Ernte			X		
25	Ernte				X	
27	Ernte	X	X			
27	Düngergabe 50 kg N/ha (KAS)	50	50	50	50	50
30	Ernte			X		
34	Ernte				X	
37	Ernte	X	X	X		X
	SUMME N/ha	100	100	100	100	100
	SUMME K₂O/ha	40	40	40	40	40

DANKSAGUNG

Herrn Prof. Dr. Bernd Honermeier danke ich für die Überlassung des Themas und die Betreuung während der Erstellung der Arbeit. Weiterhin danke ich Herrn Prof. Dr. Günther Leithold für die Übernahme der Zweitbegutachtung und Frau Gabriele Stasch für die Unterstützung bei der statistischen Auswertung.

Mein besonderer Dank gilt der Firma Engelhard Arzneimittel GmbH & Co. KG, die das Projekt finanziell unterstützte und die Analytik durchführte. In diesem Zusammenhang danke ich vor allem Herrn Dr. Oliver Schmidt und Herrn Andreas Reeg sowie Frau Yvonne Jacek.

Großer Dank gilt auch meinem Arbeitgeber, der Firma Martin Bauer GmbH & Co. KG, die das Projekt ebenfalls finanziell unterstützte und mir Rahmenbedingungen bot, unter denen die Realisierung dieser Arbeit überhaupt erst möglich wurde. Für seine Geduld und fachliche sowie moralische Unterstützung danke ich insbesondere Herrn Dr. Hans-Jürgen Hannig.

Großer Dank gilt ebenso der Firma PHARMAPLANT Arznei- und Gewürzpflanzen Forschungs- und Saatzucht GmbH. Frau Mikus-Plescher und Herrn Dr. rer. nat. Andreas Plescher danke ich für ihren fachlichen Rat. Den Mitarbeitern, die die Versuchspartzen anlegten, pflegten und beernteten danke ich herzlich.

Abschließend danke ich meiner Familie. Ganz besonders danke ich meiner Frau Andrea Rommeler für ihre unerschöpfliche Geduld und Unterstützung, meiner Tochter Anouk und meinem Sohn Ben für ihr Verständnis.



édition scientifique
VVB LAUFERSWEILER VERLAG



VVB LAUFERSWEILER VERLAG
STAUFENBERGRING 15
D-35396 GIESSEN

Tel: 0641-5599888 Fax: -5599890
redaktion@doktorverlag.de
www.doktorverlag.de

ISBN: 978-3-8359-6162-3



9 783835 196162 3