



universität
wien

DIPLOMARBEIT

Titel

Jahrringe von Schwarzkiefer und Eiche unterschiedlicher
Standorte als Proxy für Wasserstandsschwankungen
des Neusiedler Sees

Verfasserin

Sandra KARANITSCH-ACKERL

angestrebter akademischer Grad

Magistra der Naturwissenschaften (Mag. rer. nat.)

Wien, März 2010

Studienkennzahl lt. Studienblatt:

A 453

Studienrichtung lt. Studienblatt:

Theoretische und Angewandte Geographie

Betreuerin:

Prof. Dr. Birgit TERHORST

Der Neusiedler See

Franz WERFEL

Der geschmolzenen Flut unbeweglicher Spiegel
wird von dem flachen, dem tropischen Tiegel
wie ein Luftgebilde umfasst.

Weit lagert am Fluss der bühligten Treppe
im schleppenden Tag die wässrige Steppe
als Österreichs seltsamer Gast.

Von Röhricht hat er um sich geschlagen
den meilendicken, den borstigen Kragen
zum Schutz der gefährdeten Brust.
Kein Hauch kann vom Leithagebirge fächern,
kein Laut von Margretens storchstrohigen Dächern
und auch nicht die Glocke von Rust.

Die Röhrichtreiche geheim umklammern
Schatzinseln und Tümpel und Vorratskammern,
smaragd-malachitnes Getier.

Aus dem trunken unkenden Rohrgefabel
aufflattert ein weißlicher Löffelschnabel
wie im Winde zerfetztes Papier.

In des Neusiedler Sees schilfpelziger Krause
ist der hohe Mittag der Welt zu Hause,
hier hat er Wohnung und Staat.
Wenn die Reiher ihr Höhensteuer stellen,
tritt er, dieweil ihn Frösche umgellen,
in einer Wolke von Geist-Libellen
träg in das sandige Bad.

DANKSAGUNG

Die Liste der Menschen, die einen Beitrag zu dieser Diplomarbeit geleistet haben, ist lang und ich bin allen Beteiligten sehr dankbar. Denn ohne ihre Mitwirkung wäre der Abschluss dieses Projekts nicht möglich gewesen.

An erster Stelle bedanke ich mich bei Birgit TERHORST, die sich bereit erklärt hat, dieses interdisziplinäre Thema zu betreuen und dabei auch viel Geduld mit mir gehabt hat. Außerdem verdanke ich ihr viele lehr- und hilfreiche Stunden, die sie mit mir bei der Geländearbeit verbracht hat, was im Rahmen einer Diplomarbeitsbetreuung keinesfalls selbstverständlich ist.

Weiters danke ich ganz herzlich Franz HOLAWE vom Institut für Geographie und Regionalforschung der Universität Wien und Michael GRABNER vom Institut für Holzforschung der Universität für Bodenkultur – für die Idee und die Entwicklung der Themenstellung dieser Arbeit, für die tatkräftige Unterstützung am Schreibtisch, im Gelände, in der Werkstatt und im Labor sowie für die vielen langen Diskussionen, für ihr immer offenes Ohr und geduldige Beantwortung aller Fragen, für den Zugang zu Literatur, Daten, Software und Infrastruktur, die Herstellung von Kontakten zu Experten und für die anhaltende Motivation und Begeisterung.

Günter SCHEBECK ist es zu verdanken, dass ich einerseits in seinem forstlichen Zuständigkeitsbereich im Leithagebirge Proben nehmen durfte und andererseits auch die nötigen Kontakte zu weiteren Förstern bekommen habe. Er und der rüstige Herr Josef KONRAD haben außerdem tatkräftig bei der Bodenprobennahme mitgeholfen. Auch dem Leiter der Esterházy Forstbetriebe Hubertus KIMMEL und seinen Mitarbeitern Christian NIEDERER, Dominikus SENFT, Daniel WINHOFER und Gernot SCHRITTWIESER gebührt großer Dank für die Möglichkeit der Probennahme in ihren Revieren, die Begleitung, sachkundige Beratung und Mithilfe im Gelände.

An der Feldarbeit außerdem beteiligt waren Bodo DAMM, Max GRABNER und Dana HOMOLOVÁ, die mir zusätzlich mit vielen Tipps und Literatur geholfen hat. Vielen, vielen Dank!

Weiters bin ich folgenden Personen zu Dank verpflichtet:

- meiner früheren Studien- und Arbeitskollegin Sonja SCHAUPMANN für ihre „Pionierleistungen“ auf dem Arbeitsgebiet und die entsprechende Beratung
- Andreas RIEDL, David SCHOBESBERGER und Harald TOMBERGER vom Institut für Geographie und Regionalforschung für das Verborgen und Erklären eines GPS-Geräts
- Erich DRAGANITS vom Department für Geodynamik und Sedimentologie für hilfreiche Informationen zur Geschichte des Neusiedler Sees
- Karl MARACEK vom Hydrographischen Dienst Burgenland für die Übermittlung der Seespiegeldaten
- Konrad STANIA vom Lebensministerium (Abteilung Internationale Wasserwirtschaft) für das Exemplar der Festschrift „40 Jahre Österreichisch-Ungarische Gewässerkommission“, das er mir ganz unbürokratisch einfach geschenkt hat
- meiner Kollegin Marzena KŁUSEK für die Hilfe bei dendrochronologischen und geologischen Fragen
- Robert KIRNBAUER vom Institut für Wasserbau und Ingenieurhydrologie der Technischen Universität Wien für die telefonische Beratung in Sachen Seespiegeldatenverarbeitung
- meiner ehemaligen Studienkollegin Iva JABUROVÁ für die Vorlage zu den Bodenprofil-Schraffuren
- Manfred GANEKIND von der Zentralanstalt für Meteorologie und Geodynamik für die Zusammenstellung und Übermittlung von Daten
- Zoltán KERN vom Institut für Geochemische Forschung der Ungarischen Akademie der Wissenschaften für hilfreichen Input und interessante Gespräche auf der EuroDendro 2009
- Robert PETICZKA vom Institut für Geographie und Regionalforschung für Tipps zum richtigen Zitieren

Den Abschluss dieser Arbeit möchte ich auch nutzen, um meinen Eltern Susanne und Friedrich KARANITSCH zu danken – dafür, dass sie mich immer unterstützt haben und mich meinen Weg gehen ließen, auch wenn sie (und ich) nicht gewusst haben, wo er einmal hinführen wird.

Das allergrößte DANKESCHÖN gilt meinem Mann Bernhard ACKERL. Die Liste seiner Beiträge zur Diplomarbeit würde sicher eine Seite füllen, aber auf seinen eigenen Wunsch steht hier nur dieser eine Satz.

ZUSAMMENFASSUNG

Historische Aufzeichnungen bis ins Jahr 1074 zurück belegen, dass der Wasserstand des Neusiedler Sees starken Schwankungen unterliegt, die von Überflutungen bis hin zur vollkommenen Austrocknung reichen können. Wie die Veränderungen des Seespiegels ist auch der jährliche Zuwachs der Schwarzkiefer *Pinus nigra* sowie der Traubeneiche *Quercus petraea* bzw. der Stieleiche *Quercus robur* vom Niederschlag bzw. der klimatischen Wasserbilanz abhängig. Daher sollten sowohl der Seespiegel als auch die Jahrringbreiten von Bäumen im Einzugsgebiet eine ähnliche zeitliche Entwicklung aufweisen. Die vorliegende Diplomarbeit untersucht, ob die Jahrringe der o. g. Baumarten als Proxy für die Wasserstandsschwankungen des Neusiedler Sees geeignet sind und wie unterschiedliche Standortbedingungen dieses Potenzial beeinflussen.

Die Untersuchung beinhaltet die Beschreibung der Klimasensitivität von 127 Bäumen (60 Eichen und 67 Schwarzkiefern) an acht unterschiedlichen Standorten im Leithagebirge durch die Analyse von Klima-Wachstums-Beziehungen (Response-Function-Analyse von Jahrring-, Frühholz- und Spätholzbreite sowie Spätholzanteil einerseits und sechs verschiedenen Klimaelementen monatlicher Auflösung andererseits), die landschaftsökologische Aufnahme der Standorte und der dort vorkommenden Böden sowie die statistische Beschreibung der Beziehungen zwischen den Jahrringparametern und zwei verschiedenen Varianten von Seespiegelmittelwerten mittels linearer Regressionen.

Die Ergebnisse zeigen, dass die Schwarzkiefer zwar eine höhere Klimasensitivität aufweist, die Eiche aber den Seespiegel besser abbildet. Mit einem linearen Modell, das Jahrringparameter beider Baumarten einbezieht, ist unter Umständen die Rekonstruktion der Wasserstandsschwankungen des Neusiedler Sees über den Zeitraum instrumenteller Aufzeichnungen hinaus möglich.

Schlagwörter:

Neusiedler See, *Pinus nigra*, *Quercus robur*, *Quercus petraea*, Dendroklimatologie

ABSTRACT

Historical records back to 1074 AD show that the water level of Lake Neusiedl has been subject to great fluctuations – not only floods but also periods where the basin was completely dry occurred in the past. These fluctuations as well as the annual increment of black pine *Pinus nigra* and sessile oak *Quercus petraea* or English oak *Quercus robur* are dependent on precipitation resp. climatic water balance. Therefore, lake level and tree ring widths should show similar chronological developments. This diploma thesis investigates the applicability of the mentioned species' tree rings as a proxy for the lake level fluctuations and how different site conditions influence this potential.

The investigations include the description of 127 trees' (67 black pines and 60 oaks) climate sensitivity at eight different sites in the Leitha Mountains by examination of climate-growth-relationships (response-function-analysis of tree ring width, earlywood width, latewood width and latewood percentage on one hand and six different climate elements at monthly resolution on the other hand), the characterisation of the sites and their soil types as well as the statistical description of the relationships between tree ring parameters and two different lake level mean values by linear regression.

The results display that black pine shows higher climate sensitivity but oak's reproduction of the lake level is better. A linear model consisting of both species' chronologies can possibly be used to reconstruct Lake Neusiedl's fluctuations beyond the period of instrumental records.

Keywords:

Lake Neusiedl, *Pinus nigra*, *Quercus robur*, *Quercus petraea*, dendroclimatology

INHALTSVERZEICHNIS

1. Einleitung	1
1.1 Fragestellung und Ziel der Arbeit	2
1.2 Untersuchungsgebiet Neusiedler See – Leithagebirge	3
1.2.1 Klimatische Verhältnisse	5
1.2.1.1 Klimacharakterisierung	6
WALTER-LIETH-Diagramm	6
Klimaklassifikation nach KÖPPEN-GEIGER	8
Pannonisches Klima und klimatische Besonderheiten des Neusiedler Seegebiets	8
1.2.1.2 Extremtage und Vegetationstage	9
Extremtage	9
Vegetationstage	10
1.2.1.3 Sonnenscheindauer	10
1.2.1.4 Ökoklimatische Klassifikation	11
Klimatische Wasserbilanz	11
K-Index	12
1.2.2 Geomorphologie, Geologie und Böden	14
1.2.2.1 Geomorphologie	14
1.2.2.2 Geologie	17
1.2.2.3 Periglaziäre Lagen	19
Basislage	20
Mittellage	20
Hauptlage	21
Oberlage	21
1.2.2.4 Böden	21
Rendzina	22
Tschernosem	23
Braunerde	24
Solontschak	25
Solonetz	25
Solontschak-Solonetz	26
Feuchtschwarzerde	26
1.2.3 Geschichte und Wasserhaushalt des Neusiedler Sees	26
1.2.3.1 Die Entwicklung des Sees	27
1.2.3.2 Wasserhaushalt des Sees	33
Niederschlag auf die Seefläche	34
Oberirdischer Zufluss	35

Verdunstung von der Seefläche	35
Oberirdischer Abfluss	35
1.2.3.3 Wasserhaushalt des Untersuchungsgebiets Leithagebirge	35
1.3 Klima- und Umweltinformationen aus Jahrringen	37
1.3.1 Dendrochronologie, Dendroökologie, Dendroklimatologie	37
Dendrochronologie – Jahrringanalyse	37
Dendroökologie	37
Dendroklimatologie	37
1.3.2 Aggregiertes Baumwachstum	38
1.3.3 Prinzipien der Dendrochronologie	40
1.3.3.1 Das Uniformitätsprinzip	40
1.3.3.2 Das Prinzip des limitierenden Faktors	40
1.3.3.3 Das Konzept der ökologischen Amplitude	41
1.3.3.4 Standortauswahl	41
1.3.3.5 Sensitivität	42
1.3.3.6 Crossdating	43
Fehlender Jahrring	43
Falscher Jahrring	44
1.3.3.7 Wiederholung	46
1.3.4 Standardisierung – Indexierung – Detrending	47
1.3.5 Möglichkeiten und Grenzen der Dendroklimatologie	48
1.3.5.1 Stärken	48
1.3.5.2 Schwächen	49
1.3.6 Dendroklimatologische Relevanz von Schwarzkiefer und Eiche	50
1.3.6.1 Schwarzkiefer	50
1.3.6.2 Traubeneiche und Stieleiche	51
2. Material und Methoden	53
2.1 Probenstandorte	54
2.1.1 Aufnahme der Bodenprofile	56
2.1.1.1 Farbansprache	56
2.1.1.2 Ansprache der Bodenart im Gelände	57
2.2 Jahrringdaten	58
2.2.1 Probennahme, Bearbeitung und Messung	58
2.2.2 Crossdating	60
2.2.3 Detrending und Erstellung der Standortchronologien	61
2.2.4 Erstellung der Gesamtchronologien	63
2.3 Seespiegeldaten	64
2.3.1 Seespiegelmittelwerte	66

2.4	Klimadaten	67
2.4.1	Stationsdaten Wien Hohe Warte	67
2.4.2	Berechnung der Wasserbilanz	68
2.5	Klima-Wachstums-Beziehungen	70
2.6	Statistische Beziehungen Jahrringparameter – Seespiegel	72
2.6.1	Korrelationen	72
2.6.2	Einfache lineare Regression	73
2.6.3	Multiple lineare Regression	74
3.	Ergebnisse und Diskussion Klimasensitivität	75
3.1	Standortbeschreibungen und Bodenprofile	76
3.1.1	Standort Hanftalwald	76
3.1.2	Standort Hinterwaldriegel	78
3.1.3	Standort Müller Anhöhe	82
3.1.4	Standort Pusztasiedlung	85
3.1.5	Standort Sonnenberg	89
3.1.5.1	Standort Sonnenberg Schwarzkiefern	90
3.1.5.2	Standort Sonnenberg Eichen	92
3.1.6	Standort Wilder Jäger	94
3.1.7	Standort Zeilerberg	97
3.1.8	Zusammenfassung	99
3.2	Standortchronologien	100
3.2.1	Hanftalwald	103
3.2.2	Hinterwaldriegel	104
3.2.3	Müller Anhöhe	105
3.2.4	Pusztasiedlung	106
3.2.5	Sonnenberg – Schwarzkiefer	107
3.2.6	Sonnenberg – Eiche	108
3.2.7	Wilder Jäger	109
3.2.8	Zeilerberg	110
3.3	Klima-Wachstums-Beziehungen	112
3.3.1	Relative Luftfeuchtigkeit	112
3.3.2	Mittlere Bewölkung	113
3.3.3	Niederschlagssumme	115
3.3.4	Sonnenscheindauer	116
3.3.5	Temperatur	118
3.3.6	Klimatische Wasserbilanz	119
3.3.7	Zusammenfassung	120

3.4	Klimasensitivität und Standorttrockenheit	122
4.	Ergebnisse und Diskussion Jahrringe und Seespiegel	125
4.1	Gesamtchronologien	126
4.1.1	Chronologien aller Bäume	126
4.1.1.1	Chronologien aus beiden Baumarten	126
4.1.1.2	Schwarzkiefernchronologien	127
4.1.1.3	Eichenchronologien	128
4.1.2	Chronologien ausgewählter sensibler Bäume	129
4.1.2.1	Chronologien aus beiden Baumarten	129
4.1.2.2	Schwarzkiefernchronologien	130
4.1.2.3	Eichenchronologien	131
4.2	Ergebnisse der Korrelationsberechnungen	133
4.2.1	Korrelationen Gesamtchronologien – Seespiegel	133
4.2.2	Korrelationen Standortchronologien – Seespiegel	134
4.3	Ergebnisse der einfachen linearen Regression	138
4.4	Ergebnisse der multiplen linearen Regression	139
4.4.1	Modellierung der Seespiegelschwankungen	140
5.	Zusammenfassung und Schlussfolgerungen	142
	Literatur- und Quellenverzeichnis	145
	Literatur	145
	Daten	150
	Klimadaten	150
	Seespiegeldaten	150
	Karten	150
	Internet	150
	Anhang	151
A	Feinbodenarten nach Fraktionen und Bestimmung der Bodenart mittels Fingerprobe	151
B	Ergebnisse der Indexierung mit ARSTAN	154
C	Ausgewählte Proben für Gesamtchronologien sensibler Bäume	159
D	Legende zu den Bodenhorizonten der Standortprofile	160

ABBILDUNGSVERZEICHNIS

1.2-01	Satellitenbild Neusiedler See und Umgebung erstellt mit Hilfe von Google Maps, 29. August 2008	3
1.2-02	Schutzgebiete Neusiedler See aus: Österreichisch-Ungarische Gewässerkommission (1996), Abb. 19 (Ausschnitt)	4
1.2-03	Einzugsgebiet des Neusiedler Sees aus: BOROVICZÉNY et al. (1992), Abbildung 2-2 (Ausschnitt)	5
1.2-04	ZAMG-Stationen Eisenstadt, Neusiedl am See und Bruckneudorf Abbildung erstellt mit Hilfe von Google Earth, 17. Mai 2009	6
1.2-05	WALTER-LIETH-Diagramm Neusiedl am See Daten: ZAMG, langjährige Mittelwerte 1971 – 2000	7
1.2-06	Anzahl extremer Tage im Jahresverlauf Neusiedl am See Daten: ZAMG, langjährige Mittelwerte 1971 – 2000	9
1.2-07	Vegetationstage aus: HARLFINGER und KNEES (1999)	10
1.2-08	Monatliche Sonnenstunden und Anteil an maximal möglicher Sonnenscheindauer im Jahresverlauf Daten: ZAMG, langjährige Mittelwerte 1971 – 2000	11
1.2-09	Ökoklimatische Klassifikation Österreichs aus: HARLFINGER und KNEES (1999)	13
1.2-10	Nordwest- und Südosthang des Leithagebirges, schematisch, stark überhöht aus: KUMMER-KOSCHISCHEK (1992), Abb. 7-3	14
1.2-11	Ausschnitt Topographische Karte des Burgenlandes 1:200.000 Bundesamt für Eich- und Vermessungswesen (2005), gescannt	15
1.2-12	Ausschnitt Geologische Karte des Burgenlandes 1:200.000 Geologische Bundesanstalt (1999), gescannt	16

1.2-13	Geologisch-tektonische Gliederung des Untersuchungsgebiets aus: Geologische Bundesanstalt (2000), Abb. 1 (Ausschnitt) verändert	18
1.2-14	Idealisiertes Decklagenprofil aus: ZEPP (2002), Seite 290	20
1.2-15	Böden im Neusiedler Seegebiet (Ausschnitt) verändert http://www.nationalpark-neusiedlersee-seewinkel.at , 11. November 2009	22
1.2-16	Schema Wasserstände des Sees 1074 bis 1912 aus: MEYER (2007), Seite 38	30
1.2-17	Schema Wasserstände des Sees 1600 bis 1960 aus: Österreichisch-Ungarische Gewässerkommission (1996), Abb. 7	30
1.2-18	Seespiegeljahresmittelwerte Pegel Neusiedl am See 1930 – 2007 [m ü. A.] Daten: Hydrographischer Dienst Burgenland	31
1.2-19	Wasserhaushalt des Neusiedler Sees aus: Österreichisch-Ungarische Gewässerkommission (1996), Abb. 4	33
1.2-20	Hydrogeologischer Schnitt Leithagebirge – See bei Purbach aus: Geologische Bundesanstalt (2000), Abb. 43	36
1.3-01	Probe ZebPN16b, Schwarzkiefer (<i>Pinus nigra</i>) vergrößert	38
1.3-02	Probe HwrQS06b, Eiche (<i>Quercus spp.</i>) vergrößert	38
1.3-03	Schematische Darstellung von Bohrkernen eines sehr sensitiven (sensitive) und eines kaum sensitiven (complacent) Baumes http://www.ltrr.arizona.edu/skeletonplot/sensitivity complacency.htm , 5. Mai 2008	42
1.3-04	Ursache fehlender Jahrringe aus: KAENNEL und SCHWEINGRUBER (1995), Seite 233	43
1.3-05	Dichteschwankungen Probe PuzPN03a, vergrößert	44
1.3-06	Fiktiver falscher und fehlender Jahrring bei Proben des Standorts Zeilerberg	44
1.3-07	„Fehlerkorrektur“ bei Proben des Standorts Zeilerberg durch Cross- dating	45

1.3-08	Prinzip des Crossdatings aus: CHERUBINI et al. (2004), Abb. 2	46
1.3-09	<i>Pinus nigra</i> Arnold aus: SCHWEINGRUBER (1993b), Fig. 210	51
1.3-10	<i>Quercus petraea</i> aus: SCHWEINGRUBER (1993b), Fig. 286	52
2-01	Untersuchungsstruktur	53
2.1-01	Standorte Übersichtskarte erstellt mit Hilfe von Google Maps, 4. Dezember 2008	54
2.1-02	PÜRCKHAUER-Bohrer mit Profil Han02, Kunststoffhammer, Zollstock	56
2.2-01	Beprobung Müller Anhöhe im Leithagebirge 5. April 2008	58
2.2-02	Schematische Darstellung des Messvorgangs	59
2.2-03	Beispiel einer Gleichläufigkeitsberechnung aus: SCHWEINGRUBER (1983), Seite 93	60
2.3-01	Pegelstationen des Hydrographischen Diensts Burgenland am Neusiedler See Grafik erstellt mit Hilfe von Google Maps, 19. Oktober 2009	64
2.3-02	Seespiegel-Monatsmittelwerte, langjährige Mittelwerte 1966 – 2005 Daten: Hydrographischer Dienst Burgenland	66
2.4-01	Vergleich Niederschlagssummen Neusiedl am See – Wien Hohe Warte Daten: ZAMG	67
3.1-01	Scan der Geologischen Karte 1:50.000 Blatt 78 (Rust) 1993	76
3.1-02	Profil Hanftalwald 01	77
3.1-03	Profil Hanftalwald 02	78
3.1-04	Standort Hinterwaldriegel	79
3.1-05	Scan der Geologischen Karte 1:50.000 Blatt 78 (Rust) 1993	79
3.1-06	Profil Hinterwaldriegel 01	80
3.1-07	Profil Hinterwaldriegel 02	81
3.1-08	Profil Hinterwaldriegel 03	82
3.1-09	Standort Müller Anhöhe	83

3.1-10	Bärlauch und Brennesseln	83
3.1-11	Scan der Geologischen Karte 1:50.000 Blatt 78 (Rust) 1993	83
3.1-12	Profil Müller Anhöhe 01	84
3.1-13	Profil Müller Anhöhe 02	84
3.1-14	Standort Pusztasiedlung	85
3.1-15	Scan der Geologischen Karte 1:50.000 Blatt 78 (Rust) 1993	86
3.1-16	Profil Pusztasiedlung 01 - Aufschluss	87
3.1-17	Aufschluss Puz01	88
3.1-18	Profil Pusztasiedlung 02	89
3.1-19	Scan der Geologischen Karte 1:50.000 Blatt 77 (Eisenstadt) 1994	89
3.1-20	Standort Sonnenberg Schwarzkiefern	90
3.1-21	Profil Sonnenberg 01	91
3.1-22	Profil Sonnenberg 02	91
3.1-23	Profil Sonnenberg 03	92
3.1-24	Profil Sonnenberg 04	93
3.1-25	Profil Sonnenberg 05	93
3.1-26	Standort Wilder Jäger	94
3.1-27	Scan der Geologischen Karte 1:50.000 Blatt 77 (Eisenstadt) 1994	95
3.1-28	Profil Wilder Jäger 01	95
3.1-29	Profil Wilder Jäger 02	96
3.1-30	Standort Zeilerberg	97
3.1-31	Zwerg-Schwertlilie	97
3.1-32	Zypressenwolfsmilch	97
3.1-33	Scan der Geologischen Karte 1:50.000 Blatt 78 (Rust) 1993	98
3.1-34	Profil Zeilerberg 01	98
3.1-35	Profil Zeilerberg 02	98
3.2-01	Standortchronologien und Probenanzahl Hanftalwald 1886 bis 2007	103
3.2-02	Standortchronologien und Probenanzahl Hinterwaldriegel 1910 bis 2007	104

3.2-03	Standortchronologien und Probenanzahl Müller Anhöhe 1882 bis 2007	105
3.2-04	Standortchronologien und Probenanzahl Pusztasiedlung 1911 bis 2007	106
3.2-05	Standortchronologien und Probenanzahl Sonnenberg Schwarzkiefer 1896 bis 2007	107
3.2-06	Standortchronologien und Probenanzahl Sonnenberg Eiche 1819 bis 2007	108
3.2-07	Standortchronologien und Probenanzahl Wilder Jäger 1889 bis 2007	109
3.2-08	Standortchronologien und Probenanzahl Zeilerberg 1882 bis 2007	110
4.1-01	Gesamtchronologien aller Bäume 1819 bis 2007 und Probenanzahl	127
4.1-02	Gesamtchronologien aller Schwarzkiefern 1882 bis 2007 und Probenanzahl	128
4.1-03	Gesamtchronologien aller Eichen 1819 bis 2007 und Probenanzahl	129
4.1-04	Gesamtchronologien sensitiver Bäume 1848 bis 2007 und Probenanzahl	130
4.1-05	Gesamtchronologien sensitiver Schwarzkiefern 1882 bis 2007 und Probenanzahl	131
4.1-06	Gesamtchronologien sensitiver Eichen 1848 bis 2007 und Probenanzahl	132
4.2-01	Chronologien mit den jeweils höchsten Korrelationswerten des Standorts und ihre Entfernung zur Pegelstation Neusiedl am See	136
4.2-02	Chronologien mit den jeweils höchsten Korrelationswerten des Standorts und ihre Seehöhendifferenz zur Pegelstation Neusiedl am See	136
4.4-01	Modell Seespiegel, Chronologien HanLW% und PuzRW 1966 bis 2005 Daten Seespiegelmesswerte: Hydrographischer Dienst Burgenland	140

Inhaberin der Urheberrechte der in dieser Arbeit verwendeten Abbildungen, bei denen keine Quellenangabe angeführt ist, ist die Verfasserin selbst.

TABELLENVERZEICHNIS

1.2-01	Neusiedler See – Planimetrie nach CSAPLOVICS (1989), Flächen und Volumina bei hohem Wasserstand aus: BOROVIČZÉNY et al. (1992), Tab. 2.2	27
1.2-02	Wasserbilanz Neusiedler See (Mittelwerte 1967 – 1984) aus: BOROVIČZÉNY et al. (1992), Tab. 5.1	34
2.1-01	Details zu den Probenstandorten	55
2.1-02	Definition der Bindigkeit und Formbarkeit schwach feuchter Bodenproben aus: Ad-hoc-AG Boden (2005), Tab. 29	57
2.2-01	Baumarten und Probenanzahl je Standort	59
2.3-01	Länge der Seespiegel-Datenreihen Daten: Hydrographischer Dienst Burgenland	64
2.4-01	HISTALP-Datensätze Station Hohe Warte Parameter und Zeiträume Daten: ZAMG	68
2.4-02	Korrekturfaktor f zur Berechnung der korrigierten Evapo- transpiration Jänner bis Dezember (Werte für 48° nördliche Breite) aus: SCHRÖDTER (1985), Hilfstafel 2 – THORNTHWAITE-Formel	68
2.5-01	DendroClim-Berechnungen Zeitraum 1912 – 2005	70
3.2-01	Überprüfung der Synchronisation durch COFECHA-Ergebnisse	100
3.2-02	ARSTAN-Ergebnisse der Indexierung	102
3.3-01	Signifikante Response-Werte Luftfeuchtigkeit	112
3.3-02	Signifikante Response-Werte Bewölkung	114
3.3-03	Signifikante Response-Werte Niederschlag	115
3.3-04	Signifikante Response-Werte Sonnenscheindauer	117
3.3-05	Signifikante Response-Werte Temperatur	118
3.3-06	Signifikante Response-Werte Wasserbilanz	119

3.4-01	Reihung der Niederschlags-Response-Ergebnisse	122
4.2-01	Signifikante Korrelationskoeffizienten Gesamtchronologien – Seespiegel	133
4.2-02	Signifikante Korrelationskoeffizienten Standortchronologien – Seespiegel	135
4.3-01	Jahrringchronologien – Seespiegelmittelwert August-September; korrigiertes R ²	138

Inhaberin der Urheberrechte der in dieser Arbeit verwendeten Tabellen, bei denen keine Quellenangabe angeführt ist, ist die Verfasserin selbst.

1. EINLEITUNG

Das folgende Einleitungskapitel besteht aus drei Einzelteilen: Im Kapitel 1.1 werden Fragestellung und Ziel der Arbeit kurz umrissen. Kapitel 1.2 beinhaltet grundlegende Informationen zum Untersuchungsgebiet Neusiedler See – Leithagebirge. Klima, Geomorphologie, Geologie und Böden sowie der See selbst – seine zeitliche Entwicklung und sein Wasserhaushalt – werden thematisiert. Das Kapitel 1.3 geht der Frage nach, warum und wie man aus Jahrringen Klima- und Umweltinformationen gewinnen kann und was man dabei beachten muss.

1.1 Fragestellung und Ziel der Arbeit

Die vorliegende Arbeit geht der Frage nach, ob die Jahrringe der Schwarzkiefer *Pinus nigra* und der Traubeneiche *Quercus robur* bzw. Stieleiche *Quercus petraea* als Proxy für die Seespiegelschwankungen des Neusiedler Sees geeignet sind und wie unterschiedliche Standortbedingungen dieses Potenzial beeinflussen.

Die Untersuchung geht von folgenden Hypothesen aus:

- Das Ansteigen bzw. Absinken des Wasserstandes des Neusiedler Sees hängt so wie das Jahrringwachstum von Schwarzkiefer und Eiche vom Niederschlag bzw. der klimatischen Wasserbilanz ab. Daher sollten die Schwankungen des Seespiegels und der jährliche Zuwachs der Bäume eine ähnliche zeitliche Entwicklung aufweisen.
- Je geringer die Wasserspeicherkapazität des Bodens ist, desto mehr ist ein Baum, der auf ihm wächst, von der Wasserzufuhr durch Niederschlag abhängig. Es kann daher erwartet werden, dass mit der Trockenheit der Standorte die Klimasensitivität der Bäume steigt und sie die Veränderungen des Seewasserstandes besser abbilden können.

Ziel der Diplomarbeit ist einerseits die Verifikation bzw. Falsifikation oben beschriebener Hypothesen mit Hilfe folgender Methoden:

- Beschreibung der Klimasensitivität von Bäumen an unterschiedlichen Standorten durch die Untersuchung von Klima-Wachstums-Beziehungen mehrerer Jahrringparameter mit verschiedenen Klimavariablen
- Untersuchung der Böden der jeweiligen Standorte durch Analysen direkt vor Ort
- Statistische Beschreibung der Beziehungen zwischen Jahrringparametern und Seespiegelschwankungen

Andererseits soll herausgearbeitet werden, ob es möglich ist, die Veränderungen des Seespiegels mit Hilfe von Jahrringen durch Auswahl der geeignetsten Bäume bzw. Standorte so gut zu erklären, dass diese zur Rekonstruktion der Wasserstandschwankungen über den Zeitraum instrumenteller Aufzeichnungen hinaus herangezogen werden können.

1.2 Untersuchungsgebiet Neusiedler See – Leithagebirge

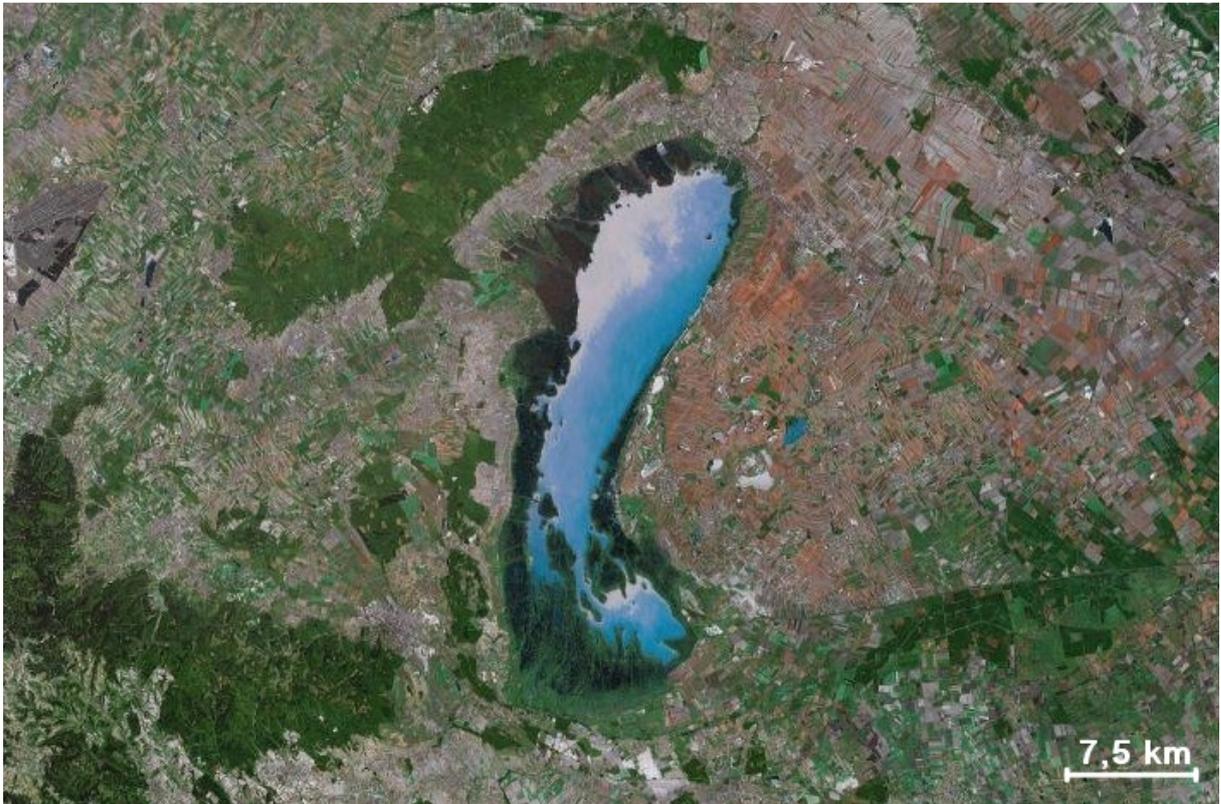


Abbildung 1.2-01: Satellitenbild Neusiedler See und Umgebung
erstellt mit Hilfe von Google Maps, 29. August 2008

Der Neusiedler See – Österreichs einziger salziger Steppensee – liegt am Übergang zwischen den Ausläufern der Ostalpen und der Kleinen Ungarischen Tiefebene. Im Süden reicht er ins ungarische Staatsgebiet, der größte Teil seiner Fläche liegt jedoch in Österreich und gehört zum Burgenland. Der See und sein Umland sind nicht nur eine wichtige Tourismusattraktion in der Region, sondern auch einzigartige, sensible Ökosysteme, die zum Großteil unter Schutz stehen (siehe Abbildung 1.2-02). Die Landschaft rund um den See ist sehr abwechslungsreich – Eichen-Buchen-Mischwald im Leithagebirge, zahlreiche Weingärten, der Schilfgürtel und der Seewinkel mit seinen Lacken und Salzböden sind nur einige Charakteristika des Gebiets.

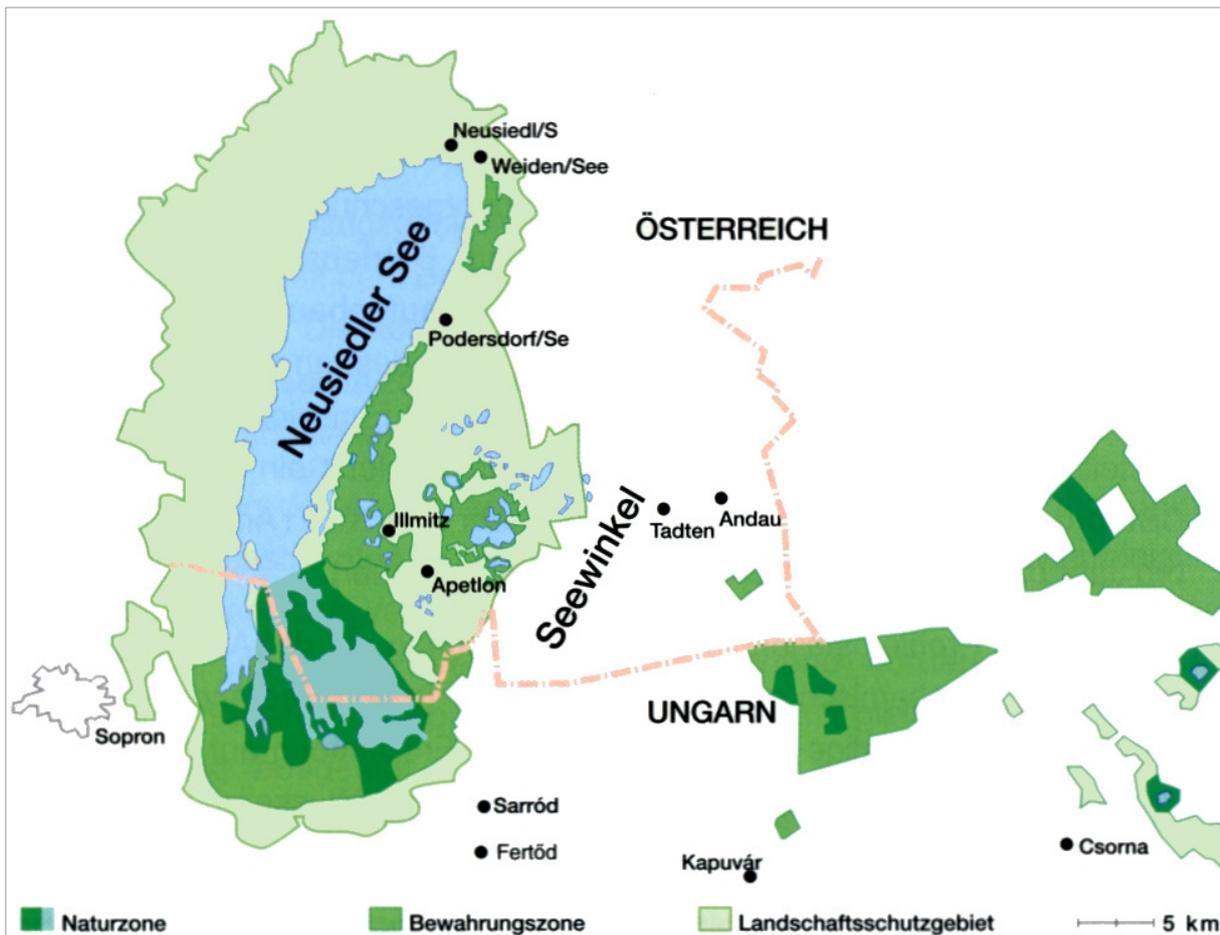


Abbildung 1.2-02: Schutzgebiete Neusiedler See
 aus: Österreichisch-Ungarische Gewässerkommission (1996), Abb. 19 (Ausschnitt)

Für die im Kapitel 1.1 beschriebene Fragestellung ist das hydrologische Einzugsgebiet des Sees als Untersuchungsgebiet anzunehmen – siehe Abbildung 1.2-03. Dessen Bestimmung ist aber nach BOROVIČZÉNY et al. (1992) nicht trivial, weil es v. a. im Osten auch jahreszeitlichen Veränderungen unterliegt. Es umfasst die Südosthänge des Leithagebirges sowie Teile der Parndorfer Platte und des Seewinkels. Der südlich des Seewinkels anschließende Hanság – ein Gebiet, das im 16. Jahrhundert noch Teil des Sees war und sich später zu einem Niedermoor weiterentwickelte, von dem heute noch Reste erhalten sind (BILLISICS-ROSENTIS 2007) – gehört heute nicht mehr zum Einzugsgebiet. Südlich des Neusiedler Sees liegt das Ungarische Tiefland oder Kisalföld, durch das die Ikva fließt, die heute ebenfalls nicht mehr zum Einzugsgebiet gehört (BOROVICZÉNY et al. 1992). Im Westen ist der See durch das Ruster Hügelland – ein flacher Rücken, der sich von Balf in Ungarn bis nach Oggau erstreckt – begrenzt. Nördlich davon schließt das Becken der Wulka an, die den einzigen nennenswerten oberirdischen Zufluss zum See bildet. Ihr Einzugsgebiet reicht im Westen bis an die Wasserscheide des Rosaliengebirges zurück.

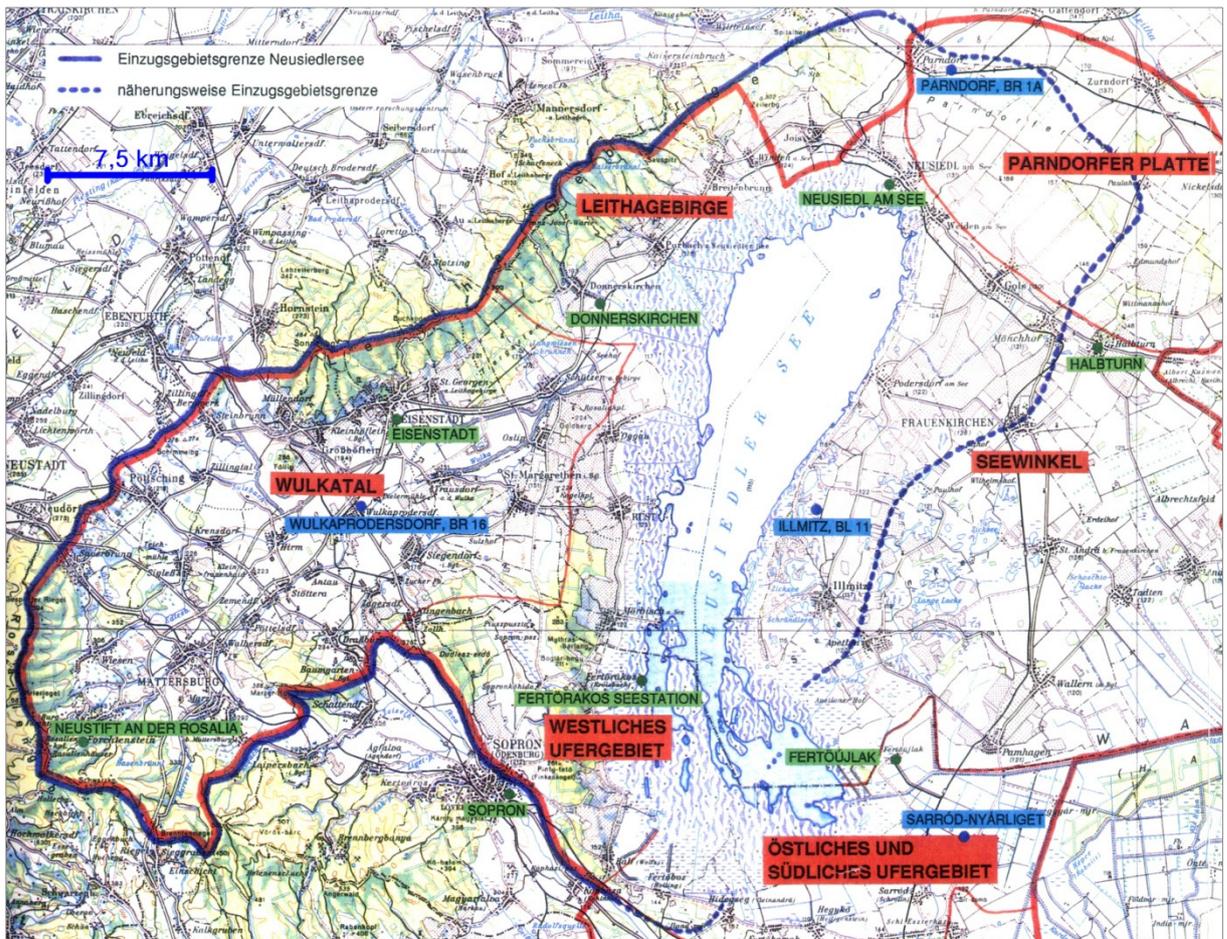


Abbildung 1.2-03: Einzugsgebiet des Neusiedler Sees
aus: BOROVIČZÉNY et al. (1992), Abbildung 2-2 (Ausschnitt)

Da für die vorliegende Arbeit ausschließlich im Gebiet des Leithagebirges Proben von Bäumen und Boden genommen worden sind, wird sich das folgende Kapitel auf die Südhänge des Leithagebirges und dessen Vorland bis hin zum Seeufer konzentrieren.

1.2.1 KLIMATISCHE VERHÄLTNISSE

Im folgenden Kapitel soll das Klima im Untersuchungsgebiet dargestellt werden. Als Grundlagen hierzu werden ein WALTER-LIETH-Diagramm der Station Neusiedl am See, die Klimaklassifikation nach KÖPPEN-GEIGER (KOTTEK et al. 2006), das Klimahandbuch der Österreichischen Bodenschätzung (HARLFINGER und KNEES 1999) sowie Klimadaten der Stationen Eisenstadt, Neusiedl am See und Bruckneudorf (siehe Abbildung 1.2-04) der Zentralanstalt für Meteorologie und Geodynamik (ZAMG) herangezogen.

Die Station Eisenstadt liegt westlich des Neusiedler Sees am Südrand des Leithagebirges auf einer Höhe von 184 m ü. A. (Meter über Adria). Die Stationen Bruckneudorf (167 m) und Neusiedl am See (135 m) liegen auf demselben Längengrad östlich des Leithagebirges und nördlich des Neusiedler Sees. Dem See am nächsten ist die Station Neusiedl.



Abbildung 1.2-04: ZAMG-Stationen Eisenstadt, Neusiedl am See und Bruckneudorf
Abbildung erstellt mit Hilfe von Google Earth, 17. Mai 2009

	Eisenstadt	Neusiedl	Bruckneudorf
Seehöhe	184 m	135 m	167 m
geographische Länge	16° 32'	16° 51'	16° 51'
geographische Breite	47° 51'	47° 57'	48° 01'

1.2.1.1 Klimacharakterisierung

WALTER-LIETH-Diagramm

Das Klimadiagramm nach WALTER und LIETH ist eine Abbildung von langjährigen Monatsmittelwerten von Temperatur und Niederschlagssumme im Jahresgang. Temperatur und Niederschlag werden dabei normalerweise im Verhältnis 10 K = 20 mm dargestellt. Liegt dabei die Niederschlagskurve immer über jener der Temperatur, wie das bei der Station Neusiedl am See der Fall ist (siehe Abbildung 1.2-05), spricht man von ganzjährig humidem Klima (HANTEL 2001).

Der Temperatur-Jahresverlauf an der Station Neusiedl am See ist charakteristisch für das Untersuchungsgebiet. Die Abweichungen von den Stationen Bruckneudorf und Eisenstadt (Daten Eisenstadt und Bruckneudorf nicht dargestellt) betragen maximal 0,5°C (im Juni). Der kälteste Monat ist jeweils der Jänner mit Mitteltemperaturen von -0,8 bis -0,4°C. Der wärmste Monat ist der Juli mit Mitteltemperaturen zwischen 20,0 und 20,4°C. Die Jahresamplitude beträgt an allen drei Stationen mehr als 20 K.

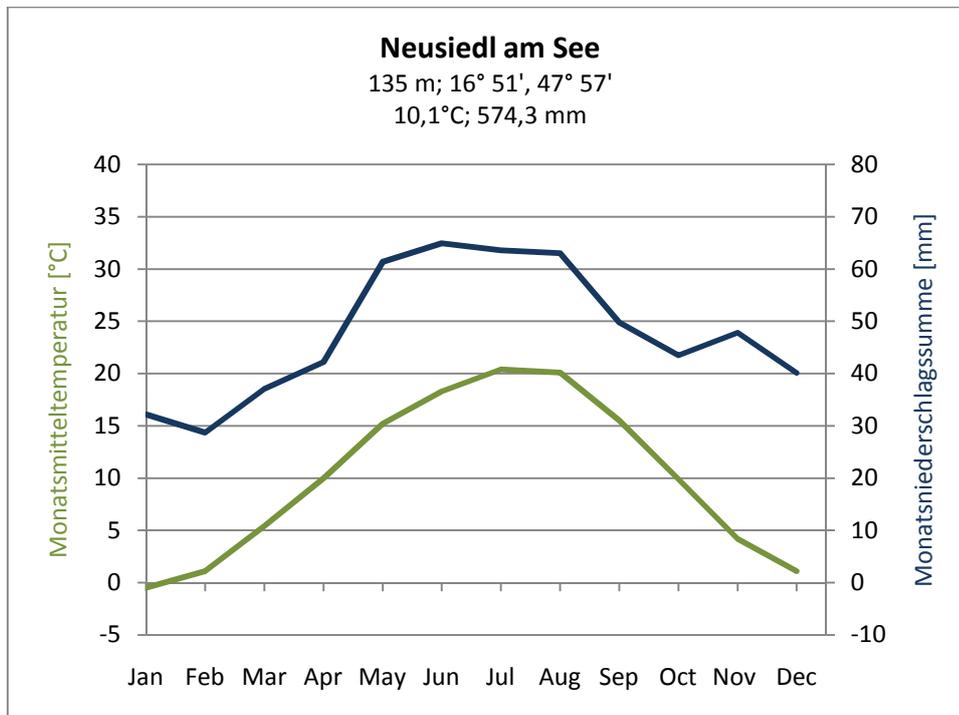


Abbildung 1.2-05: WALTER-LIETH-Diagramm Neusiedl am See
 Daten: ZAMG, langjährige Mittelwerte 1971 – 2000

Beim Niederschlag differieren die Werte der Stationen stärker als bei der Temperatur (Abweichungen bis zu 9,7 mm). Der Jahresverlauf ist aber an allen drei Stationen sehr ähnlich (Daten Eisenstadt und Bruckneudorf nicht dargestellt). Spitzenwerte werden an allen drei Stationen im Juli erreicht – 71,2 mm in Eisenstadt, 64,9 mm in Neusiedl am See und 67,5 mm in Bruckneudorf. Der wärmste ist somit auch der niederschlagsreichste Monat. Am geringsten fallen die Niederschläge im Februar aus (etwa 27 bis 30 mm). Von Februar bis Juli steigen die Monatssummen an, in der zweiten Jahreshälfte fällt der „Einbruch“ der Niederschläge im Oktober auf. Die Werte sind hier an allen drei Stationen niedriger als im September und November, wodurch die Herbstniederschläge mit 136,0 bis 156,1 mm in etwa gleichauf mit jenen des meteorologischen Frühjahrs liegen (130,6 bis 159,6 mm). Die niederschlagsreichste Station mit einer Jahressumme von 618,0 mm ist Eisenstadt (Neusiedl: 574,3 mm und Bruckneudorf: 549,8 mm).

Klimaklassifikation nach KÖPPEN-GEIGER

Nach KÖPPEN-GEIGER kann das Klima im Untersuchungsgebiet als Cfb-Klima beschrieben werden (KOTTEK et al. 2006):

- C warmgemäßigte Regenklimate
Der kleinste Monatsmittelwert ist $> -3^{\circ}\text{C}$ und $< 18^{\circ}\text{C}$.
- f weder Winter- noch Sommertrockenheit
- b warmer Sommer
Die höchste Monatsmitteltemperatur liegt unter 22°C und es gibt mindestens vier Monatsmittelwerte über 10°C .

Pannonisches Klima und klimatische Besonderheiten des Neusiedler Seegebiets nach HARLFINGER und KNEES (1999)

Der pannonische Klimaraum ist durch eine auffallende Niederschlagsarmut, häufige Trockenperioden bzw. eine negative Wasserbilanz ausgezeichnet. Als näherungsweise Abgrenzung des Pannonikums gilt der Bereich mit einer durchschnittlichen Jahresniederschlagsmenge von unter 600 mm. Weiteres Charakteristikum ist die nahezu ständige Windbewegung, die im Jahresmittel Geschwindigkeiten zwischen 2,5 und 4,0 m/s aufweist. Der pannonische Raum gehört zu den wärmsten Gebieten Österreichs, wobei das Wärmemaximum durch die zunehmende Kontinentalität im Seewinkel erreicht wird. Die Winter dagegen sind strahlungsarm und nicht allzu kalt.

Der See beeinflusst sein thermisches Umfeld. Er vermindert die Jahresamplitude der Temperatur um etwa $0,5^{\circ}\text{C}$ gegenüber den Landstationen, doch die Temperaturdifferenz zwischen Luft und Wasser bleibt im langjährigen Mittel relativ gering. Außerdem bewegt sich die Wassertemperatur von April bis Februar immer über der Lufttemperatur. Laut REDL (1987) verzögert der See im Frühling die Erwärmung der Luft, weil das Aufheizen des Wassers Energie benötigt. Wenn das Wasser aber erst erwärmt ist, sinkt die Wahrscheinlichkeit für Spätfröste im Seebereich. Im Herbst sind die Umstände ähnlich. Durch die noch hohe Temperatur des Seewassers kann die niedrigere Lufttemperatur ausgeglichen werden. Wegen der geringen Wassertiefe kann sich der See im Sommer bei länger anhaltendem Strahlungswetter auf 25 bis 26°C aufheizen. Im Winter ist er durchschnittlich an 75 Tagen zugefroren und fällt dann als Wärmespeicher aus.

1.2.1.2 Extremtage und Vegetationstage

Extremtage

Die Anzahl besonders warmer bzw. kalter Tage (Extremtage) ist für die Stationen Eisenstadt, Neusiedl am See und Bruckneudorf sehr ähnlich. Daher wird ihr Jahresverlauf in Abbildung 1.2-06 exemplarisch nur für die Station Neusiedl am See dargestellt. Wie bei den Monatsmitteltemperaturen kristallisiert sich auch hier der Jänner als kältester Monat heraus – mit mehr als neun Eis- und über 20 Frosttagen. Nur sehr selten kommen im Winter auch Temperaturen unter -20°C vor. Der Juli als wärmster Monat weist im langjährigen Mittel mehr als 20 Sommer- und etwa sechs heiße Tage auf. Vereinzelt sind im Sommer Höchstwerte von über 35°C möglich. Frosttage kommen von Oktober bis April vor, Eistage nur von November bis März. Sommertage können vereinzelt bereits im April und bis in den Oktober hinein vorkommen. Heiße Tage sind von Juni bis September möglich.

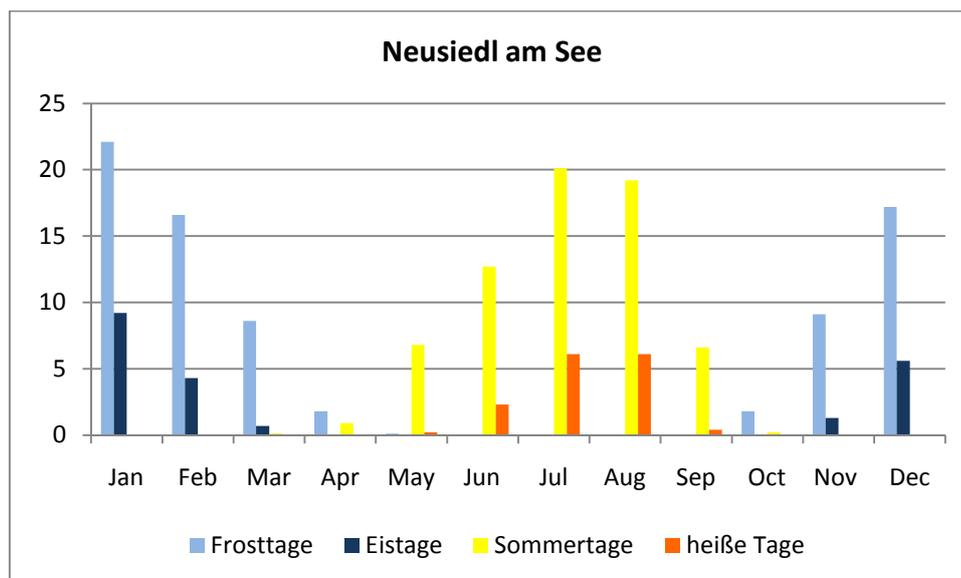


Abbildung 1.2-06: Anzahl extremer Tage im Jahresverlauf Neusiedl am See
Daten: ZAMG, langjährige Mittelwerte 1971 – 2000

Frosttag	Temperaturtagesminimum	$< 0^{\circ}\text{C}$
Eistag	Temperaturtagesmaximum	$< 0^{\circ}\text{C}$
Sommertag	Temperaturtagesmaximum	$\geq 25^{\circ}\text{C}$
heißer Tag	Temperaturtagesmaximum	$\geq 30^{\circ}\text{C}$

Vegetationstage

An Vegetationstagen beträgt die mittlere Tagestemperatur mindestens 5 °C. Aus der Österreichkarte (Abbildung 1.2-07) lässt sich entnehmen, dass das Neusiedler Seegebiet zu jenen mit den meisten Vegetationstagen (mehr als 255 pro Jahr) gehört. Viele Vegetationstage (> 240) gemeinsam auftretend mit geringer Niederschlagshäufigkeit findet man innerhalb Österreichs nur im Pannonikum (HARLFINGER und KNEES 1999).

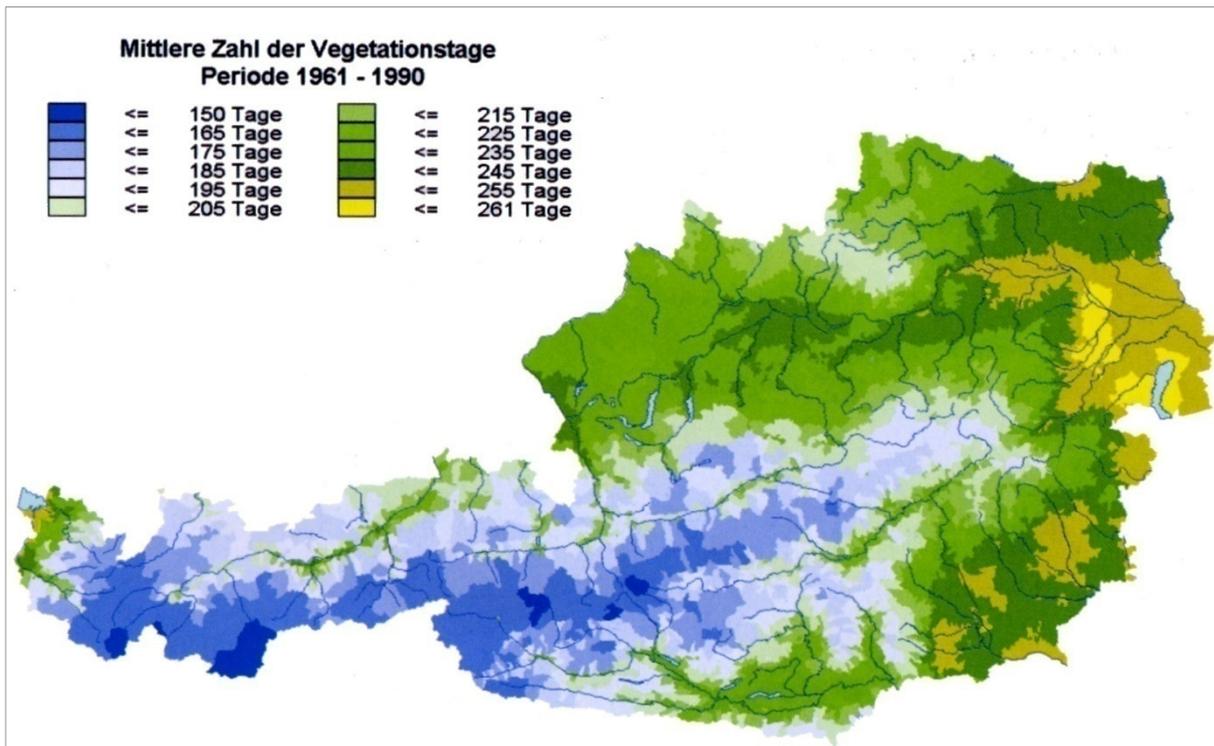


Abbildung 1.2-07: Vegetationstage
aus: HARLFINGER und KNEES (1999)

1.2.1.3 Sonnenscheindauer

Zur Sonnenscheindauer liegen für Bruckneudorf keine Daten vor, daher sind in Abbildung 1.2-08 nur die Werte für die Stationen Eisenstadt und Neusiedl am See dargestellt. Die wenigsten Sonnenstunden gibt es von November bis Jänner, wobei an beiden Stationen die niedrigsten Werte im Dezember erreicht werden – Eisenstadt: 50,1 Stunden und Neusiedl am See: 54,1 Stunden. Das ergibt einen durchschnittlichen Tageswert von unter zwei Stunden. Der sonnenreichste Monat ist bei beiden Stationen der Juli mit über 250 Stunden (durchschnittlich mehr als acht Stunden täglich). Der prozentuelle Anteil an der maximal möglichen Sonnenscheindauer ist aller-

dings im August am größten, wo er Werte von 57,8% in Eisenstadt und 61,1% in Neusiedl am See erreicht. Bemerkenswert ist, dass der Anteil an der maximal möglichen Sonnenscheindauer bei beiden Stationen im Juni verglichen mit dem Mai leicht zurückgeht.

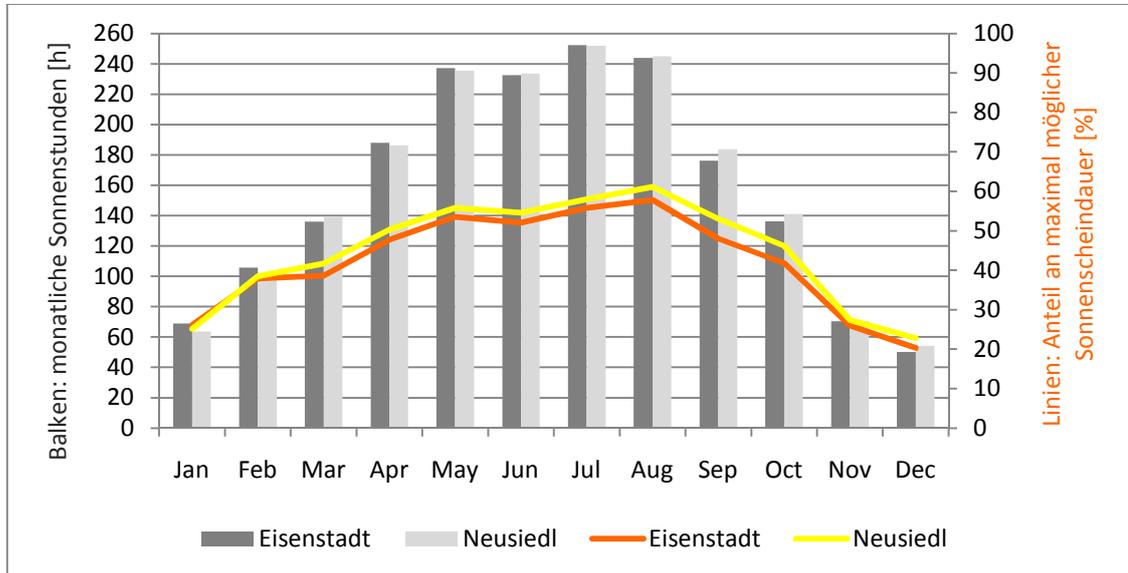


Abbildung 1.2-08: Monatliche Sonnenstunden und Anteil an maximal möglicher Sonnenscheindauer im Jahresverlauf
Daten: ZAMG, langjährige Mittelwerte 1971 – 2000

1.2.1.4 Ökoklimatische Klassifikation

Klimatische Wasserbilanz

Als klimatische Wasserbilanz bezeichnet man die Differenz von Niederschlag und potenzieller Verdunstung an einem Standort. Übersteigt die potenzielle Verdunstung den Niederschlag, spricht man von einer negativen Wasserbilanz – es steht weniger Niederschlag zur Verfügung als verdunstet werden könnte. Man kann für den betreffenden Zeitraum also Wassermangel und Trockenheit vermuten (HÄCKEL 1999).

In der Literatur wird die große Bedeutung der Verdunstung im Gebiet des Neusiedler Sees mehrfach betont (z. B. BOROVIČZÉNY et al. 1992). Die häufigen Sommertage – an der Station Neusiedl im langjährigen Mittel mehr als 66 pro Jahr (siehe auch Abbildung 1.2-06) – und die vergleichsweise geringen Niederschlagsmengen versetzen die Pflanzen während der Vegetationsperiode in Wasserstress (HARLFINGER und KNEES 1999).

Im Pannonikum tritt durchwegs eine negative klimatische Wasserbilanz auf, aus der ein jährliches Defizit von rund 150 mm resultiert. Im Jahresverlauf zeigt sich, dass nur der Winter eine positive Abweichung aufweist, während die Vegetationszeit zu trocken ausfällt. Der klimatologische Wasserüberschuss in der humiden Periode von November bis Februar beträgt 44 bis 80 mm und reicht theoretisch bis Mai bzw. Anfang Juni für den Defizitausgleich (HARLFINGER und KNEES 1999).

K-Index (KI)

Der K-Index charakterisiert die Aridität bzw. Humidität für das Gesamtjahr und wird von der Österreichischen Bodenschätzung (HARLFINGER und KNEES 1999) durch folgende Formel berechnet:

$$KI = (0,16 \sum t) / R$$

KI K-Index in 1/100

$\sum t$ Wärmesumme

Summe aller 14-Uhr-Temperaturen aller Tage des Jahres [°C], an denen das tägliche Minimum nicht über 5°C und das tägliche Maximum nicht über 15°C liegt

R Jahresniederschlagsmenge [mm]

Schwach semi-aride Bedingungen beginnen dort, wo im langjährigen Mittel zumindest fünf Monate pro Jahr eine negative klimatische Wasserbilanz aufweisen. Schwach semi-aride und semi-aride Bedingungen kennzeichnen den pannonischen Raum.

Verschneidet man schließlich die in der Legende zu Abbildung 1.2-09 beschriebenen sechs Klassen der klimatischen Wasserbilanz (K-Index-Klassen) mit den sechs Wärmesummenklassen, ergibt sich eine ökologische Klassifizierung von Österreich. Sie unterscheidet 22 Klimatypen und zeigt die agrarklimatisch relevanten Unterschiede innerhalb des Staatsgebiets. Hohe Wärmesummen in Verbindung mit schwach semi-ariden und semi-ariden Bedingungen treten nur im Nordosten bzw. Osten Österreichs auf. Die klimatische Wasserbilanz ist im Sommerhalbjahr in diesem Gebiet im langjährigen Mittel negativ.

Wie von HARLFINGER und KNEES (1999) wird das Klima des Neusiedler Seegebiets auch in österreichischen Atlanten (z. B. HÖLZEL 1996) als pannonisch beschrieben. Als Merkmale werden die große Temperaturjahresamplitude und die damit verbundene Kontinentalität, die milden Wintertemperaturen, niedrigen Jahres-

niederschlagssummen und der Strahlungsreichtum genannt. Nach BOROVIČZÉNY et al. (1992) sind die Witterungsverhältnisse wegen der geringen morphologischen Gliederung zu einem bestimmten Zeitpunkt relativ einheitlich. Hingegen treten bei allen Klimadaten von Jahr zu Jahr große Variabilitäten auf.

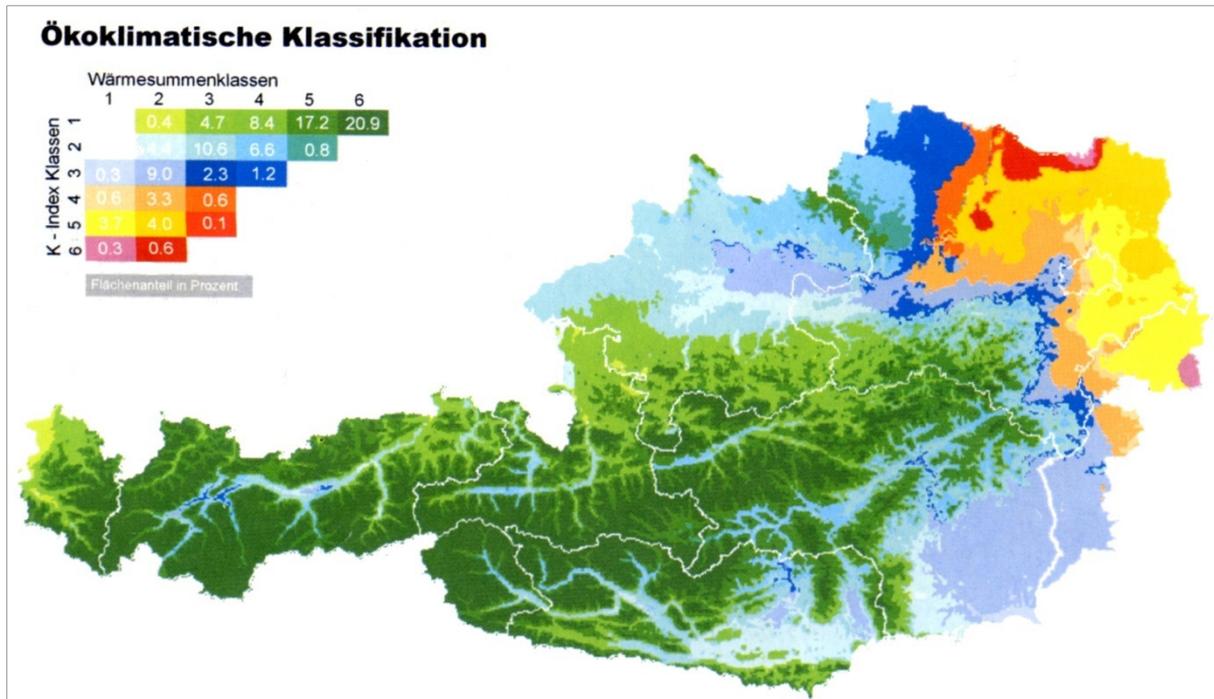


Abbildung 1.2-09: Ökoklimatische Klassifikation Österreichs aus: HARLFINGER und KNEES (1999)

Wärmesummenklassen
Jahreswärmesumme in °C 1961 – 1990

1	0 bis 1400
2	1400 bis 2150
3	2150 bis 2600
4	2600 bis 3050
5	3050 bis 3600
6	3600 bis 3970

K-Index-Klassen

1	< 40	stark humid
2	40 – 59	mäßig humid
3	60 – 79	schwach humid
4	80 – 99	semi-humid
5	100 – 115	schwach semi-arid
6	> 115	semi-arid

1.2.2 GEOMORPHOLOGIE, GEOLOGIE UND BÖDEN

1.2.2.1 Geomorphologie

Das Leithagebirge bildet einen 30 km langen, südwest-nordost-orientierten, plateauartigen bewaldeten Rücken, dessen höchste Erhebungen – der Sonnenberg bei Hornstein und die Kaisereiche zwischen den Orten Hof und Donnerskirchen – 484 bzw. 443 m ü. A. erreichen. An seiner Wasserscheide verläuft die Grenze zwischen Niederösterreich und dem Burgenland. Die Hänge zum Neusiedler See hin sind steiler als jene auf der niederösterreichischen Seite. Die Eintiefung in Richtung See ist größer, die Erosionsbasis liegt also auf der burgenländischen Seite tiefer, weshalb die Südhänge des Rückens durch zahlreiche Gräben zerschnitten sind (siehe auch Abbildungen 1.2-10 und 1.2-11 – Seite 15).

Wo die Hänge an der Südostseite flacher werden, wird der Eichen-Buchen-Mischwald von landwirtschaftlich genutzten Flächen – v. a. Weingärten – abgelöst. Geologisch entspricht diese Änderung in der Landnutzung der Grenze zwischen Kristallin und Kalk. In Richtung See schließen sich Wiesen an, die dann in den Schilfgürtel übergehen, der auf etwa 116 m ü. A. liegt.

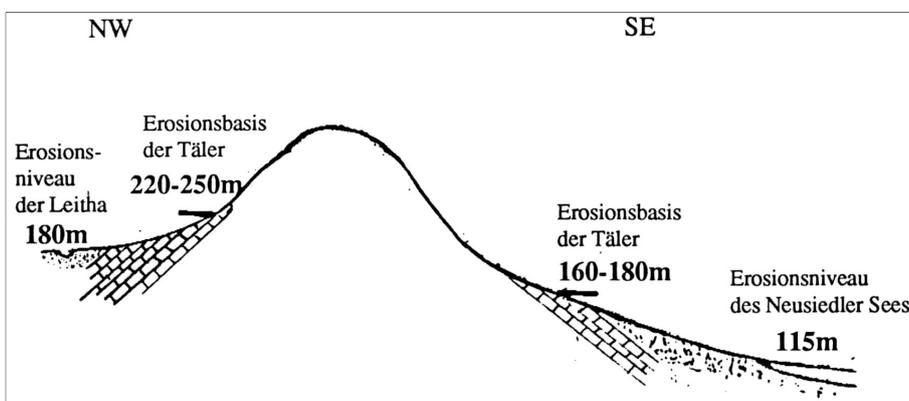


Abbildung 1.2-10: Nordwest- und Südosthang des Leithagebirges, schematisch, stark überhöht
aus: KUMMER-KOSCHISCHEK (1992), Abb. 7-3



Abbildung 1.2-11: Ausschnitt Topographische Karte des Burgenlandes 1:200.000
 Bundesamt für Eich- und Vermessungswesen (2005), gescannt

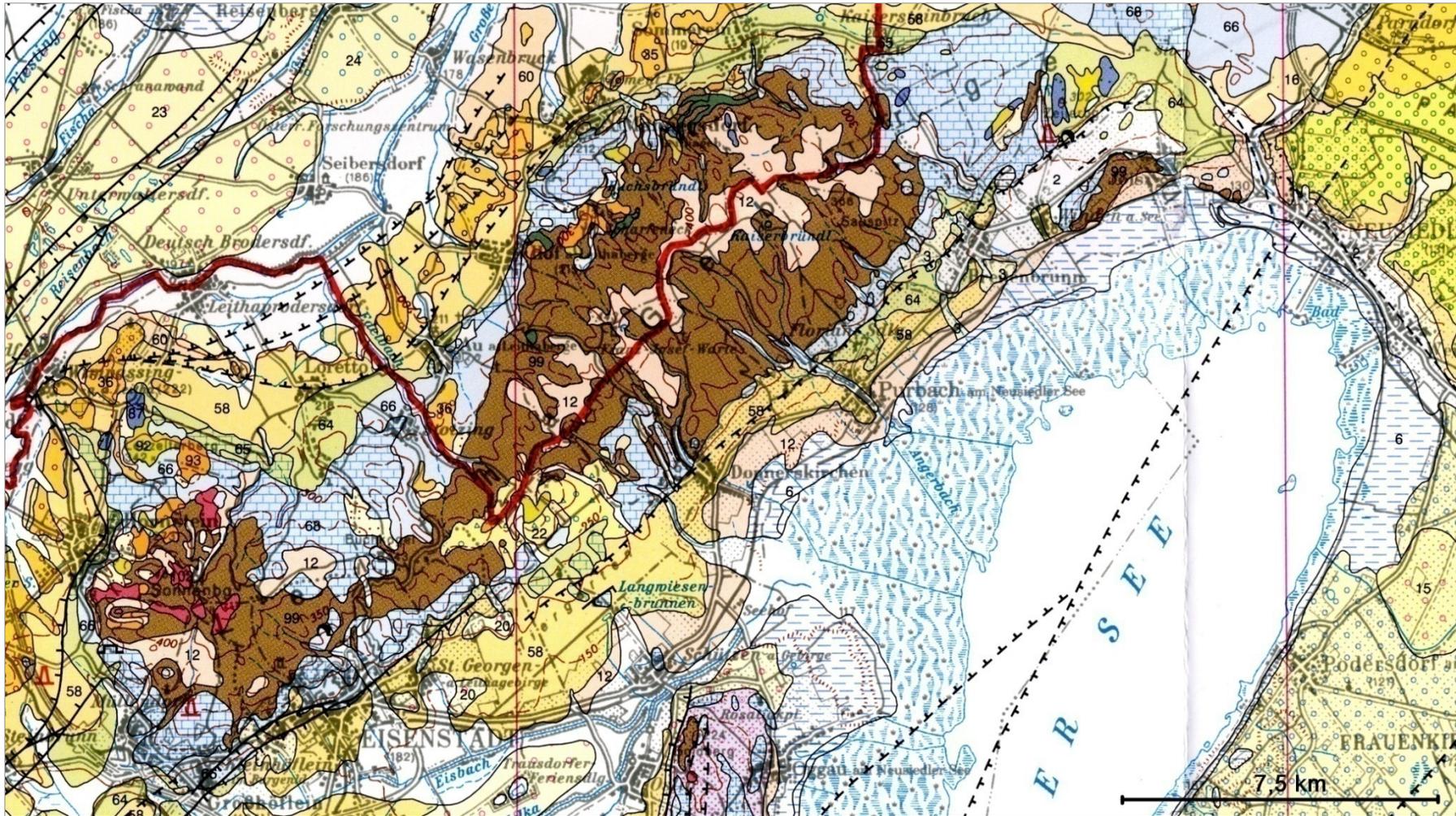


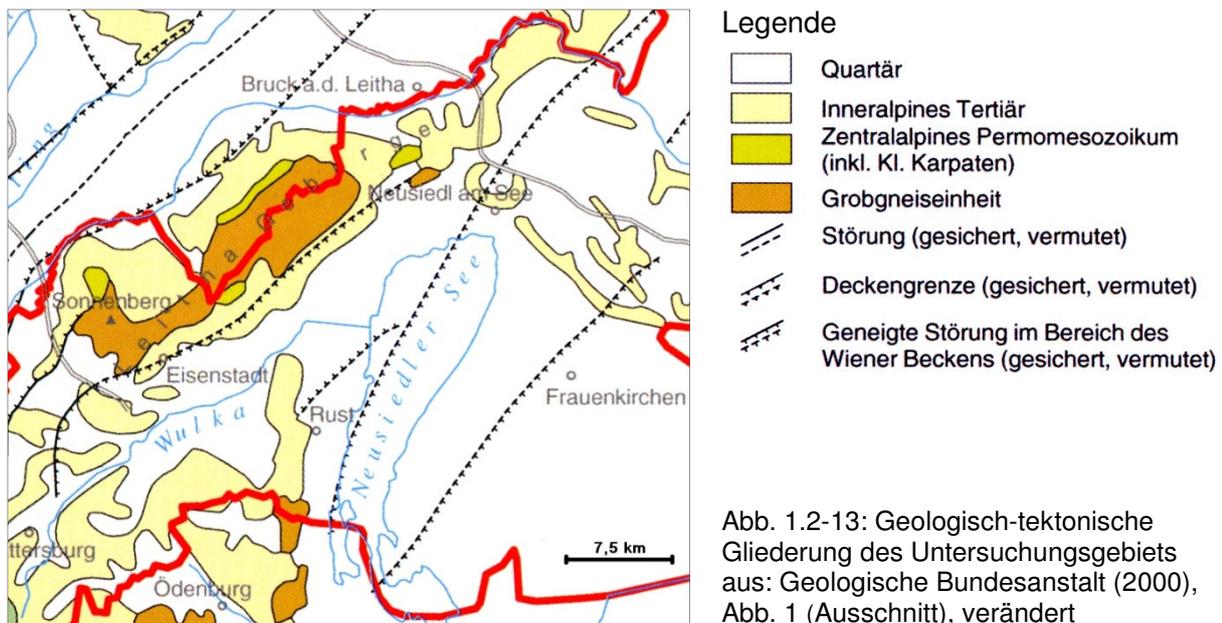
Abbildung 1.2-12: Ausschnitt Geologische Karte des Burgenlandes 1:200.000
 Geologische Bundesanstalt (1999), gescannt
 Legende siehe nächste Seite

1.2.2.2 Geologie

Legende zu Abb. 1.2-12

QUARTÄR		
2	Talfüllung – jüngster Talboden (Kies, Auelehm)	Postglazial (Holozän)
3	Schwemmkegel	
5	Vernässung, Moor, Versumpfung	
6	Seeton, limnisches Sediment (Ton, Silt, Sand, tlw. organisch)	
12	Lehm, Verwitterungslehm	Pleistozän – Holozän
15	fluviatile Ablagerung (Sand, Kies) tlw. mit äolischen Ablagerungen	Oberes Pleistozän
16	Löss, Lösslehm	
22	Mitterriegelschotter	Pleistozän i. Allg.
Fluviatile Terrassen im Alpenvorland, im Wiener Becken und im Donauraum		
23	Oeynhausener Schotter	Würm
24	Jüngerer Steinfeldschotter	
35	Terrassensedimente, undifferenziert (Kies, Sand, Ton)	Oberes Pliozän – Unteres Pleistozän
36	Steinbrunner Schotter, Zillingdorfer Schotter	
INNERALPINES TERTIÄR		
58	Sedimente des Pannoniums, undifferenziert (Ton, Sand, Kies)	Pannonium
60	Neufeld-Formation (Ton, Sand, Braunkohle – Lignit); Oberes Pannonium	
64	Sedimente des Sarmatiums, undifferenziert (Ton, Sand, Kies)	Sarmatium
65	detritärer (=umgelagerter) Leithakalk, Kalk, Kalksandstein	
66	Sedimente des Badeniums, undifferenziert (Ton, Sand, Kies)	Badenium
68	Leithakalk	
GRUNDGEBIRGE		
Unter- und Mittelostalpin		
Zentralalpines Permo-Mesozoikum		
87	Carbonate der Mitteltrias allgemein; Anisium – Ladinium	
92	Semmeringquarzit, Luzna-Formation; Unter-Trias („Skyth“)	
93	alpiner Verrucano, Tattermannschiefer (Semmering), Devin-Formation; Perm	
Unterostalpin Kristallin		
Grobgneiseinheit		
99	Hüllschiefer	
102	Grobgneis	
105	Amphibolit	

In Abbildung 1.2-13 ist die geologisch-tektonische Gliederung des Untersuchungsgebietes zu sehen. Weite Teile des Areal sind dem Quartär zuzuordnen. Das ältere Inneralpine Tertiär tritt in höheren Lagen des Wulkatales, in Form des Ruster Höhenzuges und als Umrandung des Leithagebirges zu Tage und setzt sich auch nach Nordosten hin nördlich der Parndorfer Platte bis nach Hainburg fort. Im Anschluss an die tektonisch tiefste Einheit – die Grobgneiseinheit – findet man im Leithagebirge auch das Zentralalpine Permo-Mesozoikum vor. Eine detailreichere Gliederung der einzelnen Einheiten ist in Abbildung 1.2-12 (Seite 16) ersichtlich.



Der plateauartige Rücken des Leithagebirges besteht hauptsächlich aus zum Teil stark verwittertem Hüllschiefer (99) sowie Verwitterungslehm (12). Zwischen St. Georgen und Donnerskirchen findet sich ein kleiner Abschnitt pleistozänen Mitterriegelschotters (22), in den noch punktuelle Vorkommen von Semmeringquarzit (92) und alpinem Verrucano (93) eingeschlossen sind, die auch an der niederösterreichischen Seite sowie am Nordwesthang des Sonnenberges gemeinsam mit Carbonaten der Mitteltrias (87) zu finden sind, welche dann erst wieder am Ostende des Leithagebirges zusammen mit Semmeringquarzit nordwestlich von Jois am Zeilerberg zu Tage treten. Im obersten Bereich des Sonnenberges kommen Grobgnese (102) vor.

Praktisch die ganze Südostflanke des Leithagebirges ist von einem Band aus Sedimenten des Badeniums (66) und Leithakalk (68) durchzogen. Zwischen Donnerskirchen und Purbach kommt es nur punktuell an die Oberfläche, zwischen Purbach und Breitenbrunn wird es breiter und greift dann über das Gebirge nach Kaisersteinbruch hinweg. Auch die höchsten Erhebungen des Spittel- und des Geißberges bestehen aus Leithakalk. Zwischen St. Georgen und Donnerskirchen schließt in Richtung See an die Mitterriegelschotter ein Bereich an, in dem die Sedimente des Sarmatiums (64) sowie detritärer Leithakalk, Kalk und Kalksandstein (65) vorkommen. Das Sarmatium findet sich weiters zwischen Purbach und Breitenbrunn.

Das nächste mehr oder weniger durchgängige Band bilden die Sedimente des Pannoniums (58). Sie ziehen sich vom Wulkatal in einem schmaler werdenden Streifen bis nach Breitenbrunn. Zwischen Breitenbrunn und Neusiedl am See kommen sie nicht vor und tauchen erst auf der anderen Seite des Sees als schmales Band am Rand der Parndorfer Platte wieder auf.

Anschließend folgt nochmal ein Band aus Verwitterungslehm, das von St. Georgen bis nach Neusiedl reicht. Der Schilfgürtel des Sees schließt hier im Bereich Purbach direkt an, sonst wird das Seeufer von Donnerskirchen bis Podersdorf von einem breiten Streifen von Seetonen (6) gebildet.

Generell kann man sagen, dass das Alter der geologischen Schichten im Untersuchungsgebiet mit der Seehöhe zunimmt. Die ältesten Bereiche bilden die Grobneise und Hülschiefer des Leithagebirges gemeinsam mit Semmeringquarzit, alpinem Verrucano und den Carbonaten der Mitteltrias. Sie bauen das vortertiäre Grundgebirge auf. Zum See hin schließt dann das Inneralpine Tertiär an, zu dem die Sedimente des Badeniums und der Leithakalk (16,4 bis 13 Mio. Jahre) gehören. Es folgen die Sedimente des Sarmatiums sowie detritärer Leithakalk, Kalk und Kalksandstein (13,0 bis 11,5 Mio. Jahre). Die nächstjüngeren Schichten werden von den Sedimenten des Pannoniums (11,5 bis 7,1 Mio. Jahre) gebildet. Am jüngsten sind die Verwitterungslehme und die postglazialen Seetone.

1.2.2.3 Periglaziäre Lagen

wenn nicht anders angegeben, nach Ad-hoc-AG Boden (2005)

In den pleistozänen Kaltzeiten führten im Periglazialraum Europas – zu dem auch der Raum um den Neusiedler See gehört – hauptsächlich Prozesse der Solifluktion, Kryoturbation und äolischen Sedimentation zur Bildung einer oft mehrteiligen Sedimentdecke, den periglaziären Deckschichten. Diese quartären Decklagen überziehen in den meisten Mittelgebirgen weitflächig den Gesteinsuntergrund und sind in das aufbereitete Material des Festgesteinuntergrunds und in Löss eingearbeitet. Ihre heutige Verbreitung lehnt sich oft regelhaft an die morphologische Hanggliederung an (ZEPP 2002): Im Hangrelief dominierten Solifluktion und äolische Akkumulation. In den ebenen Reliefbereichen veränderten v. a. vertikal wirksame Vorgänge wie Kryoturbation das Ausgangsmaterial. Dadurch entstanden mehrgliedrige Substratabfolgen. Die Einzelglieder der so umgebildeten Bodenausgangsmaterialien werden als Lagen bezeichnet.

Das idealisierte, vollständige Decklagenprofil beinhaltet laut ZEPP (2002) Basis-, Mittel- und Deck- oder Hauptlage (siehe Abbildung 1.2-14). Die Ad-hoc-AG Boden (2005) unterscheidet Basislage LB, Mittellage LM, Hauptlage LH und Oberlage LO.

Zusammensetzung und Vertikalabfolge der periglaziären Lagen beeinflussen den Aufbau, die Verbreitung und die Eigenschaften heutiger Böden wesentlich. Lagen sind vom liegenden Gestein (Lokalanteil) und von Fremdanteilen (z. B. äolisches Material) geprägt sowie in Abhängigkeit von paläogeographischen Verhältnissen modifiziert.

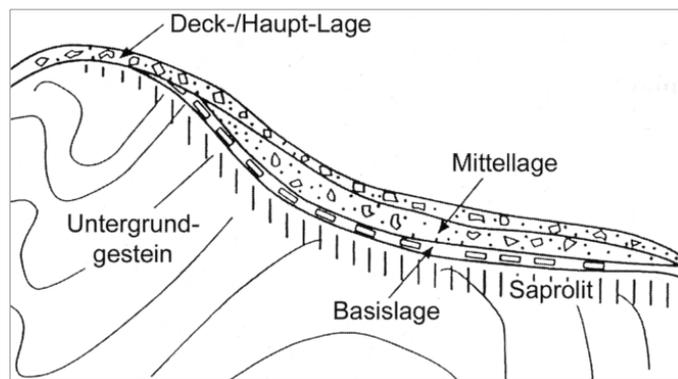


Abbildung 1.2-14: Idealisiertes Decklagenprofil aus: ZEPP (2002), Seite 290

Basislage

Die Basislage ist aus den liegenden und/oder in Nachbarschaft (hangaufwärts) autochthon vorkommenden Gesteinen hervorgegangen. Die Zusammensetzung dieser ältesten periglaziären Lage spiegelt laut ZEPP (2002) den Stoffbestand des Untergrundgesteins am besten wider. Sie enthält im Allgemeinen keine oder zumindest keine deutlichen äolischen Komponenten – keinen Lösslehm (ZEPP 2002). Äolische Fremdanteile treten allenfalls untergeordnet auf. Es können neben- und übereinander mehrere unterschiedlich alte Basislagen auftreten. Die Basislage ist abgesehen von stark exponierten Geländepositionen weit verbreitet. Laut ZEPP (2002) ist sie auf abtragungsgeschützte Reliefpositionen beschränkt.

Mittellage

Die Mittellage ist zeitlich und in der Vertikalabfolge zwischen Basis- und Hauptlage einzuordnen und enthält im Berg- und Hügelland immer einen erkennbaren äolischen Anteil – Lösslehm (ZEPP 2002). Ihr Substrat unterscheidet sich dadurch wesentlich von der Basislage. Die Mittellage kann im Berg- und Hügelland mehr äolisches Material enthalten als die Hauptlage und ist nur in erosionsgeschützten Positionen erhalten. Im Tiefland ist sie oft nicht zweifelsfrei von der Hauptlage abgrenzbar. Es können lateral und vertikal unterschiedlich alte Mittellagen auftreten.

Hauptlage

Die Hauptlage ist außerhalb der holozänen Erosions- und Akkumulationsgebiete und der Verbreitung der Oberlage fast überall direkt an der Oberfläche ausgebildet. Sie kommt über Mittel- oder Basislage, selten unmittelbar über anstehendem Gestein, vor und enthält zumeist äolisches Material. Laut Ad-hoc-AG Boden (2005) ist sie in weiten Gebieten auf Grund vorhandener Bestandteile von Bimstephra des Laacher-Vulkans in die Jüngere Dryaszeit einzuordnen. Die Mächtigkeit der Hauptlage ist relativ einheitlich und liegt bei 50 (\pm 20) cm. Darüber hinausgehende, flächig auftretende Mächtigkeiten sind selten, geringere auf Erosion zurückzuführen.

Oberlage

Über der Hauptlage können weitere Lagen auftreten, die dann als Oberlage bezeichnet werden. Sie sind auf exponierte Geländebereiche und auf das Verbreitungsgebiet widerstandsfähiger Gesteine beschränkt. Ihr Aufbau ist unterschiedlich und abhängig vom Ausgangsgestein (ZEPP 2002). Die Oberlage kann in den Hochlagen der Mittelgebirge bis ins beginnende Holozän entstanden sein. Ihre Zusammensetzung und Mächtigkeit bestimmen wesentlich die Eigenschaften der aus ihr entstandenen Böden (ZEPP 2002).

1.2.2.4 Böden

Abbildung 1.2-15 zeigt die Böden des Neusiedler Seegebiets in generalisierter Form. Im Untersuchungsgebiet selbst (Leithagebirge und Vorland bis zum See) kommen Braunerden aus kristallinen Ausgangsgesteinen, Rendzinen des Trockengebiets, Tschernoseme aus Löss oder Tegel sowie trockenengefallene Anmoore vor.

Die elektronische Bodenkarte Österreichs (<http://gis.lebensministerium.at/eBOD>, 18. Mai 2008) weist für das Vorland des Leithagebirges die Bodentypen Solontschak-Solonetz (in schmalen, unterbrochenen Streifen entlang des Seeufers sowie großflächiger am Ufer zwischen Jois und Winden am See), Rendzina, Feuchtschwarzerde (am Seeufer, v. a. im Anschluss an den Schilfgürtel), Tschernosem und Braunerde aus.

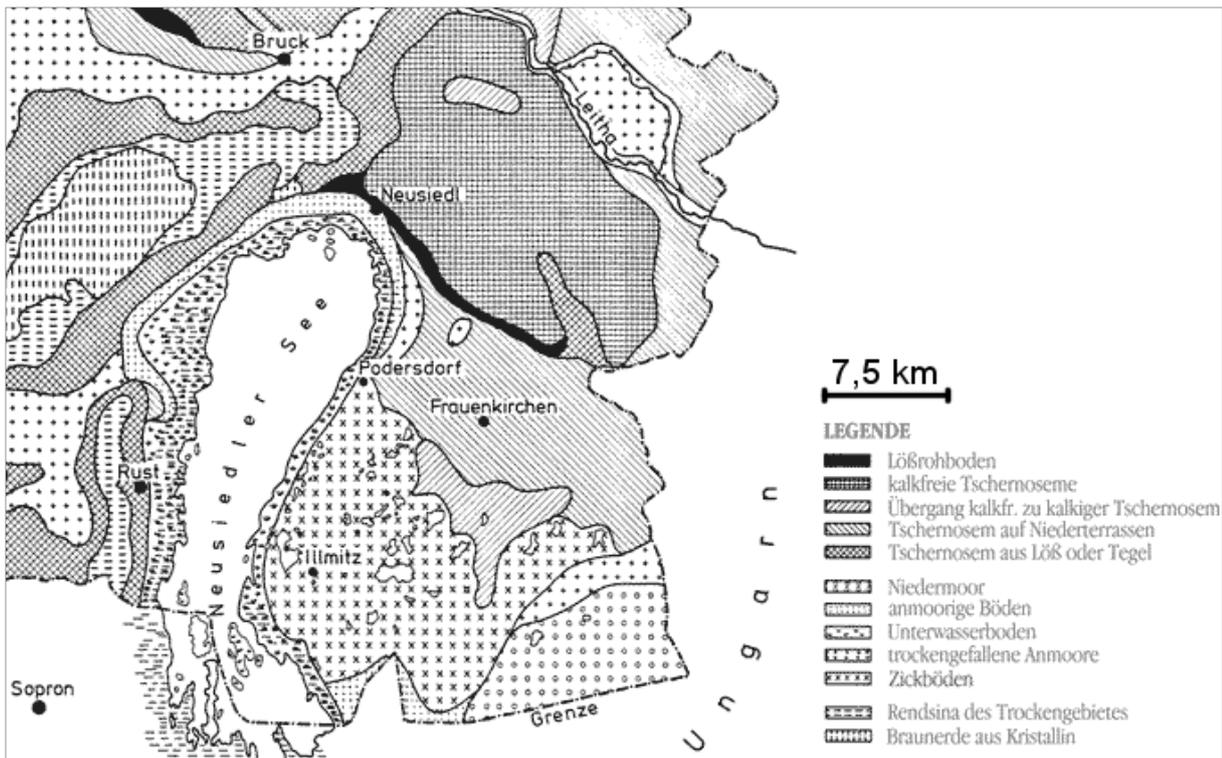


Abbildung 1.2-15: Böden im Neusiedler Seegebiet (Ausschnitt) verändert
<http://www.nationalpark-neusiedlersee-seewinkel.at>, 11. November 2009

Im Folgenden werden die im Untersuchungsgebiet am häufigsten vorkommenden Bodentypen an Hand der Österreichischen Bodensystematik (KILIAN et al. 2002) mit Ergänzungen von SCHEFFER und SCHACHTSCHABEL (2002) sowie BILLISICS-ROSENTIS (2007) kurz charakterisiert. Auf die Darstellung von Bodenprofilen wird hier verzichtet. Die selbst aufgenommenen Profile an den Probenstandorten befinden sich in Kapitel 3.1.

Rendzina

Die Rendzina gehört nach der Österreichischen Bodensystematik (KILIAN et al. 2002) zur 1. Ordnung – Terrestrische Böden, Klasse 02 – Auflagehumusböden und entwickelte A-C-Böden. Diese Klasse repräsentiert Böden mit gut entwickeltem Humushorizont auf chemisch kaum verändertem Ausgangsmaterial, wobei keine weiteren nennenswerten Mineralbodenhorizonte zwischengeschaltet sind.

Die Horizontfolge bei der Rendzina ist typischerweise (F-H)-Ahb-C oder (F)-H-C: Humusboden auf reinem Carbonatgestein oder Gipsgestein mit zumindest 75% Carbonatanteil und/oder Sulfatanteil, berechnet als $\text{CaCO}_3 + \text{CaSO}_4$. Ein nicht humoser Mineralbodenhorizont (mit Ausnahme des aufgewitterten Substrates) fehlt. Der A-Horizont ist meist schwarz bis dunkelbraun, krümelig (SCHEFFER und SCHACHTSCHABEL 2002), stark humos und skelettreich.

Laut SCHEFFER und SCHACHTSCHABEL (2002) entstehen Rendzinen durch physikalische und chemische Verwitterung sowie Humusanreicherung aus dem Ausgangsgestein. Die Geschwindigkeit der Bodenentwicklung ist umso höher, je humider das Klima ist und je höher Zerteilungsgrad und Porosität der Gesteine, deren Gehalt an nichtcarbonatischen Bestandteilen und deren Auflösungsgeschwindigkeit sind. Unter vergleichbaren Entwicklungsbedingungen sind deswegen gleichaltrige Rendzinen aus reinen, harten und dichten Gesteinen flachgründig, während aus unreinen, weichen, porösen Gesteinen tiefgründige Rendzinen entstehen können. Rendzinen der Südhänge verwittern langsamer als an Nordhängen, weil sie weniger durchfeuchtet werden und die Carbonatlöslichkeit bei höheren Temperaturen geringer ist.

Der Ah-Horizont von Rendzinen weist meist über 5%, oft sogar 10 bis 20% organische Substanz auf. Er ist meist carbonathaltig, schwach alkalisch bis höchstens schwach sauer und daher weitgehend mit Ca-Ionen gesättigt. Daraus resultiert eine intensive Tätigkeit von Bodenorganismen, insbesondere von Regenwürmern. Die Rendzinen sind demnach (sowie wegen Hanglage und/oder klüftigen Gesteins) trotz hoher Tongehalte gut durchlüftet.

Rendzinen treten in Mitteleuropa vorwiegend auf Sedimentgesteinen der Mittelgebirge und in den Alpen auf. Sie werden meist als Weide oder Forst genutzt. Nur bei tieferer Gründigkeit ist auch Ackerbau möglich, der allerdings den Humusgehalt abbaut (Aufhellung) und das Gefüge verschlechtert.

Tschernosem

Der Tschernosem gehört in der Österreichischen Systematik zur selben Klasse der terrestrischen Böden wie die Rendzina. Das Profil weist im Normalfall eine A-(AC-)C-Horizontabfolge auf. Das voll entwickelte A-C-Profil besteht aus feinem, feinkörnigem Lockermaterial, v. a. Löss, Mergel, Sand oder Schwemmmaterial. Ein unterlagerndes grobklastisches Gestein muss tiefer als 30 cm liegen, liegt im Allgemeinen aber noch tiefer. Der A-Horizont ist mindestens 30 cm mächtig und grau-schwarz gefärbt (SCHEFFER und SCHACHTSCHABEL 2002), die Horizonte sind nicht scharf voneinander abgegrenzt, sondern gehen allmählich ineinander über.

Die Ausbildung von Tschernosemen ist laut SCHEFFER und SCHACHTSCHABEL (2002) auf die charakteristischen Eigenschaften eines kalkhaltigen, lockeren Ausgangsgesteins, den Einfluss eines kontinentalen, semi-ariden bis semi-humiden sommertrockenen Klimas, eine grasreiche Vegetation und die Tätigkeit von Tieren zurückzuführen.

Typisch für den Tschernosem sind als Folge intensiver Bioturbation metertiefe, mit humosem Bodenmaterial verfüllte, ehemalige Wurmgänge und Krotowinen von wühlenden Nagetieren, die im C-Horizont dunkles Ah-Horizont-Material, im Oberboden z. T. hellgelbes C-Horizont-Material enthalten.

In Österreich beschränkt sich sein Vorkommen auf das pannonische Trockengebiet und inneralpine Trockentäler. Mitteleuropäische Tschernoseme enthalten 15 bis 20% Ton, sind im Oberboden meist kalkfrei und reagieren manchmal schwach sauer. Der Humusgehalt beträgt zwei bis sechs Prozent. Die dunkle Farbe der Huminstoffe begünstigt eine raschere Erwärmung im Frühjahr und verlängert so die Vegetationsperiode.

Tschernoseme sind hervorragende Ackerböden. Mit pflanzenverfügbaren Mikronährstoffen (B, Cu, Mn, Mo, Zn) sind sie gut versorgt. Ihr A-Horizont besitzt ein Porenvolumen von etwa 50% mit hohem Mittel- und Grobporenanteil. Daher sind diese Böden gut durchwurzelbar und ausreichend belüftet. Löss-Tschernoseme können im oberen Meter mehr als 200 mm Niederschlag nutzbar speichern, sodass die Vegetation auch länger andauernde Trockenheit ohne Schaden überdauern kann.

Braunerde

Braunerden bilden in der Österreichischen Bodensystematik eine eigene Klasse der terrestrischen Böden. Wichtigstes Merkmal ist, dass zwischen Humushorizont und Ausgangsgestein ein durch Verwitterung und Ton-Neubildung vom Ausgangsmaterial differenzierter, von Eisenoxiden braun gefärbter B-Horizont eingeschaltet ist.

Die Horizontfolge der typischen Braunerde ist A-(AB-)Bv-C. Der humose A-Horizont geht normalerweise gleitend in einen braunen Bv-Horizont über (SCHEFFER und SCHACHTSCHABEL 2002). Die Mächtigkeit des B-Horizontes (einschließlich Übergängen) beträgt zumindest 10 cm oder 15% des Gesamtbodens. Darunter folgt in 25 bis oft erst 150 cm Tiefe der C-Horizont (SCHEFFER und SCHACHTSCHABEL 2002). Die Braunerde kommt auf jedem festen, fein- oder grobklastischen Substrat mit Ausnahme von Carbonatgestein vor. Sie ist der am weitesten verbreitete Boden im gemäßigt humiden mitteleuropäischen Klimabereich.

Laut SCHEFFER und SCHACHTSCHABEL (2002) variieren die Eigenschaften der Braunerde abhängig von Ausgangsgestein, Vegetation, Entwicklungstiefe, Ton- und Humusgehalt, Lagerungsdichte und Versauerungsgrad. Darum schwankt auch ihr ackerbaulicher Wert in einem weiten Bereich. Braunerden werden wegen ihrer Flachgründigkeit, ihres hohen Steingehalts oder ihrer Basenarmut meist forstlich genutzt.

Solontschak

Der Solontschak gehört mit dem Solonetz und dem Übergangstyp Solontschak-Solonetz zur Klasse 11 der hydromorphen Böden, den Salzböden. Diese weisen einen sehr hohen pH-Wert und in feuchtem Zustand eine breiige Konsistenz auf. Hohe Konzentrationen wasserlöslicher Salze sind dafür verantwortlich. Die natürliche Vegetation auf diesen Standorten ist auf salzliebende oder salzresistente Arten beschränkt. Salzböden sind in Österreich v. a. im Gebiet um den und östlich des Neusiedler Sees zu finden.

Der Solontschak ist arm an organischer Substanz (BILLISICS-ROSENTIS 2007) und wird auch als Weißer Salzboden (Zickboden) oder Weißalkaliboden bezeichnet. Die typische Horizontfolge ist Asa-G oder Ai, g, sa-G(r). Er tritt auf, wenn salzhaltiges Grundwasser hoch ansteht und durch Verdunstung zur Salzanreicherung an der Bodenoberfläche in Form von Salzkrusten (Na_2CO_3 , MgCO_3) und zu Schwundrissen führt (BILLISICS-ROSENTIS 2007). Die Vegetation ist gering deckend und artenarm mit extremen Halophyten wie Salzkresse und Salzmelde (BILLISICS-ROSENTIS 2007).

Der Salzgehalt liegt über 0,3 Masseprozent, der pH-Wert meist zwischen 8 und 9. Solontschak kommt häufig in flach-konkaven Senken mit hoch anstehendem Grundwasser vor.

Solonetz

Der Solonetz unterscheidet sich vom Solontschak schon durch die Horizontabfolge: AE-Bh-G oder A-AbegBh-G. Synonyme sind Schwarzer Salzboden (Zickboden) oder Schwarzalkaliboden. Der Oberboden ist salzarm bzw. entsalzt und oft sandig, aber reich an organischer Substanz. Die A-Horizonte sind eher dunkel braungrau gefärbt (BILLISICS-ROSENTIS 2007), Salzausblühungen fehlen. Im feuchten Zustand ist der Boden breiig-klebrig und kohärent, nach Abtrocknen betonartig verhärtet mit tiefen, breiten Schwundrissen. Bh- oder AbegBh-Horizont weisen deutlich kantengerundet-prismatische Strukturen (Säulchenstruktur) und einen höheren Tongehalt auf. Durch Verlagerung der Huminstoffe in den tiefer liegenden B-Horizont erhält dieser oft eine schwarzbraune Erscheinung. Erst unter dem B-Horizont findet man einen höheren Bodensalzgehalt, weil unter dem Solonetz das Grundwasser tiefer ansteht als bei Solontschak (BILLISICS-ROSENTIS 2007). Auch die Vegetation ist artenreicher.

Der Salzgehalt beträgt weniger als 0,3 Masseprozent, die pH-Werte liegen deutlich über 8,5 und oft sogar über 9,5.

Solontschak-Solonetz

Diese Übergangsform von Solontschak und Solonetz ist in Österreich – wie auch im Seewinkel (BILLISICS-ROSENTIS 2007) – weiter verbreitet als die reinen Typen. Die typische Horizontabfolge ist Asa-(AG-)G, A-(Bh-)G oder A-G. Der Salzgehalt ist höher als 0,3 Masseprozent und der pH-Wert erreicht Werte bis über 9,5.

Feuchtschwarzerde

Die Feuchtschwarzerde gehört in der Österreichischen Bodensystematik zur Klasse 12 der hydromorphen Böden – zu den Mooren und Anmooren. Es handelt sich dabei um Böden, bei denen es unter Wasserüberschuss zur Anhäufung von über 30 cm organischer Substanz gekommen ist.

Das Ausgangsgestein für Feuchtschwarzerde ist silikatisches Feinmaterial mit oder ohne Carbonatanteil, v. a. Löss, Mergel, Tegel oder Schwemmmaterial. Die typische Horizontfolge der Feuchtschwarzerde, einem tiefgründigen Humusboden an trocken-gefallenen, zuvor hydromorphen, anmoorigen Standorten, ist Ahb-Ag-Cg(-CG)(-Cu). Ihr Humushorizont ist mindestens 30 cm mächtig, weitere Mineralbodenhorizonte über dem Substrat fehlen.

Zumindest die obersten 25 cm des A-Horizonts sind mullartiger, krümeliger Humus mit höchstens 10 Masseprozent organischer Substanz. Darunter folgt ein weiterer A-Horizont mit Anmoorcharakter von kohlig-schmieriger Konsistenz mit tintigem Geruch. In trockenem Zustand ist er sehr dunkel bläustichig-grau, schwer benetzbar und staubig. Die Struktur ist körnig bis feinblockig. In den unteren Horizonten oder im Ausgangsmaterial kommt es durch episodischen Grundwassereinfluss oft zu Vergleierungserscheinungen.

1.2.3 GESCHICHTE UND WASSERHAUSHALT DES NEUSIEDLER SEES

Der Neusiedler See bedeckt gegenwärtig eine Fläche von etwa 320 km². Das Seebecken beinhaltet sowohl Schlamm als auch Wasser, das durchschnittlich 90 cm tief ist. Die Grenze des Seebeckens ist mit der Isohypse auf 116 m ü. A. festgelegt. Sein Einzugsgebiet ist mit 894 km² (BOROVICZÉNY et al. 1992) nur etwa dreimal so groß wie die Seefläche selbst (siehe Tabelle 1.2-01).

Tabelle 1.2-01: Neusiedler See – Planimetrie nach CSAPLOVICS (1989),
 Flächen und Volumina bei hohem Wasserstand
 aus: BOROVIČZÉNY et al. (1992), Tab. 2.2

Neusiedler See	freie See- fläche [km²]	Schilfgürtel [km²]	Gesamtfläche [km²]	Volumen [Mio. m³]
gesamt	136	181	317	389
Österreich	124	118	242	313
Ungarn	12	63	75	76
Bezugswasserstand: 116,00 m ü. A.				

Heute ist der einzige größere Zufluss zum See die Wulka. Der Rákos patak (= Kroisbach, größter ungarischer Zubringer), der Golser Kanal und mehrere kleine Bäche aus dem Ruster Hügelland und dem Hügelland von Boz stellen weitere kleinere oberirdische Zuflüsse dar.

1.2.3.1 Die Entwicklung des Sees

Der Bereich des heutigen Seegebiets wurde gegen Ende des Jungtertiärs (vor etwa 1,8 Mio. Jahren) endgültig landfest. Die Ausgestaltung der heutigen Oberflächenformen ereignete sich im Quartär. Das Alter des Sees wird von HOMOLOVÁ (2009), mehrere andere Autoren zitierend, in einem Rahmen zwischen 10.000 und 20.000 Jahren angegeben. Der späteiszeitliche See bedeckte hauptsächlich den Raum des Hanság und den nördlichen Teil des heutigen Sees. Er erstreckte sich in einem flachen, halbmondförmigen Becken von Neusiedl am See bis Bösárkány. Die nachträgliche Einsenkung des Südteiles führte zur gegenwärtigen Seewanne und bedingte die Verlandung des östlichen Teils (BOROVIČZÉNY et al. 1992).

In seinem natürlichen Zustand bildete der See mit den Sümpfen des Hanság ein nach Osten abflussloses Gebiet. In diese Geländesenke mündeten Ikva, Répce und Rábca sowie die großen Hochwässer der Raab. In niederschlagsreichen Jahren waren diese Gewässer eine wesentliche Komponente des Wasserhaushalts. Es kam immer wieder zur Überflutungen und Austrocknungen des Sees (KROMP-KOLB et al. 2005).

Die jüngere Geschichte des Sees ist v. a. von z. T. extrem starken Wasserstandsschwankungen und anthropogenen Eingriffen geprägt. Dies wird von verschiedenen (teilweise widersprüchlichen) Quellen dokumentiert.

Laut KROMP-KOLB et al. (2005) existieren zahlreiche Berichte über Austrocknung bzw. starke Seespiegelschwankungen. Grundsätzlich sei der Begriff *Austrocknung* in verschiedenen Literaturquellen aber nicht eindeutig definiert. Die Beschreibungen reichen von *fast vollständig trocken* über *an den tiefsten Stellen nur mehr 15 – 20 cm Wasser* bis hin zu *extrem tief*, wobei in jedem Fall derselbe Zustand desselben Jahres beschrieben wird.

Nachfolgend wird versucht, die Geschichte des Sees aus zwei Literaturstellen, die ihrerseits jeweils Informationen mehrerer Quellen kombinieren, zu rekonstruieren:

Österreichisch-Ungarische Gewässerkommission (1996)

Nationalpark Neusiedler See Seewinkel (2005)

- 16000 – 12000 BC Entstehung des Neusiedler Sees
- 4000 BC Anstieg des Grundwassers, Versumpfung des Seewinkels
- 2000 – 500 BC Feuchtperiode, Seewinkel und Hanság unter Wasser
- 500 BC – 200 AD Trockenperiode
- 200 – 800 feuchteres Klima
- 1000 Wärmeperiode
- 1318 See teilweise ausgetrocknet, schmaler Wasserstreifen, der einem Fluss glich
- 15. Jahrhundert hoher Wasserstand, Bewohner zogen sich nach Osten zurück, Gründung von Apetlon (1410)
- 1500 Der See erreicht die heutigen Ausmaße.
- 1554 Anstieg des Wasserspiegels
- 1568 Wasser ging zurück, Fische wurden dezimiert
Eine Kommission stellte fest, dass die Witwe des Grafen Nádasdy das Wasser der Répce „abwärts“ leiten ließ. Die Hofkammer ordnete die Ableitung der Répce in den See an.
Rückgang des Wasserstands in Folge Ableitung der Rabnitz, dann Rücknahme der Maßnahme durch die Wiener Hofkammer
- 1674 „Der See ist breit 3.830 Klafter.“ (an einem Stein am Seehof Rust vermerkt) 3.830 Klafter entsprechen etwa 7.300 m.
- 1693 – 1736 Rückgang der Wasserfläche trotz hoher Niederschläge
- 1728 Abnahme des Wasserstandes
- 1740 Der See war fast trocken, eine Kultivierung des Seebeckens wurde ins Auge gefasst.
- 1740 – 1742 völlige Austrocknung, landwirtschaftliche Nutzung

-
- 1768 – 1769 Anstieg des Wasserspiegels mit Höchststand 1768, Fläche > 500 km², viele Tausend Joch überschwemmt, Bauern wanderten ab
Anstieg des Wasserspiegels
 - 1777 – 1780 Errichtung eines Dammes zwischen Esterháza und Pamhagen (Abtrennung des Hanság)
1786 größte Wasserfläche von 515 km²
ab 1801 Abnahme des Wasserstandes
 - 1801 – 1807 Abnahme des Wasserstandes
1811 fast vollständige Austrocknung
 - 1811 – 1813 völlige Austrocknung
1813 größte Wasserfläche von 515 km²
ab 1813 Spiegelanstieg
 - 10. März 1838 Hochwasserstand mit einer Seefläche von 356 km²
1838 Planung der Trockenlegung
1854 Abnahme des Wasserstandes
ab 1854 sinkende Tendenz
1865 war nur bei Apetlon und Esterháza ein schmaler Wasserstreifen vorhanden. Der Bodenschlamm trocknete aus, Salze kristallisierten, es bildete sich eine harte, glatte Kruste. große Staubentwicklung
Der Seeboden bedeckte sich mit salzresistenten Pflanzen, das untersuchte Wasser gehörte zu den „Sulfat-Salzwässern“. Es fehlten die Kalisalze, der Boden war somit für die landwirtschaftliche Nutzung ungeeignet.
 - 1865 – 1871 Austrocknung, landwirtschaftliche Nutzung, Wegebau, Pflanzenbewuchs am Seeboden
1872 Auffüllung des Seebeckens mit Wasser, Rückkehr der Wasservögel
1873 Gründung der Raab-Regulierungsgesellschaft, Planung der Trockenlegung des Sees
1878 Wassertiefe stellenweise bis zu 3 m
 - 1872 – 1880 Im See stellte sich wiederum ein hoher Spiegel ein, die Wassertiefe wurde zwischen 2 und 3 m angegeben.
1881 Absinken des Wasserspiegels
1885 Planung des Kanals von Pamhagen zur Rabnitz und zur tiefsten Stelle des Sees
 - 1891 – 1892 geringste Wassermenge seit 1871
1893 wegen Geldmangels wird der Kanal nicht gebaut
1895 Beginn der Bauarbeiten zum Einserkanal
-

- 1902 Der niedrige Wasserstand führt zur Abhaltung einer ungarischen wissenschaftlichen Exkursion. Dabei wurden chemische und physikalische Messgrößen erhoben.
- 1909 Anschluss des Kanals an den See; bei Öffnung der Schleusen Überflutung der Hanság-Wiesen; der Einserkanal wird „Regulierungsbau“
- 1912 – 1913 Absinken des Wasserspiegels
- 1924 Seefläche von nur 200 km²

Die Abbildungen 1.2-16 bis 1.2-18 illustrieren ebenfalls die Entwicklung des Sees.

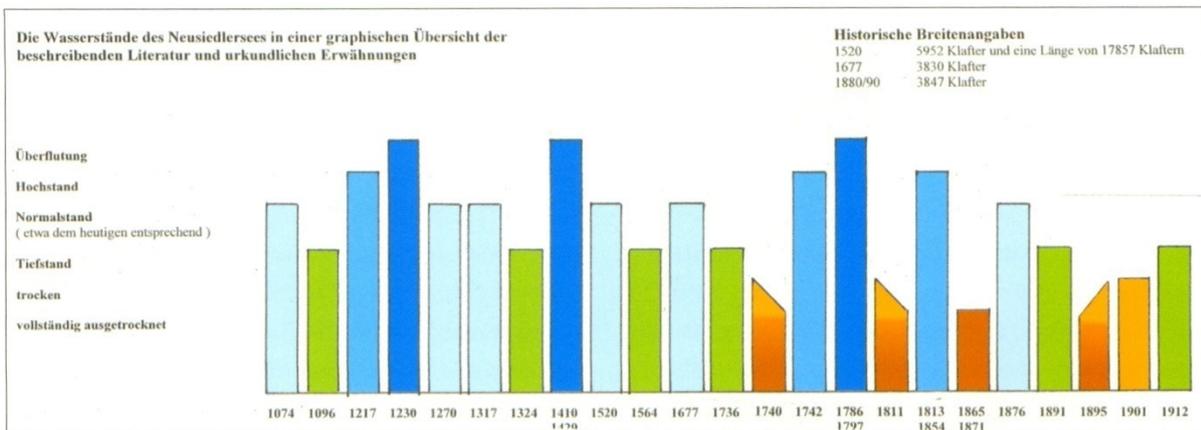


Abbildung 1.2-16: Schema Wasserstände des Sees 1074 bis 1912 aus: MEYER (2007), Seite 38

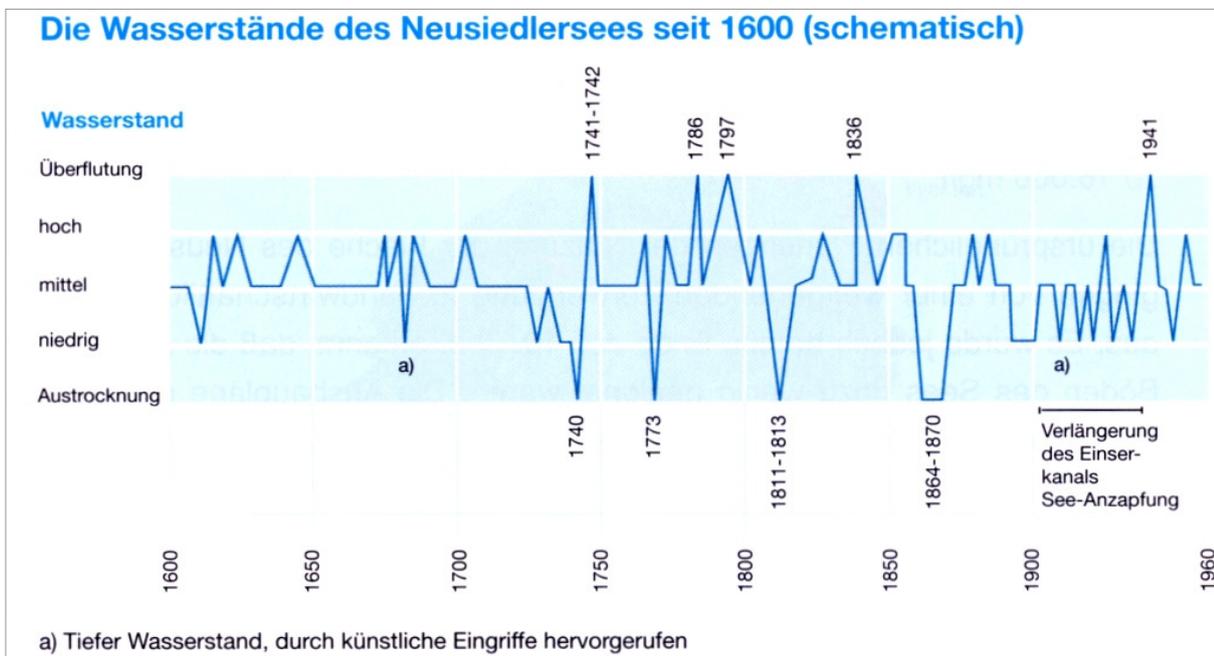


Abbildung 1.2-17: Schema Wasserstände des Sees 1600 bis 1960 aus: Österreichisch-Ungarische Gewässerkommission (1996), Abb. 7

Abbildung 1.2-16 deckt die Zeit von 1074 bis 1912 ab. Die historisch höchsten Wasserstände sind hier den Jahren 1230, 1410 bis 1429 sowie 1786 bis 1797 zugeordnet. Vollständig ausgetrocknet war der See laut dieser Darstellung nur in den Jahren 1865 bis 1871.

Die Abbildung 1.2-17 stellt die Wasserstände des Sees von 1600 bis 1960 dar. Höchstwerte werden hier in den Jahren 1741 bis 1742, 1786, 1797, 1836 und 1941 verzeichnet. Eine Austrocknung wird für die Jahre 1740, 1773, 1811 bis 1813 und 1864 bis 1870 angegeben.

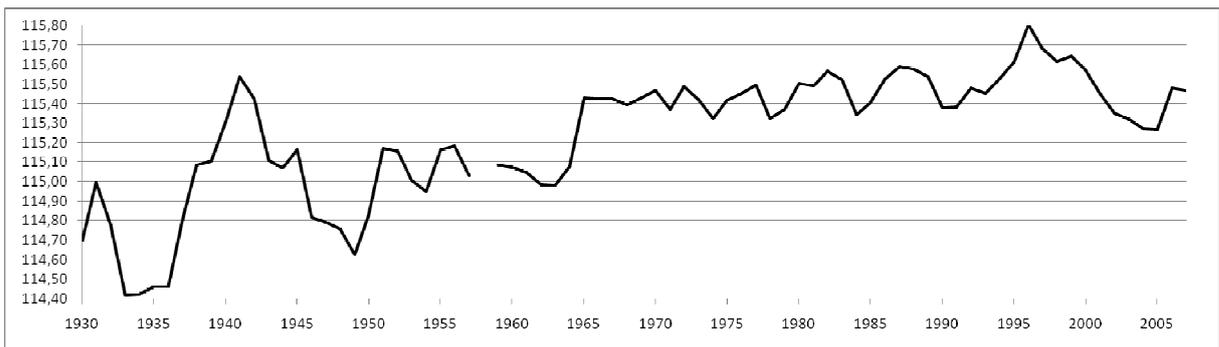


Abbildung 1.2-18: Seespiegeljahresmittelwerte Pegel Neusiedl am See 1930 – 2007 [m ü. A.]
Daten: Hydrographischer Dienst Burgenland

In Abbildung 1.2-18 ist die Periode erfasst, für die bereits gemessene Pegel des Sees zur Verfügung stehen. Gezeigt werden die Seespiegeljahresmittelwerte berechnet aus den täglichen Pegelwerten von Neusiedl am See von 1930 bis 2007. Niedrigwasserstände sind 1933 bis 1936 sowie 1949 und auf höherem Niveau in den Jahren 2004 und 2005 zu erkennen. Hohe Wasserstände sind 1941 und 1996 zu verzeichnen. Der Sprung in der Grafik bei 1965 zeigt das Inkrafttreten der fixen Bedienvorschrift am Einserkanal.

BOROVICZÉNY et al. (1992) fassen die jüngere Geschichte des Neusiedler Sees wie folgt zusammen:

Die älteste gesicherte Aufzeichnung über den See stammt aus 1074 AD. Im Jahr 1096 wird vom „Neuen See“ berichtet, was darauf schließen lässt, dass er vorher viel kleiner, wenn nicht ausgetrocknet war. Ab dem 15. Jahrhundert gibt es Berichte über den Zustand des Sees.

Die erste dokumentierte Seeaustrocknung 1543 bis 1544 ist wahrscheinlich auf Regulierungsarbeiten im Hanság zurückzuführen. Im Jahr 1568 traten wegen der Ableitung der Ikva und Rabnitz in den zum Teil schon entwässerten Hanság niedrige Wasserstände auf. Die Austrocknung von 1738 bis 1740 fällt mit einer Dürreperiode und Regulierungsarbeiten an der Raab und im Hanság zusammen. Der erste durch-

gehende Hanság-Kanal wurde 1775 fertiggestellt und zwischen 1820 und 1835 weiter ausgebaut. In den 1860er-Jahren kam es zur bisher letzten Austrocknung. Eine vollkommene Austrocknung erfolgte meist, wenn Dürreperioden mit einer anthropogenen Begünstigung der Abflussverhältnisse zusammenfielen.

Während des vorletzten Jahrhunderts wurde der Wasserhaushalt des Sees stark beeinflusst – durch die Errichtung von Entwässerungskanälen, den Bau des Einserkanals und die Wulkaregulierung. Das führte zu einer Absenkung des Seespiegels und zu einer Ausbreitung des Schilfgürtels.

Der Einserkanal (Errichtung 1909 bis 1911) sollte ursprünglich weite Teile des Sees trockenlegen und landwirtschaftlich nutzbar machen. Seit 1. Jänner 1965 wird der Wasserstand an der Einserkanalschleuse nach einer fixen Bedienvorschrift reguliert. Sie dient dazu, einen festgelegten Seespiegel sicherzustellen, die Schwankungen zu begrenzen sowie Hochwasserstände abzdämpfen.

Provisorisch seit 1996 und fix seit 11. September 2001 gilt laut KROMP-KOLB et al. (2005) folgende Regelung: Die Schleuse wird im Zeitraum von Oktober bis Februar geöffnet, wenn der Wasserstand höher als 115,60 m ü. A. ist. Für März und September gilt der Schwellwert 115,65 m und für April bis August 115,70 m. Bei Unterschreitung desselben Werts wird die Wehranlage wieder geschlossen. Nach oben hin werden Abweichungen bis zu 5 cm toleriert, bevor die Schleuse geöffnet wird.

Grundlage für die Regelung bildeten laut KROMP-KOLB et al. (2005) folgende Randbedingungen:

- In der Winterperiode hat die Ableitung des Sees, in der Sommerperiode die Regelung der Binnenwasserverhältnisse im Hanság und Seewinkel Priorität.
- In der Winterperiode erfolgt die Seeableitung bis 15 m³/s.
- In der Sommerperiode kann eine Ableitung von im Mittel 4 m³/s gemäß der freien gravitativen Kapazität des Ableitungssystems durchgeführt werden.

Durch diese Schleusenbedienung werden die Seespiegel-Maxima (Pegelstände über den Schwellwerten, zu denen die Wehranlage geöffnet wird) in der Zeitreihe abgeschwächt.

1.2.3.2 Wasserhaushalt des Sees

wenn nicht anders angegeben, nach BOROVIČZÉNY et al. (1992)

Die heutigen Verhältnisse und hydrologischen Randbedingungen des Neusiedler Sees bestehen erst seit 1. Jänner 1965, als mit der Errichtung der neuen Wehranlage in Meksikópuszta die gezielte Regelung der Wasserstände begann. (KROMPKOLB et al. 2005)

Die Wasserhaushaltsgleichung des Sees nimmt nach BOROVIČZÉNY et al. (1992) bei einer Bilanzierung über längere Zeiträume folgende Gestalt an:

$$V_N + V_{ZO} + V_{ZU} = V_V + V_{AO} + V_{AU}$$

V_N	Niederschlag auf die Seefläche
V_{ZO}	oberirdischer Zufluss
V_{ZU}	unterirdischer Zufluss
V_V	Verdunstung von der Seefläche
V_{AO}	oberirdischer Abfluss
V_{AU}	unterirdischer Abfluss

Drei Merkmale der Wasserbilanz des Sees sind die Ursache für dessen labilen Wasserhaushalt:

- Das Einzugsgebiet ist nur knapp dreimal so groß wie die Seefläche selbst.
- 80 bis 90% des Niederschlags im Einzugsgebiet verdunsten wieder.
- Auf der Seefläche ist die Verdunstung im Durchschnitt größer als der Niederschlag (siehe auch Abbildung 1.2-19).

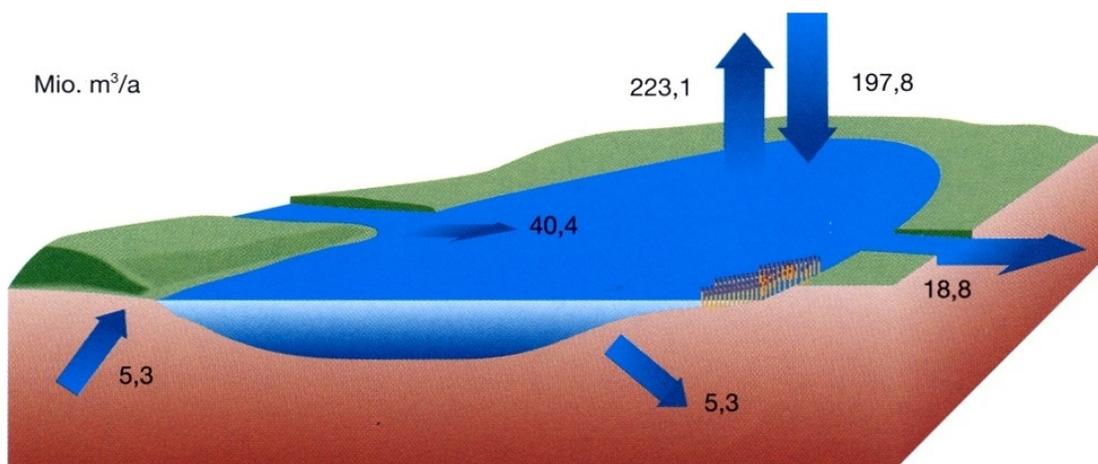


Abbildung 1.2-19: Wasserhaushalt des Neusiedler Sees
aus: Österreichisch-Ungarische Gewässerkommission (1996), Abb. 4

Tabelle 1.2-02: Wasserbilanz Neusiedler See (Mittelwerte 1967 – 1984)
aus: BOROVIČZÉNY et al. (1992), Tab. 5.1

Genauigkeit der Angaben einzelner Komponenten stark unterschiedlich

Komponente	Fracht [Mio. m ³ /a]	Höhe [mm/a]	Anteil [%]	Bemerkung
Niederschlag	183,6	579,2	78,0	
oberirdischer Zufluss	46,7	147,2	20,0	Summe
Wulka	32,4	102,3	13,9	Pegel Schützen
Rákos patak	2,2	7,0	0,9	Pegel
andere	12,1	37,9	5,2	Schätzung
unterirdischer Zufluss	3,7	11,6	< 2,0	Summe
Seewinkel	0,5	1,6	0,2	Maximalschätzung
Ungarn	1,5	4,7	0,6	Maximalschätzung
Wulkatal	0,1	0,3	0,1	Maximalschätzung
Leithagebirge	1,5	4,7	0,6	Maximalschätzung
andere	0,1	0,3	0,1	Maximalschätzung
Summe (+)	234,0	738,0	100,0	
Verdunstung	209,5	660,7	90,0	Restglied
oberirdischer Abfluss	24,5	77,3	10,0	Schleuse
unterirdischer Abfluss	0,0	0,0	0,0	vernachlässigbar
Summe (-)	234,0	738,0	100,0	
Bezugswasserstand: 116,00 m ü. A. Seefläche: 317 km ²				

Von den einzelnen Komponenten sind die oberirdischen Zu- und Abflüsse am besten quantifizierbar. Der Niederschlag auf die Seefläche lässt sich verhältnismäßig schwer bestimmen. Vor der Studie von BOROVIČZÉNY et al. (1992) gab es über die übrigen Unbekannten nur Annahmen.

Niederschlag auf die Seefläche

Da im Umland des Neusiedler Sees zahlreiche Niederschlagsmessstellen existieren, kann der Gebietsniederschlag relativ genau bestimmt werden. Aber die Übertragung dieser Werte auf die freie Seefläche und den Schilfgürtel ist problematisch, da dort andere meteorologische Bedingungen vorherrschen. Geht man von den Umlandstationen aus, beträgt der Gebietsmittelwert für die Seefläche etwa 579 mm pro Jahr, was einer Fracht von ca. 184 Mio. m³ entspricht.

Oberirdischer Zufluss

Der bedeutendste Zufluss des Neusiedler Sees ist die Wulka. Von den übrigen – wesentlich kleineren – oberirdischen Zuflüssen sind noch die Entwässerungskanäle des Seewinkels – v. a. der Golser Kanal erwähnenswert. Die übrigen Kanäle, z. B. der Podersdorfer Kanal, weisen deutlich geringere Durchflüsse auf. Der größte ungarische Zufluss ist der Rákos patak (Kroisbach) mit einem mittleren Durchfluss von etwa 70 l/s (= 2,2 Mio. m³ Jahresfracht). Für die Wulka lässt sich ein mittlerer Zufluss von 1,03 m³ angeben (Pegel Schützen am Gebirge). Für die Summe der oberirdischen Zuflüsse ergibt sich eine Jahresfracht von 46,7 Mio. m³, das entspricht einer jährlichen Hebung des Seespiegels um ca. 147 mm.

Verdunstung von der Seefläche

Die Seeverdunstung lässt sich zwar mit der geringsten Genauigkeit bestimmen, ist aber die größte – negative – Wasserhaushaltskomponente. Hierin liegt das Hauptproblem der Bilanzierung. Die Bestimmung als Restglied aus der Wasserhaushaltsgleichung führt zu einem plausiblen Wert von etwa 661 mm/a. Das entspricht einer jährlichen Fracht von ca. 210 Mio. m³.

Oberirdischer Abfluss

Der einzige oberirdische Abfluss ist der auf ungarischem Staatsgebiet liegende Einserkanal. Auf Grund der Daten des dort 1966 errichteten Messprofils kann für eine grobe Bilanzierung ein mittlerer jährlicher Abfluss von 24,5 Mio. m³ (ca. 0,8 m³/s) angenommen werden.

1.2.3.3 Wasserhaushalt des Untersuchungsgebiets Leithagebirge

nach BOROVIČZÉNY et al. (1992)

Wie im gesamten Einzugsgebiet des Sees ist auch im Untersuchungsgebiet Leithagebirge die Verdunstung die größte negative Wasserhaushaltskomponente. In den höher gelegenen Teilen beträgt sie zwischen 85 und 90% des Jahresniederschlags, im Vorland dürften sich Niederschlag und Verdunstung die Waage halten.

In den großen bewaldeten Bereichen des Leithagebirges dringt ein Teil des Winter-niederschlags in den Untergrund ein, wird dort zurückgehalten und fließt nicht sofort ab. In der Vegetationsperiode verdunstet aber praktisch der gesamte Niederschlag. Die Speicherung der Winterniederschläge erfolgt vermutlich in der Verwitterungsschwarte des anstehenden Kristallins, möglicherweise auch im kristallinen Kluftsystem.

Die mittlere Verweilzeit des eingedrungenen Wassers liegt zwischen sechs Monaten und einem Jahr. Nach dieser Zeit kommt ein eingedrungener Wassertropfen wieder an die Oberfläche und fließt ab. Die hydraulische Reaktionszeit des Systems ist aber viel kürzer. Schon etwa einen Monat nach den Winterniederschlägen kommt es zu einem verstärkten Abfluss in den Gräben, die das Leithagebirge entwässern.

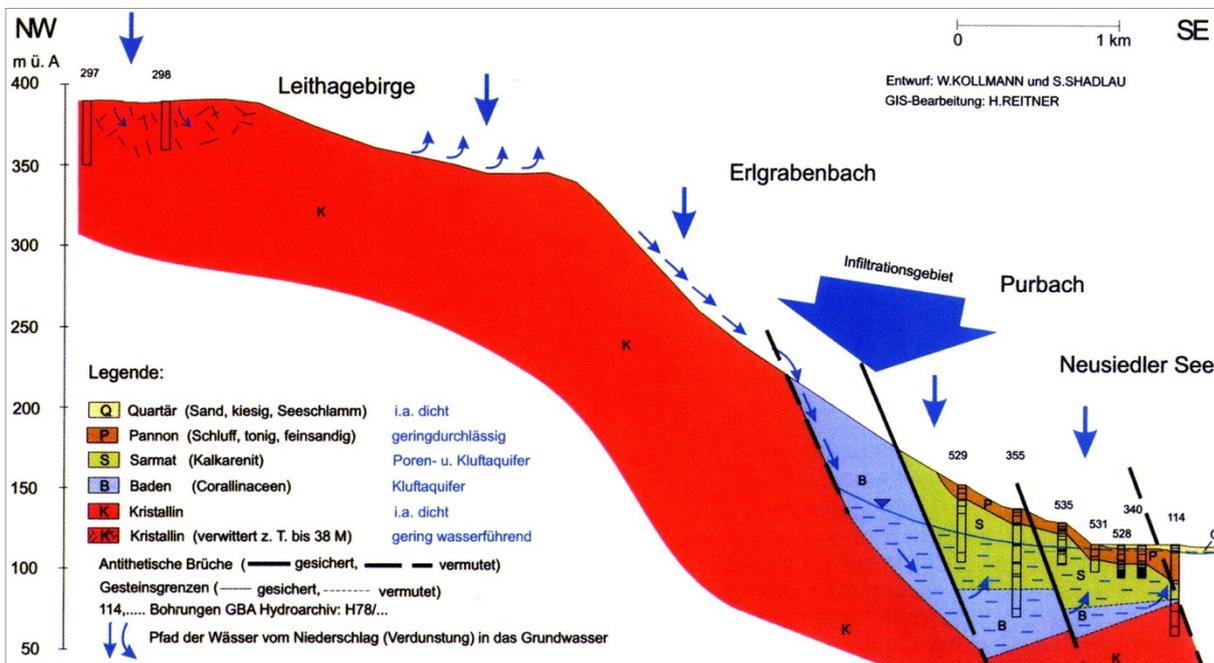


Abbildung 1.2-20: Hydrogeologischer Schnitt Leithagebirge – See bei Purbach aus: Geologische Bundesanstalt (2000), Abb. 43

Die Gräben queren anschließend die Kalkformationen und versickern dort größtenteils wieder, wodurch das Wasser abermals in den Untergrund gelangt. Dieses Wasser ist die Hauptkomponente des unterirdischen Wassers im Vorland des Leithagebirges. Der deutlich kleinere Anteil stammt aus den Niederschlägen jener Bereiche, in denen der Kalk bis an die Geländeoberfläche reicht. Die Grundwässer aus den Kalkschichten werden größtenteils zur Trinkwasserversorgung genutzt. Teilweise gelangen sie auch nach jahrzehntelangen mittleren Verweilzeiten schließlich in der Nähe des Sees durch die überlagerten, geringer durchlässigen Lockersedimente wieder an die Oberfläche (siehe auch Abbildung 1.2-20).

1.3 Klima- und Umweltinformationen aus Jahrringen

1.3.1 DENDROCHRONOLOGIE, DENDROÖKOLOGIE, DENDROKLIMATOLOGIE

Dendrochronologie – Jahrringanalyse

1. (*sensu lato*) Methode, mit der die jährlichen Zuwachsraten von Gehölzen datiert werden können. Aus Jahrringen lassen sich frühere Umweltbedingungen rekonstruieren und Hölzer aus historischen und archäologischen Kontexten datieren.
2. (*sensu stricto*) Sie umfasst alle Teilgebiete, die Hölzer zur Datierung verwenden, z. B. die Dendroarchäologie. Sie ist ... ein Teilgebiet von (1).

KAENNEL und SCHWEINGRUBER (1995), S. 91

Dendroökologie

Sie umfasst alle Teilgebiete, die irgendwelche Umweltinformationen aus den Jahrringabfolgen herauslesen, z. B. im Rahmen der

- Klimatologie (Dendroklimatologie)
- Geomorphologie (Dendrogeomorphologie)
- Tektonik (Dendrotektonik)
- Gletscherkunde (Dendroglaziologie)
- Schneeforschung usw.

SCHWEINGRUBER (1993a), S. 1

Dendroklimatologie

The science of reconstructing past climate by use of tree rings is known as dendroclimatology, which is a branch of the more general discipline of dendrochronology. The prefix dendro is from the Greek word for tree, dendron, and the word chronology is the name of the science that deals with time and the assignment of dates to particular events.

FRITTS (1976), S. 10

1.3.2 AGGREGIERTES BAUMWACHSTUM

Bäume sind Pflanzen, bei denen sekundäres Dickenwachstum auftritt. Sie wachsen also gleichzeitig in die Höhe und in die Breite. Das Dickenwachstum geht dabei von einer zellteilungsfähigen Schicht zwischen Rinde und Holz – dem Kambium – aus. Hier werden während der Vegetationsperiode in Reihen angeordnete Holzzellen gebildet (siehe auch Abbildungen 1.3-01 und 1.3-02). Dabei entstehen zuerst Frühholzzellen und im weiteren Jahresverlauf Spätholzzellen. Geht die Vegetationsperiode zu Ende, schließt der Baum sein Wachstum ab. Zu Beginn der nächsten Wachstumsphase beginnt der Zuwachs wieder mit neuen Frühholzzellen. In jeder Vegetationsperiode wird also normalerweise ein Jahrring gebildet, der bei Nadelholz und bei ringporigen Laubholzarten (siehe z. B. Abbildung 1.3-02) aus klar unterscheidbarem Früh- und Spätholz besteht.



Abbildung 1.3-01: Probe ZebPN16b, Schwarzkiefer (*Pinus nigra*) vergrößert



Abbildung 1.3-02: Probe HwrQS06b, Eiche (*Quercus spp.*) vergrößert

Abbildung 1.3-01 zeigt 26 Jahrringe einer Schwarzkiefer des Standortes Zeilerberg (siehe Kapitel 2.1). Im Prinzip sehen Jahrringe aller Nadelbäume ähnlich aus. Rechts von diesem Ausschnitt liegt das Mark (das Zentrum des Baums), links das Kambium und die Borke. Man sieht hier Frühholz- und Spätholzbereiche (helle und dunkle „Streifen“) und deren unterschiedliche Ausprägungen in verschiedenen Jahren. Bei den „Punkten“ handelt es sich um Harzkanäle.

Abbildung 1.3-02 zeigt 11 Jahrringe einer Eiche (einer ringporigen Laubbaumart) vom Standort Hinterwaldriegel (siehe Kapitel 2.1). Rechts von diesem Ausschnitt befindet sich das Mark, links die Rinde. Das Frühholz besteht aus relativ großen Gefäßen – in der Abbildung als „Löcher“ sichtbar. Das Spätholz weist die für die Eiche typische Flammenzeichnung auf.

Wie schon aus den Abbildungen 1.3-01 und 1.3-02 hervorgeht, ist der Zuwachs eines Baumes nicht jedes Jahr gleich, weil er von mehreren zusammenwirkenden äußeren Faktoren abhängt. Diese lassen sich an Hand des Modells des aggregierten Baumwachstums nach COOK (1990) darstellen:

$$R_t = A_t + C_t (+ C_{t-1}) + D1_t + D2_t + E_t$$

R_t Jahrring- bzw. Früh- oder Spätholzbreite im Jahr t

A_t Alterstrend

Der Zuwachs eines Baumes nimmt mit dem Alter ab. Die Jahrringe werden unabhängig von anderen Faktoren schmaler, je älter der Baum ist. Das hängt nicht zuletzt damit zusammen, dass der Umfang des Baumes von Jahr zu Jahr zunimmt und für dieselbe Ringbreite mehr Zellen produziert werden müssen, je älter das Individuum ist.

C_t Klima im Jahr t

Diese Komponente der Gleichung enthält eigentlich selbst wieder mehrere Variablen, die auf das Baumwachstum wirken – Niederschlag, Strahlung, Temperatur, Wind etc. Je näher diese am individuellen Optimum des Baumes liegen, desto breiter wird der Jahrring.

C_{t-1} Klima im Jahr t-1

Auch das Klima des vergangenen Jahres hat Einfluss auf den Zuwachs. Der Baum speichert Reservestoffe aus dem Vorjahr. Je besser die Bedingungen des Vorjahres gewesen sind, desto mehr Reservestoffe können gebildet werden. Das Klima des Vorjahres wirkt sich daher v. a. auf das Frühholz des nächsten Jahres aus.

$D1_t$ Störungsprozess durch den Standort

Störungsprozesse können vielfältig sein. Hier kann alles eingerechnet werden, was sich (negativ) auf das Jahrringwachstum auswirkt. Eine typische standortbedingte Störung ist Konkurrenz: Wenn der Baum sich den Platz, das Licht und die Nährstoffe mit vielen anderen Individuen teilen muss, wird sein Zuwachs dadurch begrenzt.

$D2_t$ Störungsprozess von außerhalb

Störungen von außerhalb sind ebenso vielfältig. Ein Beispiel sind Immissionsbelastungen – z. B. bei Bäumen an der Autobahn.

E_t Fehler bzw. Anteil, der durch die anderen Faktoren nicht bestimmt ist

In der Gleichung nicht enthalten sind Nährstoffversorgung und Extremereignisse. Die Nährstoffversorgung fehlt, weil sie in erster Linie von den Bodenverhältnissen abhängt. Da sich diese generell nur langsam ändern – nicht von Jahr zu Jahr, werden sie nicht berücksichtigt. Aber es macht natürlich einen Unterschied, ob ein Baum auf schlechtem oder gutem Boden wächst – im Vergleich wird der Baum auf dem besseren Boden vermutlich breitere Jahrringe haben als jener auf schlechtem, die jährlichen Schwankungen werden aber qualitativ bei beiden ähnlich sein. Eine Ausnahme bildet hier starke Erosion. Diese kann einem Baum sehr zusetzen, was sich auch in den Jahrringen widerspiegelt. Erosion in einem solchen Ausmaß kann man aber bereits zu den Extremereignissen zählen. Hierzu gehören weiters z. B. Waldbrände, Steinschlag, Überschwemmungen, Lawinen usw.

1.3.3 PRINZIPIEN DER DENDROCHRONOLOGIE

nach FRITTS (1976)

1.3.3.1 Das Uniformitätsprinzip

The Uniformitarian Principle

Das Uniformitätsprinzip besagt, dass die Beziehungen zwischen Umweltfaktoren und Baumwachstum zeitlich konstant sind. In der Vergangenheit haben dieselben Faktoren zu breiten oder schmalen Jahrringen geführt wie heute. Ein Beispiel: Wassermangel führt immer zu einem geringeren Zuwachs – nicht einmal zu einer kleineren und einmal zu einer größeren Jahrringbreite.

Diese Annahme ist die Grundlage für Paläoklimarekonstruktionen auf Basis von Jahrringdaten. Würde sich die Reaktion des Baumes auf das Klima ändern, könnte man keine Aussage über die Vergangenheit machen, indem man Jahrringe auswertet. Von dieser „Unsicherheit“ sind aber nicht nur Jahrringe betroffen, sondern alle Proxies, mit denen Klimarekonstruktionen gemacht werden.

1.3.3.2 Das Prinzip des limitierenden Faktors

The Principle of Limiting Factors

Wie bereits erwähnt, ist das Baumwachstum von verschiedensten – nicht nur klimatischen – Faktoren abhängig. Der limitierende Faktor ist jener, der für die Breite eines Jahrrings ausschlaggebend ist. Ist etwa in einem Jahr die Wasserversorgung op-

timal, die Temperatur aber zu niedrig, wird der Jahrring trotzdem schmal ausfallen – die Temperatur ist der limitierende Faktor. Der limitierende Faktor muss aber auch nicht immer derselbe sein: Im Frühling kann ein Baum z. B. erst mit seiner Zellproduktion beginnen, wenn es warm genug ist. Im Sommer hat er vielleicht zu wenig Wasser zur Verfügung. Im Herbst kann es sein, dass ihm Frost zu schaffen macht usw. Der limitierende Faktor ändert sich allerdings nicht nur mit den Jahreszeiten. Wenn ein Baum beispielsweise im Schatten eines anderen steht, kann Licht der limitierende Faktor sein. Wird der Nachbar nun gefällt oder stirbt ab, fällt die zu geringe Strahlung als limitierender Faktor aus und ein anderer tritt an seine Stelle.

1.3.3.3 Das Konzept der ökologischen Amplitude

The Concept of Ecological Amplitude

Jede Baumart hat ihre spezifische ökologische Amplitude – ein Set von Umweltfaktoren, die in einem gewissen Toleranzbereich liegen müssen, damit die Spezies gedeihen kann. Daraus ergibt sich die potenziell mögliche geographische Verbreitung einer Art.

Für die Dendroklimatologie sind Bäume am Rand der ökologischen Amplitude, also an Standorten, an denen sie gerade noch überleben können, oft am besten geeignet, denn an den Grenzen der horizontalen und vertikalen Ausbreitung ist die Reaktion auf Umweltfaktoren am größten. Das bedeutet, dass z. B. für eine Niederschlags- oder Wasserbilanzrekonstruktion ein Baum an einem trockenen Standort gut geeignet ist, weil er oft mit Wassermangel zu kämpfen hat und daher trockene und feuchte Jahre gut aus den Jahrringen abzulesen sind. Würde derselbe Baum am Rand eines Moores, am Ufer eines Gewässers oder mit den Wurzeln im Grundwasser stehen, wäre er für so eine Fragestellung eher ungeeignet, weil er unabhängig vom Niederschlag wahrscheinlich immer mit Wasser versorgt ist.

1.3.3.4 Standortauswahl

Site Selection

Das Prinzip der richtigen Standortauswahl ist eine logische Folge aus dem bisher Gesagten: Man wählt in der Dendroklimatologie den Standort aus, an welchem jener Faktor limitierend ist, der einen interessiert – für Niederschlagsrekonstruktionen wählt man am besten Trockenstandorte, für Temperaturrekonstruktionen möglichst solche am Rand des Verbreitungsgebiets einer Art (z. B. an der Waldgrenze im Gebirge).

Ein und dieselbe Baumart kann an verschiedenen Standorten unterschiedlichen limitierenden Faktoren ausgesetzt und daher für die Rekonstruktion verschiedener Klimaelemente herangezogen werden – siehe z. B. Di FILIPPO et al. (2007).

1.3.3.5 Sensitivität

Sensitivity

Bei Betrachtung einer geschliffenen Holzprobe erschließt sich eigentlich sofort rein optisch der Begriff der Sensitivität: sind alle Jahrringe der Probe mehr oder weniger gleich breit oder werden kontinuierlich mit zunehmendem Alter des Baumes schmaler, ist das betreffende Baumindividuum nicht besonders sensitiv. Variiert die Breite der Jahrringe jedoch stark von Jahr zu Jahr, spricht man von einer hohen Sensitivität (siehe auch Abbildung 1.3-03).

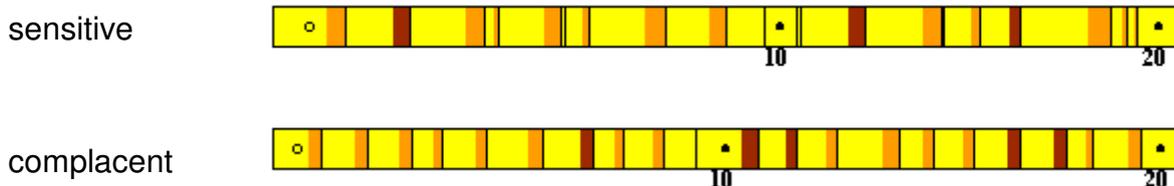


Abbildung 1.3-03: Schematische Darstellung von Bohrkernen eines sehr sensitiven (sensitive) und eines kaum sensitiven (complacent) Baumes
<http://www.ltrr.arizona.edu/skeletonplot/sensitivitycomplacency.htm>, 5. Mai 2008

Sensitivität beschreibt das Maß, in dem ein Baum auf Veränderungen seiner Umwelt reagiert. Sie kann mathematisch auch als mean sensitivity m_s beschrieben werden (FRITTS 1976).

$$m_s = \frac{1}{n-1} \sum_{t=1}^{n-1} \left| \frac{2(x_{t+1} - x_t)}{x_{t+1} + x_t} \right|$$

- x Jahrringbreite
- t zugehöriges Jahr
- n Anzahl der Jahrringe

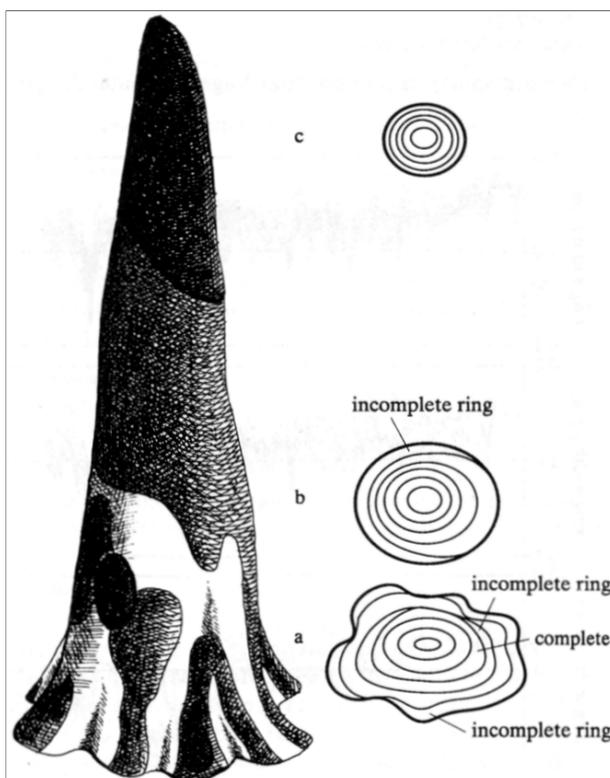
Sie kann Werte zwischen 0 und 2 annehmen. Ein Wert von 0 heißt, dass kein Unterschied zwischen zwei aufeinander folgenden Jahrringen besteht, ein theoretischer Wert von 2 würde bedeuten, dass einer der beiden Jahrringe die Breite 0 hat.

Dendroklimatologisch interessant sind natürlich Bäume, die eine hohe Sensitivität aufweisen. Abhängig ist sie zum Einen von der Baumart – manche Arten sind sensitiver als andere (SCHWEINGRUBER 1996) – und zum Anderen von den Standortbedingungen: Ein Baum an einem optimalen Standort kann keine Sensitivität zeigen, da er nicht mit Mangelerscheinungen konfrontiert ist.

1.3.3.6 Crossdating

Wenn ein lebender Baum beprobt wird, ist im Normalfall das Jahr des äußersten Rings bekannt. Prinzipiell kann man dann einfach alle Jahrringe nach innen bis zum Mark zählen und weiß nun nicht nur, wie alt der Baum ist, sondern kann auch jedem Ring ein Kalenderjahr zuordnen. Allerdings kann das nicht an Hand einer oder nur weniger Proben durchgeführt werden. Der Grund dafür sind fehlende und falsche Jahrringe.

Fehlender Jahrring



Ein Baum bildet nicht zwingend jedes Jahr über seinen gesamten Stammumfang und seine gesamte Höhe einen Jahrring aus – siehe auch Abb. 1.3-04. Wenn die Bedingungen eines Jahres sehr schlecht sind, kann es sein, dass das Baumindividuum an der Stelle, an welcher die Probe entnommen worden ist, keinen Zuwachs hat (SCHWEINGRUBER 1996). In diesen Fällen ist es möglich, dass am Bohrkern ein Jahrring fehlt, was aber naturgemäß nicht sofort auffällt.

Abbildung 1.3-04: Ursache fehlender Jahrringe aus: KAENNEL und SCHWEINGRUBER (1995), Seite 233

Falscher Jahrring

Falsche Jahrringe sind eigentlich Dichteschwankungen im Holz (siehe Abb. 1.3-05). Sie treten auf, wenn der Baum während der Vegetationsperiode z. B. großer oder länger andauernder Trockenheit ausgesetzt ist. Der Baum fängt an, auf Spätholz-bildung umzustellen. Wird es später wieder feuchter, kann es sein, dass erneut Frühholzzellen bzw. Zellen geringerer Dichte gebildet werden – in ein und demselben Jahr gibt es also nun zwei vermeintliche Jahrringe und auf dem Bohrkern befindet sich sozusagen ein Jahrring zu viel. Dichteschwankungen können normalerweise an ihrer – im Vergleich zu einer echten Jahrringgrenze – relativ unscharfen Abgrenzung identifiziert werden. Manchmal sind sie aber mit freiem Auge oder auch unter dem Mikroskop nicht eindeutig erkennbar.



Abbildung 1.3-05:
Dichteschwankungen Probe
PuzPN03a, vergrößert
echte Jahrringgrenzen mit
weißen Linien markiert

Um fehlende und falsche Jahrringe aufzuspüren, die eine Datierung – die Zuordnung eines Rings zu genau einem Kalenderjahr – verfälschen würden, wird die Methode des Crossdatings angewandt:

Hierzu nimmt man einerseits von jedem Individuum mehr als einen Bohrkern oder führt auf einer Stammscheibe mehrere Messungen in unterschiedliche Richtungen durch. Andererseits beprobt man pro Standort zumindest 15 bis 20 Bäume, um das Risiko, dass alle Individuen denselben fehlenden oder falschen Jahrring aufweisen, zu minimieren. Hat man die Jahrringe aller genommenen Proben gemessen, können die Werte in Form von Kurven dargestellt werden.

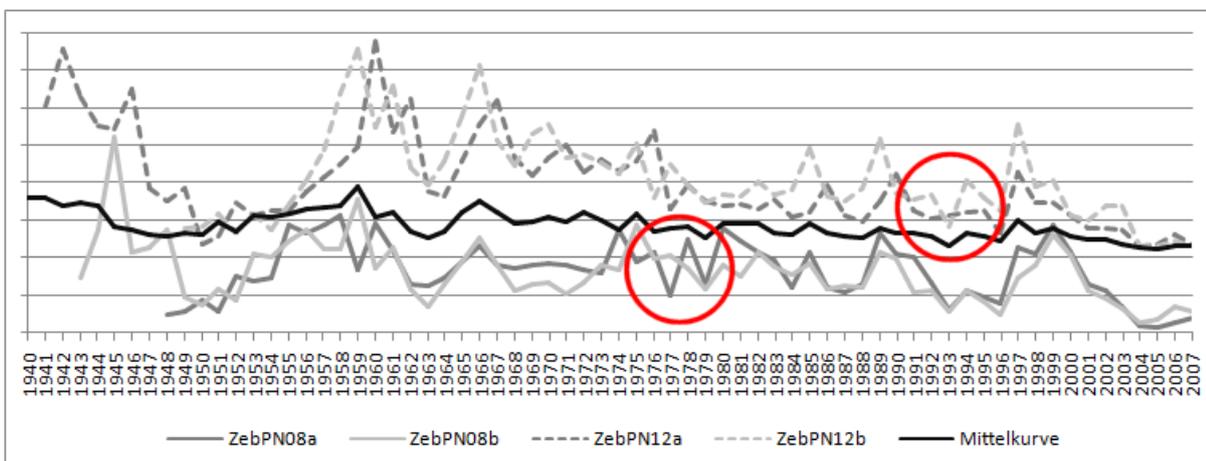


Abbildung 1.3-06: Fiktiver falscher und fehlender Jahrring bei Proben des Standorts Zeilerberg

In Abbildung 1.3-06 sind zwei Proben des Standorts Zeilerberg (Zeb) sowie die Mittelkurve (= Mittelwert) aller Proben des Standorts abgebildet. Weil die Probenahme im Frühjahr 2008 stattfand, wurde der äußerste Jahrring provisorisch auf 2007 festgelegt. Vergleicht man die Proben 08a und 08b sowie 12a und 12b, sieht man, dass sie nicht gut zusammenpassen. Beim Vergleich mit der Mittelkurve stellt sich heraus, dass die Proben 08b und 12b in Ordnung sind. Ihr Verlauf entspricht weitgehend jenem der Mittelkurve. Bei Probe 08a befindet sich im Jahr 1977 ein falscher Jahrring (der hier zu Demonstrationszwecken vorsätzlich eingefügt wurde), bei Probe 12a scheint im Jahr 1993 ein Jahrring zu fehlen (wurde ebenfalls zur Veranschaulichung des Prinzips gelöscht).

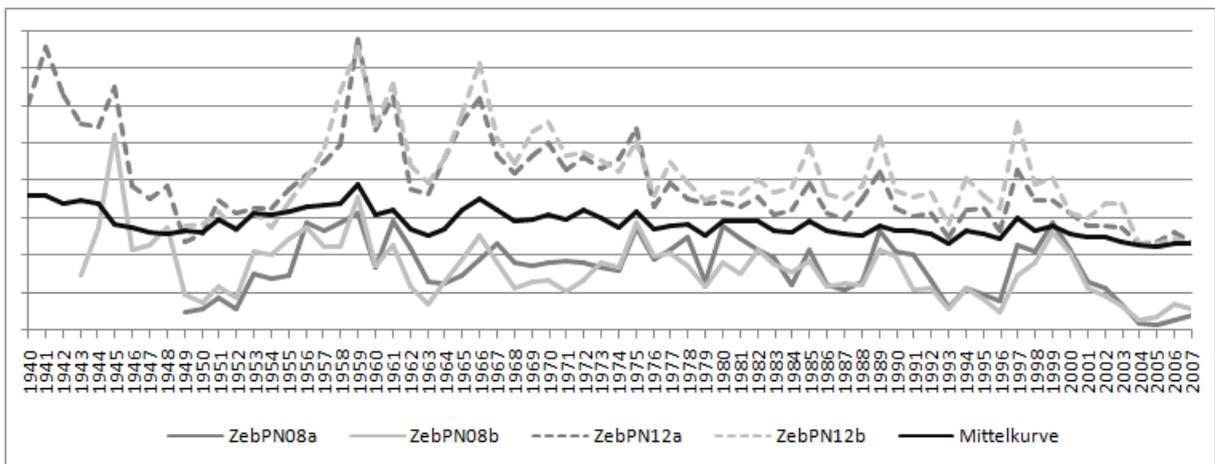


Abbildung 1.3-07: „Fehlerkorrektur“ bei Proben des Standorts Zeilerberg durch Crossdating

Durch das Löschen des falschen und das Einfügen des fehlenden Jahrrings sowie durch entsprechendes Verschieben der Proben auf der Zeitachse findet man die richtigen Positionen – siehe Abbildung 1.3-07. Das sind jene, an denen die Jahrringkurven der einzelnen Bäume untereinander sowie im Vergleich zur Mittelkurve die höchste Gleichläufigkeit (siehe Kapitel 2.2.2) aufweisen (am besten zusammenpassen). Crossdating kann rein visuell an den Bohrkernen selbst, an den Kurvenverläufen sowie unterstützt durch Software und Statistik durchgeführt werden. In der Praxis werden mehrere dieser Methoden kombiniert.

Die Methode des Crossdatings gilt als wichtigstes dendrochronologisches oder dendroklimatologisches Prinzip. Mit ihrer Hilfe können nicht nur fehlende oder falsche Jahrringe aufgespürt werden, sie dient auch der Datierung (Feststellung des Datums des äußersten Jahrrings einer Probe) bzw. der Zuordnung von genau einem Kalenderjahr zu genau einem Jahrring.

Crossdating wird auch zum Aufbau von Standardchronologien verwendet. Der Anfangspunkt so einer Chronologie in der Gegenwart sind Proben lebender Bäume. Damit ist das Jahr des äußersten Rings der Chronologie bekannt. Will man die

Chronologie in die Vergangenheit verlängern, kann man auf verbautes Holz derselben Art zurückgreifen. Man nimmt Proben von Bauwerken, die man zeitlich einordnen kann, und misst wieder die Jahrringe. Überlappen die Kurve des Bauholzes und jene der rezenten Proben (lebende Bäume) um mindestens 30 Jahre und kann man sie crossdaten, ist das Bauholz datiert und man kann damit die Chronologie verlängern. Will man noch weiter in die Vergangenheit zurück, kann man versuchen, subfossiles oder fossiles Holz zu finden und dieses zu datieren.

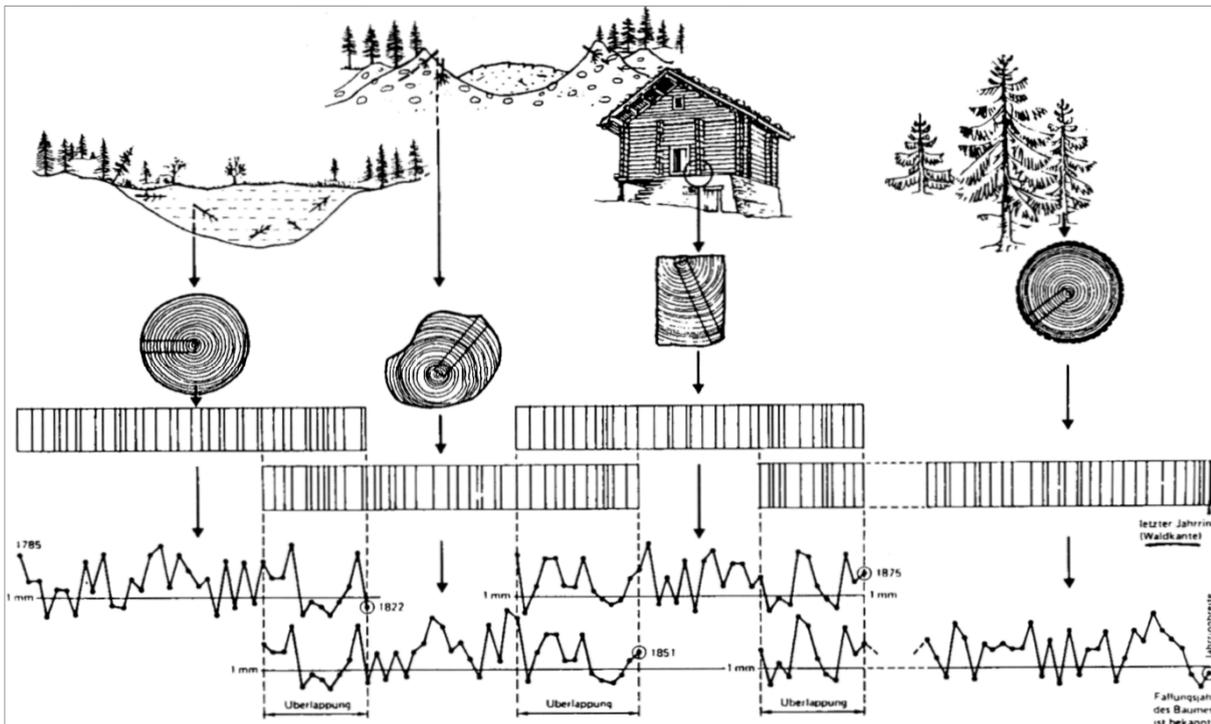


Abbildung 1.3-08: Prinzip des Crossdatings
aus: CHERUBINI et al. (2004), Abb. 2

1.3.3.7 Wiederholung Repetition

Die in Kapitel 1.3.3.6 beschriebene Vorgangsweise des Crossdatings kann nicht an Hand einer oder einiger weniger Proben durchgeführt werden. Um sich der Zuordnung eines Kalenderjahres zu einem Jahrring sicher zu sein, ist eine gewisse Mindestanzahl von Proben erforderlich. Diese ist allerdings nicht allgemeingültig festzulegen, sondern von der Ähnlichkeit der beprobten Individuen abhängig. Je geringer die individuellen Unterschiede zwischen den Bäumen sind, desto weniger Proben sind notwendig.

1.3.4 STANDARDISIERUNG – INDEXIERUNG – DETRENDING

Dendroklimatologische Untersuchungen analysieren Zusammenhänge zwischen Klima und Baumwachstum. Die anderen Terme in der Gleichung des aggregierten Baumwachstums (Kapitel 1.3.2) stören bzw. überlagern diesen Zusammenhang und sollten daher möglichst minimiert werden. Das geschieht einerseits dadurch, dass die Prinzipien der Dendrochronologie (siehe Kapitel 1.3.3) eingehalten werden und andererseits durch rechnerische Verfahren.

Das wichtigste dieser Verfahren ist die Standardisierung = Indexierung = Detrending, die ausnahmslos in jedem Fall angewandt werden muss, wenn aus Jahrringen Klima- oder Umweltinformationen gewonnen werden sollen, um den Alterstrend auszuschalten.

Wie schon erwähnt, beeinflusst das Alter eines Baumindividuums zu einem gewissen Grad die Jahrringbreite. Will man aus Einzelmessungen eine Chronologie erstellen, gilt es, diesen Trend zu eliminieren, weil er das in der Chronologie enthaltene Klimasignal verfälscht. Das Prinzip des Standardisierens oder Indexierens besteht darin, der Kurve der Messwerte eine Glättungsfunktion anzupassen, welche den Alterstrend „löschen“, aber die Klimasignale weitgehend erhalten soll. Die Indexierung hat zudem den Zweck, alle Jahrringkurven auf den Mittelwert 1 zu normieren, damit langsamer und schneller wachsende Individuen in gleichem Maß gewichtet werden. Ohne Standardisierung würde die Varianz der Chronologie von den schnell wachsenden Bäumen dominiert werden.

Als Glättungsfunktion kommen viele Varianten in Frage: Geraden, Exponentialfunktionen, gleitende Mittel etc. Alle haben ihre Vor- und Nachteile. Die Auswahl hängt von der Fragestellung und vom zu erhaltenden Signal ab. Hat man sich für eine Variante entschieden, indexiert man nach dem unten beschriebenen Prinzip (SCHWEINGRUBER 1983):

$$I = R / G \text{ oder } I = R - G$$

I Indexwert
R Messwert
G Glättungswert

Jeder Messwert wird durch seinen durch die Glättungskurve definierten Glättungswert dividiert oder der Glättungswert wird vom Messwert subtrahiert. Die so neu entstehende Jahrringkurve wird nun als standardisierte Jahrringchronologie, die neuen Werte als Jahrringindizes bezeichnet (FRITTS 1976).

1.3.5 MÖGLICHKEITEN UND GRENZEN DER DENDROKLIMATOLOGIE

wenn nicht anders angegeben, nach HUGHES (2002)

Trees were not designed as climate recorders, and so it is not surprising that they are imperfect recorders of climate, as are all natural archives. On the other hand ... they can sometimes do as well as data from neighboring meteorological stations.

HUGHES (2002), S. 102

Im folgenden Kapitel wird in einem kurzen Abriss dargestellt, welche Stärken und Schwächen Jahrringe als natürliche Archive klimatischer Variabilität aufweisen.

1.3.5.1 Stärken

Die größte Stärke der Dendroklimatologie ist die Zuweisung von genau einem Kalenderjahr zu jedem Jahrring, weil falsche und fehlende Jahrringe durch Cross-dating (siehe Kapitel 1.3.3.6) aufgespürt und korrigiert werden können. Man kann also sicher sein, Klima- und Jahrringdaten desselben Jahres zu vergleichen. Diese Stärke kann auch dazu genutzt werden, Jahrringchronologien als zeitliches Gerüst für andere Proxies zu verwenden, die gewisse Klimasignale besser aufzeichnen, aber nicht so genau datierbar sind.

Klimainformationen sind nicht nur in den Jahrringen an sich enthalten. Man kann z. B. Gletscherschwankungen mit Hilfe von Jahrringen von Bäumen datieren, die im Gletschervorfeld wachsen und bei Vorstößen überfahren wurden oder das vom Gletscher freigegebene Feld bei dessen Rückzug neu besiedeln (z. B. NICOLUSSI und PATZELT 2000). Auch die Verschiebung der Waldgrenze im Gebirge und in den nördlichen Breiten kann mit Hilfe von Jahrringen datiert werden (z. B. NICOLUSSI et al. 2005). FOWLER (2008) und FOWLER et al. (2008) haben Jahrringe von Kauri (*Agathis australis*) als ENSO-Proxy angewandt. Es gibt zahlreiche Möglichkeiten, Jahrringe für die Klimatologie zu verwenden. Sie sind keineswegs auf Temperatur- und Niederschlagsrekonstruktionen beschränkt.

Lebende Bäume sind zum Teil wesentlich älter als instrumentelle Klimaaufzeichnungen – die ältesten bekannten Individuen sind Bristlecone Pines (*Pinus longaeva*), die über 5.000 Jahre alt sind. Wenn man Jahrringdaten mit den vor-

handenen Klimadaten korreliert und diese Korrelation auch auf den Zeitraum anwendet, für den keine Aufzeichnungen mehr vorhanden sind, bekommt man jahrgenau aufgelöste Klimainformationen. Mit Hilfe von Jahrringchronologien, die zusätzlich verbautes und subfossiles Holz beinhalten, kann man Aussagen über einen noch wesentlich längeren Zeitraum machen.

Die Klima-Wachstums-Beziehungen sind nicht ausschließlich auf die Vegetationsperiode beschränkt. Aussagen über das Klima jener Jahreszeit, welche das Wachstum am meisten beeinflusst, sind möglich. In Trockengebieten kann die Jahrringbreite auch vom Winterniederschlag abhängig sein, weil dieser sich auf die Bodenfeuchteverhältnisse in der folgenden Wachstumsphase auswirkt. Durch die Wahl geeigneter Standorte können Aussagen über das Klima, die über die Vegetationsperiode hinausgehen, gemacht werden (z. B. YIN et al. 2008). In vielen Fällen ist die Linearität der Klima-Wachstums-Beziehungen eine Folge der richtigen Standortwahl.

Ein weiterer Vorteil ist die weite geographische Verbreitung von verholzten Pflanzen, die Jahrringe produzieren. Denn Bäume wachsen auch dort, wo es keine instrumentellen Klimaaufzeichnungen gibt und wo diese fehleranfällig oder schwierig sind – beispielsweise im Hochgebirge und in den hohen Breiten.

Nicht nur die Jahrringbreite enthält klimatische Informationen. Auch Frühholz- und Spätholzbreite, Dichte, Zellwanddicke und andere physikalische und chemische Holzmerkmale werden von klimatischen Faktoren beeinflusst und können als Proxies verwendet werden. Bäume sind also für sich bereits Multi-Proxy-Archive.

1.3.5.2 Schwächen

Die bedeutendste Schwäche von Jahrringen als Klimaarchiv ist, dass sie selten mehr als 60% der Variabilität einer Variable erklären können. Aber andere Proxies mit jährlicher Auflösung wie Eisbohrkerne oder Korallen sind laut HUGHES (2002) hier normalerweise noch schlechter.

Das Baumwachstum reagiert nicht ausschließlich auf eine Variable und auch nicht gleichmäßig auf das ganze Jahr. Meist sind die Zusammenhänge nur in einigen Monaten des Jahres statistisch signifikant. Zudem überlagern möglicherweise Alterstrend und Standortverhältnisse das klimatische Signal. Eine Standardisierung ist daher unumgänglich, wodurch aber vielleicht auch Information verloren geht.

Jahrringe zeichnen Überschüsse schlechter auf als Mängel, weil die klimatische Kontrolle des Baumwachstums über den limitierenden Faktor funktioniert.

Wie allen Proxies liegt auch den Klimarekonstruktionen durch Jahrringe das Uniformitätsprinzip zu Grunde. Dieses ist allerdings lediglich eine Annahme und es gibt durchaus Hinweise darauf, dass dieses Prinzip nicht uneingeschränkt gilt. (z. B. BRIFFA 1998).

Ein weiteres Problem bei Jahrringen als Klima-Proxy ist laut HUGHES (2002), dass Bäume keine Variabilität aufzeichnen können, deren Periodizität größer ist als die Lebensdauer des Baumes selbst.

Nicht zuletzt sind der Dendroklimatologie zeitliche und räumliche Grenzen gesetzt. Zeitlich beschränken sich dendroklimatologische Untersuchungen auf Perioden, aus denen datierbares Holz vorhanden ist. Räumlich ist sie auf die Gebiete beschränkt, in denen Bäume gedeihen können und es eine klar abgegrenzte jährliche Vegetationsperiode gibt.

1.3.6 DENDROKLIMATOLOGISCHE RELEVANZ VON SCHWARZKIEFER UND EICHE

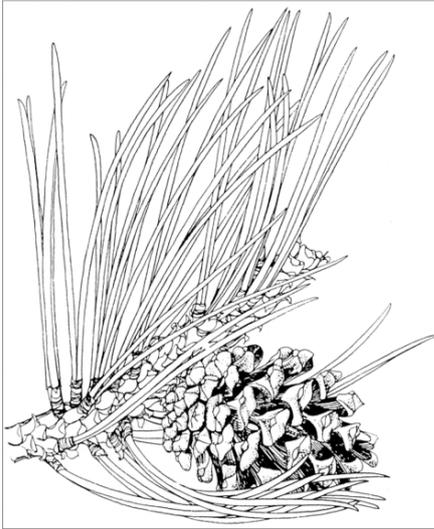
wenn nicht anders angegeben, nach SCHWEINGRUBER (1993b)

Nachstehend werden die Baumarten Schwarzkiefer sowie Stiel- und Traubeneiche, die für die weitere Untersuchung verwendet wurden, kurz charakterisiert.

1.3.6.1 Schwarzkiefer

Pinus nigra Arnold

Für die Dendrochronologie ist die Schwarzkiefer sehr gut geeignet, weil ihre Jahrringe gut unterscheidbar sind und sie an der unteren Verbreitungsgrenze oft von Trockenheit beeinflusst wird. Ein weiterer Vorteil ist die Langlebigkeit der Art. Im Wienerwald kann man 600 Jahre alte, im Piestingtal bis zu 830 Jahre alte Exemplare finden. Die österreichische Schwarzkiefer ist Gegenstand mehrerer dendroklimatologischer Analysen– z. B. STRUMIA, WIMMER und GRABNER (1997).



Laut SCHWEINGRUBER (1993b) braucht eine Schwarzkiefer mehr als 700 mm Jahresniederschlag und toleriert bis zu 1.800 mm. Die Jahresmitteltemperatur sollte nicht unter 7,5°C fallen. *Pinus nigra* reagiert generell nicht empfindlich auf versauerten Boden und wächst sowohl auf kalkhaltigem als auch auf silikatischem Untergrund. *Pinus nigra* var. *nigra* kommt ausschließlich in Ostösterreich – v. a. im Gebiet zwischen Baden und der Buckligen Welt sowie in Kärnten – vor.

Abbildung 1.3-09: *Pinus nigra* Arnold
aus: SCHWEINGRUBER (1993b), Fig. 210

Auf optimalen Standorten wird dieser Baum 30 m hoch und hat eine breite, flache Krone. Auf Trockenstandorten und windigen Gipfeln werden die Bäume stämmig.

1.3.6.2 Traubeneiche und Stieleiche

Quercus robur und *Quercus petraea*

Das Holz dieser beiden Baumarten kann auf Grund ihrer Anatomie nicht unterschieden werden. Es zeigt eine ringporige Struktur mit großen Frühholzgefäßen und der typischen Flammenzeichnung im Spätholz.

Die Traubeneiche *Quercus robur* wird etwa 30 m hoch, hat eine breite Krone sowie dicke, horizontal ausgerichtete Äste und ein starkes, tiefes Wurzelsystem. Der Baum toleriert viele unterschiedliche Klimate. Er ist daher auch in ganz Mitteleuropa verbreitet – von 40 bis 60° nördlicher Breite, von Irland bis zum Ural. Am besten gedeiht er auf tiefgründigen, nährstoffreichen, gut durchlüfteten Böden. Optimale Bedingungen findet er in Frankreich, entlang des Rheins und an der Donau.

Die Stieleiche *Quercus petraea* ähnelt der Traubeneiche *Quercus robur* auch äußerlich stark. Ihre Krone ist allerdings oft schmaler und regelmäßiger. Im Gelände können die beiden Baumarten am einfachsten an Hand von Blättern und Früchten unterschieden werden.

Quercus petraea reagiert sensibel auf Spätfrost und mag warme Sommer. Sie bevorzugt lockere Böden und braucht weniger Wasser als die Traubeneiche.

Die Verbreitung ist begrenzt auf klimatisch eher ozeanisch geprägte Gebiete Europas. Sie kommt im Osten nur bis Weißrussland und in die Ukraine vor.

Auf trockenen Standorten können diese Eichen über 1.000 Jahre alt werden. Auf Standorten mit guter Wasser- und Nährstoffversorgung sind sie bei einem Durchmesser von 1,5 m allerdings kaum 200 Jahre alt. Ihre optimalen Standorte findet *Quercus petraea* auf Mittelgebirgsstandorten in Deutschland, Transsylvanien, Ungarn und Rumänien.



Abbildung 1.3-10: *Quercus petraea*
aus: SCHWEINGRUBER (1993b), Fig. 286

Die Eiche ist die klassische Baumart für die Dendrochronologie in Mitteleuropa. Es gibt sehr lange Chronologien. Ihre Klimasensitivität wird u. a. von SCHAUPMANN (2008) beschrieben. Mit Eichenchronologien wurde von KERN, GRYNÆUS und MORGÓS (2009) eine Niederschlagsrekonstruktion im Gebiet des Plattensees in Ungarn bis ins Jahr 1746 zurück durchgeführt. Außerdem haben KERN et al. (2009) mit denselben Daten die Wasserstandsschwankungen des Sees selbst rekonstruiert.

2. MATERIAL UND METHODEN

Im folgenden Kapitel werden jene vielfältigen Materialien und Methoden beschrieben, die im Rahmen der vorliegenden Untersuchung zur Beantwortung der in Kapitel 1.1 aufgeworfenen Fragen herangezogen worden sind.

Die bereits in Kapitel 1.1 umrissene Vorgangsweise bei der Untersuchung ist in Abbildung 2-01 grafisch dargestellt. Details dazu liefern die nachfolgenden Seiten.

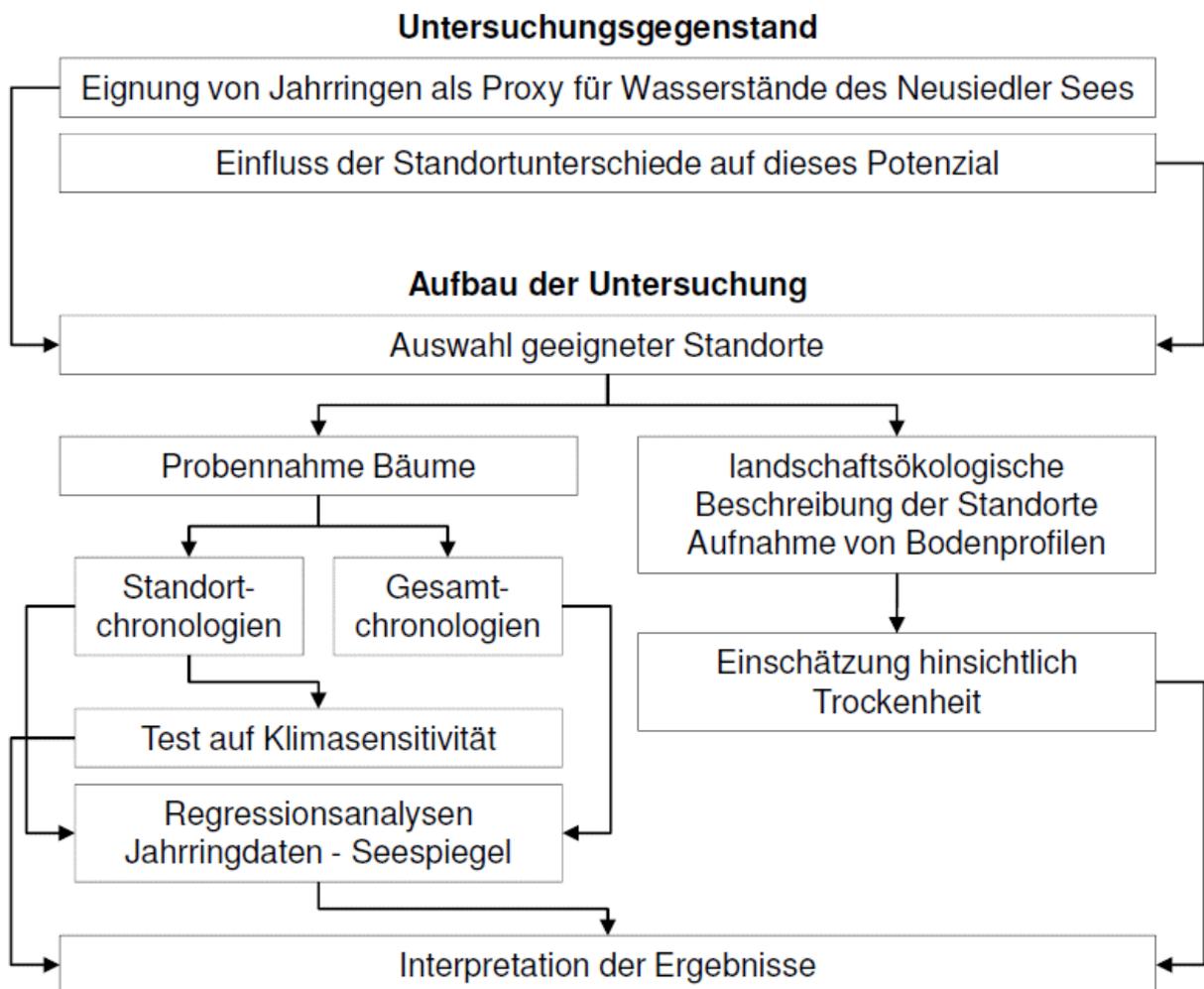


Abbildung 2-01: Untersuchungsstruktur

2.1 Probenstandorte

Für die vorliegende Arbeit wurden insgesamt acht Standorte (siehe Abbildung 2.1-01 und Tabelle 2.1-01) untersucht.

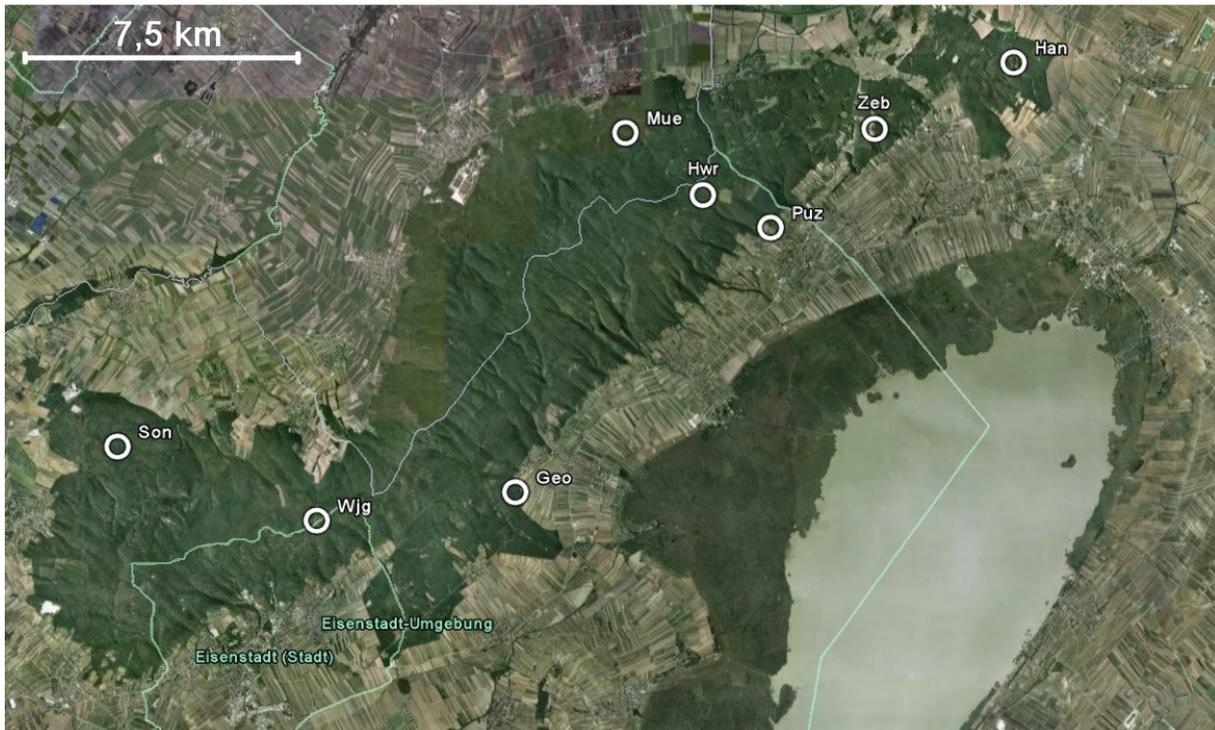


Abbildung 2.1-01: Standorte Übersichtskarte
erstellt mit Hilfe von Google Maps, 4. Dezember 2008

Die Probenstandorte wurden zusammen mit zuständigen Förstern unter drei wesentlichen Gesichtspunkten ausgewählt:

- Es sollten wegen der Niederschlagssensitivität dieser Baumarten Eichen- oder Schwarzkiefernstandorte sein.
- Die vorhandenen Bäume sollten möglichst alt sein, um eine bestmögliche dendroklimatologische Datenbasis zu gewährleisten.
- Die Standorte sollten möglichst trocken sein – geringe Mächtigkeit bzw. geringe Wasserspeicherkapazität des Bodens und möglichst nicht im Einflussbereich von Gewässern – weil man dann davon ausgehen kann, dass der das Baumwachstum limitierende Faktor der Niederschlag bzw. das für die Bäume verfügbare Wasser ist.

Im Vergleich mit Abbildung 1.2-03 (Seite 5) sieht man, dass die Standorte Sonnenberg (Son) und Müller Anhöhe (Mue) eigentlich nicht mehr im Einzugsgebiet des Neusiedler Sees liegen. Unter der Annahme, dass sie denselben Witterungsverhältnissen wie die anderen Standorte ausgesetzt sind, wurden sie dennoch nicht aus der Untersuchung ausgeschlossen.

Tabelle 2.1-01: Details zu den Probenstandorten

Koordinaten erhoben mittels GPS-Gerät bzw. Google Earth (Geo und Zeb)
Seehöhe erhoben mittels GPS-Gerät bzw. ÖK 50 (Geo und Zeb)

Kürzel	Standortname	Koordinaten		m ü. A.	Hauptbaumart
		Nord	Ost		
Geo	St. Georgen	47° 53,189'	16° 37,633'	200	<i>Pinus nigra</i>
Han	Hanftalwald	47° 59,649'	16° 48,848'	252	<i>Quercus spp.</i>
Hwr	Hinterwaldriegel	47° 57,670'	16° 41,862'	298	<i>Quercus spp.</i>
Mue	Müller Anhöhe	47° 58,616'	16° 40,132'	251	<i>Quercus spp.</i>
Puz	Pusztasiedlung	47° 57,172'	16° 43,377'	199	<i>Pinus nigra</i>
Son	Sonnenberg	47° 53,895'	16° 28,724'	350	<i>Pinus nigra</i> <i>Quercus spp.</i>
Wjg	Wilder Jäger	47° 52,769'	16° 33,184'	401	<i>Pinus nigra</i>
Zeb	Zeilerberg	47° 58,656'	16° 45,721'	290	<i>Pinus nigra</i>

Bis auf den Standort St. Georgen, der wegen seiner geringen Baumanzahl nicht als eigenständiger Probenstandort geführt werden konnte, sind an allen dieselben Arbeits- und Untersuchungsschritte durchgeführt worden:

- Entnahme der Bohrkern von den Bäumen
- Aufnahme von zwei bis drei Bodenprofilen direkt vor Ort
- Landschaftsökologische und geomorphologische Beschreibungen von Neigung, Exposition, Relief, Vegetation und sonstigen Besonderheiten
- Standortfotos
- Feststellen des geologischen Untergrundes (mit Hilfe von geologischen Karten)

Die Methodik der Entnahme der Bohrkern aus den Bäumen wird in Kapitel 2.2 beschrieben, landschaftsökologische Beschreibung und Fotos befinden sich in Kapitel 3.1. Nachfolgend wird die Aufnahme der Bodenprofile erklärt.

2.1.1 AUFNAHME DER BODENPROFILE

Abbildung 2.1-02:
PÜRCKHAUER-Bohrer mit Profil Han02
Kunststoffhammer, Zollstock

Nur am Standort Pusztasiedlung war ein Aufschluss vorhanden. Die meisten Profile mussten daher erbohrt werden. Dies erfolgte mit einem PÜRCKHAUER-Handbohrer (siehe Abbildung 2.1-02). Zur Profilentnahme wurde der 100 cm lange Kernbohrer mit einem Kunststoffhammer senkrecht in den Boden geschlagen und wieder herausgezogen. Danach ist die Horizontabgrenzung nach der Österreichischen Bodensystematik (KILIAN et al. 2002) durchgeführt worden. Für jeden Horizont erfolgte eine allgemeine Beschreibung, die Bestimmung der Bodenfarbe nach MUNSELL (Kapitel 2.1.1.1), die Feststellung der Bodenart sowie – wenn möglich – die Zuordnung zu einer periglaziären Lage nach der Bodenkundlichen Kartieranleitung (Ad-hoc-AG Boden 2005). Weiters wurde mit 10%iger Salzsäure das (Nicht)-Vorhandensein von Kalk geprüft. Die Bestimmung des Bodentyps der Profile erfolgte anschließend wieder an Hand der Österreichischen Bodensystematik (KILIAN et al. 2002). Alle im Gelände analysierten Profile – Zeichnungen und Fotos – sowie deren Beschreibungen befinden sich in den Kapiteln 3.1.1 bis 3.1.7.

2.1.1.1 Farbansprache

Eine objektiv vergleichbare Farbansprache ist nur bei Benutzung von Farbtafeln möglich. In der Bodenkunde ist die Verwendung der „MUNSELL Soil Color Charts“, mit denen die meisten Bodenfarben erfasst werden können, gebräuchlich. Laut Ad-hoc-AG Boden (2005) erfolgt die Farbansprache am Bohrkern oder am frischen Profilschnitt. Der Boden muss dabei befeuchtet werden, bis keine Farbänderung mehr auftritt.



In den MUNSELL-Farbtafeln werden die Farben mit einer Kombination von Buchstaben und Zahlen (Farbsymbol) beschrieben, wobei Farbe (Hue), Helligkeit/Grauwert (Value) und Intensität (Chroma) unterschieden werden – z. B.: 10YR 4/2 = Hue 10YR, Value 4, Chroma 2. Mehrere durch Farbsymbole charakterisierte Einzelfarben werden zu einem Farbfeld mit einheitlichem Farbnamen (z. B. dark greyish brown) zusammengefasst.

2.1.1.2 Ansprache der Bodenart im Gelände

nach Ad-hoc-AG Boden (2005)

Die Bodenart des mineralischen Feinbodens wurde im Gelände durch die Fingerprobe bestimmt. Dabei wird das schwach feuchte Bodenmaterial zwischen Daumen und Zeigefinger gerieben und geknetet. Körnigkeit, Bindigkeit und Formbarkeit des Materials können so ausreichend genau festgestellt werden. Tabelle 2.1-02 gibt die Definition der Bindigkeits- und Formbarkeitsstufen der Ad-hoc-AG Boden (2005) wieder. Die Bodenarten wurden dann nach Tabelle 30 aus der Bodenkundlichen Kartieranleitung (Ad-hoc-AG Boden 2005) bestimmt. Sie findet sich im Anhang A.

Tabelle 2.1-02: Definition der Bindigkeit und Formbarkeit schwach feuchter Bodenproben aus: Ad-hoc-AG Boden (2005), Tab. 29

Bindigkeit (Klebrigkeit)		
Stufen	Zusammenhalt der Bodenprobe	zerbröckelt/zerbröselst/zerbricht
0	klein	sofort
1	sehr gering	sehr leicht
2	gering	leicht
3	mittel	wenig
4	stark	kaum
5	sehr stark	nicht
Formbarkeit (Ausrollbarkeit)*		
0	nicht ausrollbar, zerbröckelt beim Versuch	
1	nicht ausrollbar, da die Probe vorher reißt und bricht	
2	Ausrollen schwierig, da die Probe starke Neigung zum Reißen und Brechen aufweist	
3	ohne größere Schwierigkeiten ausrollbar, da die Probe nur schwach reißt oder bricht	
4	leicht ausrollbar, da die Probe nicht reißt oder bricht	
5	auf dünner als halbe Bleistiftstärke ausrollbar	
*Bewertung der Formbarkeit und Ausrollbarkeit einer Probe bis auf halbe Bleistiftstärke		

2.2 Jahrringdaten

2.2.1 PROBENNAHME, BEARBEITUNG UND MESSUNG

Für die vorliegende Arbeit wurden an jedem der in Kapitel 2.1 beschriebenen Standorte im April und Mai 2008 Proben von lebenden Bäumen genommen – Baumarten und Probenanzahl siehe Tabelle 2.2-01. Die Probennahme erfolgte mit Zuwachsbohrern der Firma SUUNTO, die von Hand bis in die Mitte des Baumes gedreht werden und somit im Idealfall einen Bohrkern von der Rinde bis zum Mark liefern. Um fehlende oder falsche Jahrringe (siehe Kapitel 1.3.3.6) erkennen zu können bzw. den Einfluss von Reaktionsholz zu minimieren, wurden von jedem Baumindividuum möglichst in Brusthöhe zwei im rechten Winkel zueinander stehende Proben extrahiert – siehe auch Abbildung 2.2-01.



Abbildung 2.2-01: Beprobung Müller Anhöhe im Leithagebirge 5. April 2008

Tabelle 2.2-01: Baumarten und Probenanzahl je Standort

Standort	Code	Baumart	beprobte Bäume	Bohrkerne
St. Georgen	Geo	Schwarzkiefer	4	8
Hanftalwald	Han	Eiche	15	30
Hinterwaldriegel	Hwr	Eiche	16	32
Müller Anhöhe	Mue	Eiche	14	28
		Esche	1	2
Pusztasiedlung	Puz	Schwarzkiefer	15	30
Sonnenberg	Son	Eiche	15	30
		Rotkiefer	1	2
		Schwarzkiefer	17	34
Wilder Jäger	Wjg	Schwarzkiefer	15	30
Zeilerberg	Zeb	Schwarzkiefer	16	32
gesamt			129	258

Die so gewonnenen Proben – Holzbohrkerne mit einem Durchmesser von 5 mm – wurden bis zur weiteren Bearbeitung in Kunststoffstrohhalm im Kühlschrank aufbewahrt. Im Labor sind die noch feuchten Proben zum Trocknen auf Holzleisten fixiert worden. Die Fixierung ist notwendig, um zu gewährleisten, dass die Bohrkerne sich nicht verbiegen oder verdrehen. Die so luftgetrockneten Proben wurden dann auf die Leisten geleimt und wieder fixiert, bis der Leim getrocknet war. Gebrochene Bohrkerne mussten dabei so gut wie möglich wieder zusammengesetzt werden.

Damit die einzelnen Holzzellen unter dem Mikroskop sichtbar werden, müssen die Proben geschliffen werden (STOKES und SMILEY 1996, GRABNER 2005). Dies erfolgte für jede Probe in drei Schritten mit Schleifpapieren von immer feiner werdender Körnung (120, 240 und 400 bzw. 600).

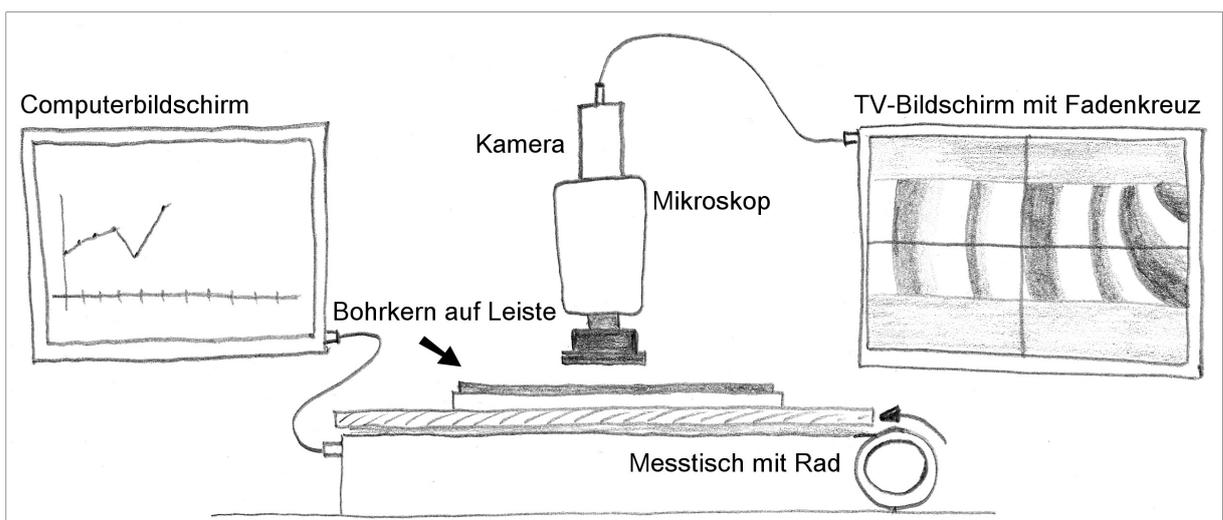
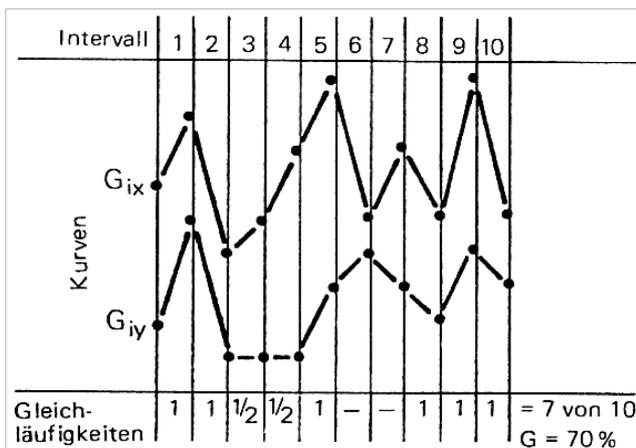


Abbildung 2.2-02: Schematische Darstellung des Messvorgangs

Zur Messung von Früh- und Spätholz wurden ein ZEISS-Auflichtmikroskop und ein Messtisch (LINTABTM) der Firma RINNTECH verwendet. Eine schematische Darstellung des Messvorgangs ist in Abbildung 2.2-02 zu sehen. Das Mikroskop ist dabei über eine Kamera mit einem TV-Monitor verbunden, auf dem die Jahrringe stark vergrößert dargestellt werden. Die Probe liegt auf dem Messtisch, der mit dem Rad händisch unter dem Mikroskop vorbeibewegt wird. Bei jeder Jahrringgrenze und jedem Übergang von Früh- zu Spätholz, der das Fadenkreuz passiert, wird dem Computer mittels Mausclick ein Messwert übermittelt. Der an den Messtisch angeschlossene Computer (Software TSAP-Win) registriert die Mausclicks und die zurückgelegte Wegstrecke des Tisches und errechnet daraus Frühholz-, Spätholz- und Jahrringbreiten, die vom Programm als Kurven dargestellt werden.

2.2.2 CROSSDATING

Da die Probennahme im Frühling 2008 erfolgte, konnte angenommen werden, dass der letzte vollständige Jahrring auf den Bohrkernen jener des Jahres 2007 ist. Um diese Annahme zu überprüfen, wurden zunächst alle Eichen- und Schwarzkiefern-Proben mit den im Jahrringlabor an der BOKU vorhandenen Ostösterreich-Standardchronologien für diese Baumarten (GEIHOFER et al. 2005) an Hand der Gleichläufigkeit (siehe unten) verglichen. Dabei zeigte sich, dass nur 217 von 254 Proben – etwa 85% – mit dem Jahr 2007 enden. Bei den anderen ist möglicherweise ein Teil des Bohrkerns bei der Probennahme abgebrochen oder der Bohrkern konnte auf Grund fehlender bzw. falscher Jahrringe (Kap. 1.3.3.6) nicht von vornherein (sondern erst im Zuge des Crossdatings) sicher dem Jahr 2007 zugeordnet werden.



Laut SCHWEINGRUBER (1983) ist die Gleichläufigkeit ein Maß für die Ähnlichkeit von zwei Kurvenverläufen und wird üblicherweise in Prozent angegeben – siehe Abbildung 2.2-03.

Abbildung 2.2-03: Beispiel einer Gleichläufigkeitsberechnung aus: SCHWEINGRUBER (1983), Seite 93

In einem weiteren Schritt wurde für jeden Standort aus den auf 2007 datierten Bohrkernen eine Mittelkurve (arithmetisches Mittel aller Messwerte des jeweiligen Jahres) errechnet. Mit dieser sind dann wieder alle Bohrkernkerne des jeweiligen Standortes verglichen worden. So konnten bereits rein visuell fehlende Jahrringe bzw. Messfehler aufgedeckt und behoben werden.

Alle in diesem Kapitel bisher erwähnten Arbeitsschritte erfolgten mit der Software TSAPDOS (Firma RINNTECH). Die Ergebnisse der visuellen Synchronisation wurden mit Hilfe des Programmes COFECHA (HOLMES 1994) überprüft. COFECHA arbeitet nach demselben Prinzip wie die visuelle Synchronisation: Die Kurven der Bohrkernkerne werden standardisiert und das Programm erstellt eine Mittelkurve, mit der nun jeder einzelne Bohrkern der Grundmenge verglichen wird. Dieser Vergleich geschieht in Segmenten von 50 Jahren, wobei jedes Segment mit dem vorherigen und dem nachfolgenden eine Überlappung von 25 Jahren aufweist. Die Software gibt jene Bohrkernsegmente an, die – rein rechnerisch – fehlerhaft sind und schlägt dazu den jeweiligen Lösungsweg vor (Bohrkern verschieben, Jahrring einfügen oder löschen).

Den von COFECHA angezeigten Fehlern wurde dann wieder im Programm TSAPDOS nachgegangen. Der Fehler ist entweder korrigiert oder, wenn dies nicht möglich war, der betreffende Bohrkern ausgeschlossen und die verbleibenden bzw. korrigierten Proben nochmals überprüft worden. Dieser Vorgang wurde so lange wiederholt, bis keine Fehler mehr zu finden waren.

2.2.3 DETRENDING UND ERSTELLUNG DER STANDORTCHRONOLOGIEN

Wie schon in Kapitel 1.3.4 erwähnt, dient die Indexierung dazu, den bei jedem Baum natürlich vorkommenden Alterstrend zu eliminieren (FRITTS 1976). Dies erfolgte mit dem Programm ARSTAN (HOLMES 1994). Da die Wachstumskurven der einzelnen Proben sehr unterschiedlich sind, erschien es nicht sinnvoll, alle Bohrkernkerne auf dieselbe Weise zu standardisieren. ARSTAN bietet für diesen Fall die Möglichkeit, je nach Kurvenverlauf unterschiedliche Indexierungsverfahren anzuwenden: Das Programm versucht zuerst, die Kurve mit einer negativen Exponentialfunktion zu indexieren. Funktioniert das nicht, weil der Mittelwert der standardisierten Kurve dann nicht in etwa den Betrag 1 hat, wird zur Standardisierung entweder eine Regressionsgerade mit negativer Steigung oder eine horizontale Gerade durch den Mittelwert herangezogen.

Für die Eichen am Standort Sonnenberg (SonQS) wurde eine andere Methode angewandt, da mit oben beschriebenem Verfahren die Trends nur unzureichend aus den Kurven herausgerechnet werden konnten, weil hier Bäume aus vier unterschiedlichen Altersklassen vorkommen. Die Indexierung erfolgte deshalb mit einer Spline-Kurve mit einer Steifigkeit von mindestens 30 Jahren.

Ein Spline hat die Form aneinander geketteter Polynome dritten Grades, die – einem gleitenden Mittel ähnlich – in Abhängigkeit von der gewählten Steifigkeit die Jahrringkurve stärker oder schwächer glättet (SCHAUPMANN 2008).

Wie jede Probe im Einzelnen indexiert worden ist, kann in Anhang B nachgeschlagen werden.

Für die Chronologie-Berechnung aus den einzelnen Proben, die mit der Software ARSTAN gemeinsam mit der Indexierung in einem Arbeitsschritt passiert, wurden die Standardeinstellungen des Programmes übernommen.

Im Zuge der Indexierung mussten auf Grund von unrealistischen Indexwerten (> 1.000, 0, negative Werte) vier weitere Bohrkerne ausgeschlossen werden. Dieses Problem trat bei den Spätholzanteilindizes nicht auf, deshalb wurden diese vier Bohrkerne (MueQS08b, PuzPN05a, SonPN03b und ZebPN13b) hier nicht entfernt.

Bei der Frühholz- und Jahrringbreitenchronologie vom Standort Wilder Jäger (Wjg) traten im Jahr 1888 extrem hohe Indexwerte von 3,2 (EW) und 2,94 (RW) auf. Da diese auf einen einzigen Bohrkern zurückzuführen waren, der um ebendieses Jahr weiter in die Vergangenheit zurückreicht als die anderen Proben des Standorts, wurden alle Wjg-Chronologien um dieses eine Jahr gekürzt.

Die Spätholzanteilchronologie des Standorts Zeilerberg (Zeb) reichte um ein Jahr weiter in die Vergangenheit zurück als die anderen Chronologien des Standorts. Auch das war auf einen einzelnen Bohrkern zurückzuführen, nämlich ZebPN13b. Er reicht als einziger bis ins Jahr 1881 zurück. Da er bei der Erstellung der Jahrring-, Frühholz-, und Spätholzbreitenchronologien ausgeschlossen wurde, bei der Spätholzanteilchronologie aber nicht, war diese entsprechend um ein Jahr länger. Sie wurde daher ebenfalls um das Jahr 1881 gekürzt.

Für alle nun noch vorhandenen Proben wurde für jedes Jahr der prozentuelle Spätholzanteil an der Gesamtjahrringbreite berechnet, sodass danach für jeden Standort vier indexierte Chronologien erstellt werden konnten:

- Jahrringbreitenindex
- Frühholzbreitenindex
- Spätholzbreitenindex
- Spätholzanteilindex

Die Standortchronologien werden in Kapitel 3.2 dargestellt und besprochen. Nach diesen Arbeitsschritten – Synchronisation und Detrending – sind die Jahrringdaten so weit aufbereitet, dass sie mit Klimadaten auf monatlicher Basis verarbeitet werden können.

2.2.4 ERSTELLUNG DER GESAMTCHRONOLOGIEN

Für die Berechnung des Zusammenhangs zwischen Jahrringparametern und Meeresspiegel wurden aus allen synchronisierten Proben Gesamtchronologien erstellt – wieder für die Jahrring-, Frühholz- und Spätholzbreite sowie für den Spätholzanteil. Dies erfolgte einerseits für alle synchronisierten und indexierten Proben und andererseits nur für jene Proben, die bei der Spätholzbreite eine mean sensitivity von mindestens 0,4 aufweisen. Dieses Auswahlkriterium wurde gewählt, weil auf Grund der Ergebnisse der Untersuchungen zur Klimasensitivität (siehe Kapitel 3.4 und 4.1) ein Ausschluss von ganzen Standorten nicht ratsam erschien. Die Tabelle aller hier verarbeiteten Proben befindet sich im Anhang C.

Für jeden der o. g. Jahrringparameter wurden drei Gesamtchronologien erstellt:

- gemeinsame Chronologie für Eiche und Schwarzkiefer
225 Proben vor bzw. 130 Proben nach Auswahl auf Grund der Sensitivität
- Schwarzkiefernchronologie
114 (vor Auswahl) bzw. 90 Proben (nach Auswahl)
- Eichenchronologie
111 bzw. 40 Proben

Technisch erfolgte die Berechnung der Gesamtchronologien analog zur im vorhergehenden Kapitel beschriebenen Methode der Standortchronologie-Erstellung.

Die Darstellung und Besprechung der Gesamtchronologien befindet sich in Kapitel 4.1.

2.3 Seespiegeldaten

Die für die Arbeit verwendeten Seespiegel-daten wurden aus täglichen Terminwerten der Stationen Rust, Mörbisch am See, Breitenbrunn, Neusiedl am See, Podersdorf am See, Illmitz und Apetlon (siehe Abbildung 2.3-01) vom Hydrographischen Dienst Burgenland generiert.

Die Zeitreihen weisen unterschiedliche Längen auf – siehe Tabelle 2.3-01. Erst ab dem Jahr 1976 liegen die Daten ohne größere Lücken vor.

Abbildung 2.3-01:
Pegelstationen des Hydrographischen Dienst
Burgenland am Neusiedler See
Grafik erstellt mit Hilfe von Google Maps,
19. Oktober 2009



Tabelle 2.3-01: Länge der Seespiegel-Datenreihen
Daten: Hydrographischer Dienst Burgenland

Pegelstation	Beginn	Ende
Neusiedl	17. Mai 1930	31. März 2008
Rust	15. Februar 1939	31. März 2008
Podersdorf	2. Jänner 1955	31. März 2008
Illmitz	2. Juli 1971	31. März 2008
Apetlon	2. Juli 1971	31. März 2008
Mörbisch	2. Jänner 1956	31. März 2008
Breitenbrunn	2. Jänner 1973	30. März 2008

Aus der Literatur (z. B. HANN 1975) ist bekannt, dass der See auf Grund der Windverhältnisse nicht an jeder Messstelle denselben Pegel aufweist. Daher wurde in einem ersten Schritt eine explorative Datenanalyse vorgenommen, die klären sollte, wie groß die täglichen Unterschiede zwischen den einzelnen Pegelstationen sind. Die Berechnungen erfolgten für den Zeitraum 2. Jänner 1976 bis 29. Februar 2008, da in diesem Zeitfenster die Daten nahezu lückenlos sind. Es zeigte sich, dass Abweichungen bis zu 93 cm vorkommen (Differenz Breitenbrunn – Apetlon, 10. Februar 1984). Weiters wurden die Abweichungen jeder Station vom Tagesmittelwert für den oben angegebenen Zeitraum ermittelt. Wieder stechen derselbe Tag und die Station Apetlon heraus: 47 cm weniger als der Seetagesmittelwert am 10. Februar 1984.

In weiterer Folge wurde eine ähnliche Berechnung für die Monatsmittelwerte des Zeitraums Jänner 1977 bis Dezember 1986 durchgeführt. Allerdings wurden hier nicht, wie bei den Tagesdaten, die Stationswerte direkt miteinander verglichen, sondern zuerst aus den Tagesdaten Monatsmittelwerte für jede Station gerechnet, dann aus diesen ein Monatsmittelwert für den gesamten See und danach jeweils die Abweichungen der Stationsmonatsmittelwerte vom Gesamtmittelwert. Die größte Abweichung erreicht hier die Station Apetlon im April 1984 mit -11 cm. Bei den anderen Stationen sind die Abweichungen mit max. 7 cm allerdings wesentlich geringer.

Schon HANN (1975) merkte an, dass sich durch Wind- und Luftdruckeinfluss die Pegelwerte der einzelnen Stationen zum Teil stark unterscheiden. Die Berechnung eines mittleren Seewasserstandes ist daher nicht trivial. Er führt hierfür drei mögliche Methoden an – Formeln dazu siehe HANN (1975):

- einfache Mittelung der Pegelwerte
- Bildung eines Gewichtsmittels mit Hilfe von Teilseen
- Bestimmung des See-Schwerpunktes

Laut HANN (1975) kann bis zu einer Differenz von 5 cm zwischen den Pegelwerten der Seeenden (Norden und Süden) ohne Weiteres das einfache Mittel herangezogen werden, um einen endgültigen Wert für den Ruhewasserstand zu erhalten. Bei bis zu 15 cm Unterschied zwischen o. g. Pegeln bringt die Methode der Bildung eines Gewichtsmittels die gewünschten Werte. Darüber ist die Bestimmung des See-Schwerpunktes anzuwenden. Allerdings wird nicht näher bestimmt, ob diese Schwellwerte für Tagesdaten oder Mittelwerte längerer Zeiträume gelten.

Geht man davon aus, dass sie für Monatsmittelwerte gelten, wäre im vorliegenden Fall also nach HANN (1975) die Berechnung des Gewichtsmittels angebracht. Jeder Pegelstation käme hier ein Teilsee zu, für den der an dieser Station abgelesene Wert repräsentativ ist. Die Aufteilung des Sees in diese Teilabschnitte müsste mehrmals – für verschiedene Zeitabschnitte – durchgeführt werden, da die zu Verfügung stehenden Zeitreihen unterschiedlich lang sind. Diese zeitaufwändige Vorgangsweise war im Rahmen dieser Arbeit nicht durchführbar.

Für alle weiteren Berechnungen wurde daher als repräsentative Datengrundlage für den Seespiegel die Zeitreihe von Neusiedl am See herangezogen. Wie oben erklärte Berechnungen zeigen, ist der Seespiegelmittelwert nur äußerst umständlich zu bestimmen und die Datenreihen aller anderen Stationen sind nur für wesentlich kürzere Zeiträume verfügbar.

2.3.1 SEESPIEGELMITTELWERTE

Aus den täglichen Seespiegelwerten von Neusiedl am See wurden Monatsmittelwerte berechnet, indem die Werte jedes Monats aufsummiert und durch die Anzahl der für diesen Monat zur Verfügung stehenden Messwerte dividiert worden sind – im Idealfall 30 oder 31, bei Lücken in der Zeitreihe aber eben entsprechend weniger. Abbildung 2.3-02 zeigt die Seespiegelveränderungen im Jahresverlauf an Hand langjähriger Mittelwerte 1966 bis 2005. Am höchsten ist der Seespiegel normalerweise im April und er sinkt dann den Sommer über mehr oder weniger kontinuierlich bis er im September den Tiefpunkt erreicht. Über den Winter erholt er sich wieder ebenso kontinuierlich.

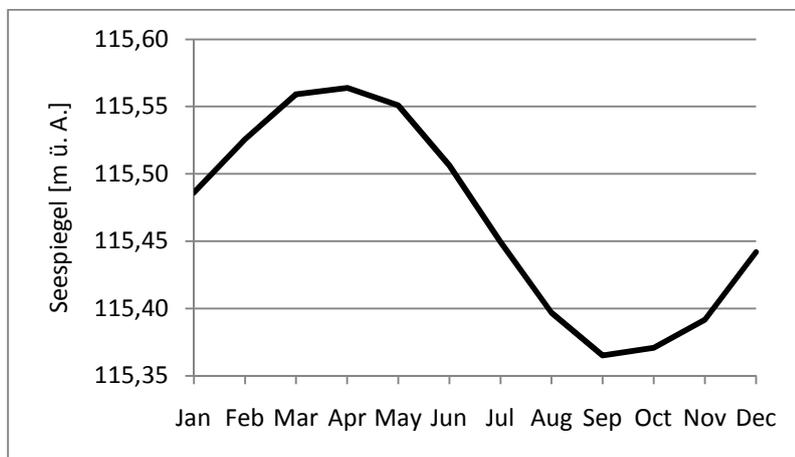


Abbildung 2.3-02: Seespiegel-Monatsmittelwerte,
langjährige Mittelwerte 1966 – 2005
Daten: Hydrographischer Dienst Burgenland

Der Jahresverlauf lässt eine Abhängigkeit des September-Seespiegels vom Niederschlag bzw. von den Wasserbilanzwerten der Sommermonate vermuten. Deshalb wurden für die später folgenden Berechnungen der Korrelationen zwischen Seespiegel und Jahrringdaten (Ergebnisse siehe Kapitel 4.2 und 4.3) die September-Mittelwerte herangezogen. Zusätzlich sind 10-Tages-Mittel des Zeitraums 27. August bis 5. September berechnet worden, um den Seespiegel zu einem genauer definierten Zeitpunkt bestimmen zu können, aber trotzdem den Windeinfluss, der wie weiter oben bereits gezeigt wurde, die Pegelwerte einzelner Tage stark verfälschen kann, zu minimieren.

2.4 Klimadaten

2.4.1 STATIONSDATEN WIEN HOHE WARTE

Die Daten der Station Wien Hohe Warte (16,35°O, 48,22°N, 209 m ü. A.) stammen aus dem Projekt HISTALP (AUER et al. 2007) der Zentralanstalt für Meteorologie und Geodynamik. Es sind homogenisierte Daten monatlicher Auflösung. Die Station wurde herangezogen, weil es sich um die längste homogenisierte Zeitreihe in nicht allzu großer Distanz zum Neusiedler Seegebiet handelt, die alle für die Untersuchung relevanten Klimaelemente abdeckt. Kürzere Zeitreihen stehen auch für Neusiedl am See und Bruck an der Leitha zur Verfügung – für monatliche Niederschlagssummen und Monatsmitteltemperaturen. Diese liegen zwar in kürzerer Entfernung zu den Probenstandorten und zum See, sind aber nicht homogenisiert. Eine längere homogenisierte Zeitreihe liegt nur für die Station Eisenstadt vor, allerdings nur für das Klimaelement Monatsmitteltemperatur.

Die Stationsdaten von Wien sind aber durchaus mit jenen von Neusiedl vergleichbar. Abbildung 2.4-01 zeigt dies exemplarisch für die Niederschlagssummen von April bis August für die Jahre 1966 bis 2005. Die Niederschläge dieser Monate beeinflussen – wie Abbildung 2.3-02 vermuten lässt – die Höhe des September-Seespiegels. Die Jahre 1966 bis 2005 wurden gewählt, weil für diesen Zeitraum die Zusammenhänge zwischen Jahrringparametern und Seespiegel (Kapitel 2.6) betrachtet worden sind.

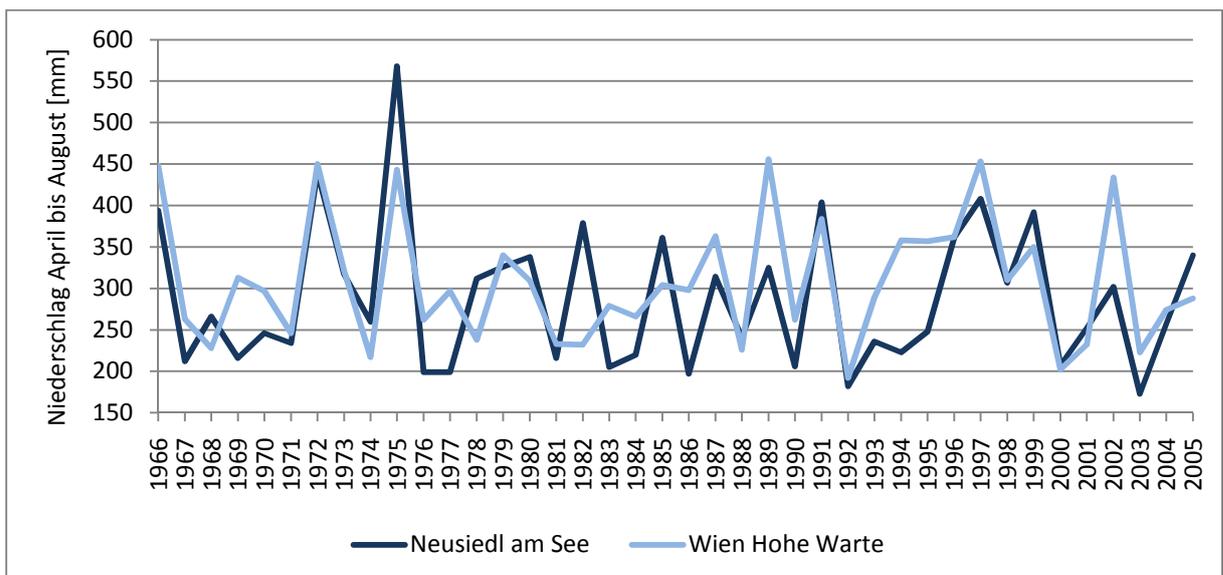


Abbildung 2.4-01: Vergleich Niederschlagssummen Neusiedl am See – Wien Hohe Warte
Daten: ZAMG

Tabelle 2.4-01: HISTALP-Datensätze Station Hohe Warte
 Parameter und Zeiträume
 Daten: ZAMG

Parameter	Einheit	Beginn	Ende
relative Luftfeuchtigkeit	%	Jänner 1862	März 2006
mittlere Bewölkung	%	Jänner 1842	März 2006
Niederschlagssumme	mm	Jänner 1841	März 2006
Sonnenscheindauer	h	Jänner 1881	März 2006
Mitteltemperatur	1/10 °C	Jänner 1775	März 2006

Die Zeiträume, für welche die in die Untersuchung eingegangenen Klimaelemente an der Station Wien Hohe Warte zur Verfügung standen, sind in Tabelle 2.4-01 ersichtlich.

2.4.2 BERECHNUNG DER WASSERBILANZ

Für die Berechnung der klimatischen Wasserbilanz auf Monatsbasis sind Daten der Klimaelemente Niederschlag und Verdunstung nötig. Die Verdunstung muss hierzu erst berechnet werden. Für die vorliegende Untersuchung geschah dies nach der Formel von THORNTHWAITE wie sie von SCHRÖDTER (1985) beschrieben ist:

$$ETP = 0,533 * f * (10 * T_m / J)^a$$

ETP monatliche potenzielle Evapotranspiration [mm/Tag]

f Korrekturfaktor abhängig von Monatslänge und geographischer Breite

Der Korrekturfaktor f ergibt sich aus dem Verhältnis der Länge des Monats, aus welchem T_m stammt, zur idealisierten Länge von 30 Tagen und aus dem Verhältnis der für diesen Monat geltenden astronomisch möglichen Sonnenscheindauer zur idealisierten Tageslänge von 12 Stunden. Er kann selbst mit Hilfe von Tabellen zur Sonnenscheindauer am jeweiligen Ort berechnet oder in den Hilfstafeln von SCHRÖDTER (1985) nachgelesen werden – siehe Tabelle 2.4-02.

Jänner	0,76
Feb. (28 d)	0,79
Feb. (29 d)	0,82
März	1,02
April	1,13
Mai	1,31
Juni	1,33
Juli	1,34
August	1,23
September	1,05
Oktober	0,94
November	0,77
Dezember	0,71

Tabelle 2.4-02: Korrekturfaktor f zur Berechnung der korrigierten Evapotranspiration Jänner bis Dezember (Werte für 48° nördliche Breite)
 aus: SCHRÖDTER (1985), Hilfstafel 2 – THORNTHWAITE-Formel

T_m mittlere Temperatur des Zeitraums, für den die potenzielle Evapotranspiration berechnet werden soll [°C]

J Wärmeindex (Berechnung siehe unten)

$$a = (0,0675 * J^3 - 7,71 * J^2 + 1792 * J + 49239) * 10^{-5}$$

Die Größen J und a müssen für jeden Standort jeweils nur einmal entsprechend der für ihn geltenden langjährigen Durchschnittswerte der Temperatur bestimmt werden.

$$J = \sum (\text{Jan bis Dez})_i$$

$$i = (t / 5)^{1,541}$$

J Summe aus den zu i umgerechneten Normalwerten der Monatsmitteltemperatur

t langjähriger Durchschnitt der Monatsmitteltemperatur des betreffenden Standorts [°C]

Ergebnis der Berechnungen ist die mittlere Verdunstung des Zeitraumes in mm/Tag und ist dann – sofern man Monatswerte haben möchte – noch mit der entsprechenden Tagesanzahl zu multiplizieren. Für die vorliegende Untersuchung wurde die mittlere Verdunstung auf Monatsbasis für den Zeitraum Jänner 1841 bis Dezember 2005 berechnet.

2.5 Klima-Wachstums-Beziehungen

Zusammenhänge zwischen Klimaelementen monatlicher Auflösung und Jahrringparametern werden mit Hilfe von Response-Werten analysiert. Für diese Arbeit erfolgte deren Berechnung mit der Software DendroClim 2002 (BIONDI und WAIKUL 2004).

DendroClim 2002 berechnet Response-Werte mittels Hauptkomponentenanalyse und schätzt deren Signifikanz mit Bootstrap-Vertrauensintervallen, wobei die Jahrringparameter als von den Klimaelementen abhängige Variablen behandelt werden. Sowohl von abhängigen als auch von unabhängigen Variablen werden Hauptkomponenten berechnet und deren statistischer Zusammenhang ermittelt.

Das Programm berechnet Response-Werte für jeden einzelnen Monat, die (theoretisch) Werte von -1 bis +1 annehmen können. Negative Werte drücken einen inversen, positive einen gleichgerichteten Zusammenhang aus. Response-Werte sind somit ein Maß für die Richtung und die Stärke der Beziehungen zwischen Klima und Baumwachstum (Klima-Wachstums-Beziehungen).

Die Berechnungen sind für den Zeitraum 1912 bis 2005 durchgeführt worden, weil dies der längstmögliche Zeitraum ist, den alle Standortchronologien und alle verwendeten Klimaparameter abdecken können. Es wurden Response-Werte von allen erstellten Standortchronologien (siehe auch Kapitel 2.2.3 und 3.2) mit sechs Klimaelementen berechnet. Der Bezugszeitraum ist dabei jeweils 14 Monate lang – vom August des Vorjahres bis zum September des laufenden Jahres, weil man davon ausgehen kann, dass das Klima in diesem Zeitfenster die Bildung des Jahrrings des laufenden Jahres beeinflussen kann. Die Bedingungen des Vorjahres beeinflussen die Bildung von Reservestoffen und im laufenden Jahr ist der Zuwachs normalerweise im September abgeschlossen

Tabelle 2.5-01: DendroClim-Berechnungen Zeitraum 1912 – 2005

Standort	Baumart	Jahrringparameter	Klimaelement
Hanftalwald	Eiche	Jahrringbreitenindex Frühholzbreitenindex Spätholzbreitenindex Spätholzanteilindex	relative Luftfeuchtigkeit mittlere Bewölkung Niederschlagssumme Sonnenscheindauer Mitteltemperatur Wasserbilanz
Hinterwaldriegel	Eiche		
Müller Anhöhe	Eiche		
Pusztasiedlung	Schwarzkiefer		
Sonnenberg	Eiche		
	Schwarzkiefer		
Wilder Jäger	Schwarzkiefer		
Zeilerberg	Schwarzkiefer		

In Tabelle 2.5-01 sind alle 192 durchgeführten Response-Berechnungen aufgelistet. An jedem Standort wurden die Response-Werte der Chronologien von Jahrring-, Frühholz-, Spätholzbreiten- und Spätholzanteilindex mit den Klimaelementen (siehe auch Kapitel 2.3) relative Luftfeuchtigkeit, mittlere Bewölkung, Niederschlagssumme, Sonnenscheindauer, Monatsmitteltemperatur und Wasserbilanz berechnet. Die Ergebnisse sind in Kapitel 3.3 zu finden.

2.6 Statistische Beziehungen

Jahringparameter – Seespiegel

Alle in den folgenden Kapiteln dargestellten Berechnungen wurden mit der Software SPSS 15.0 für Windows durchgeführt.

2.6.1 KORRELATIONEN

Zwischen allen Standort- und allen Gesamtchronologien sowie den zwei unterschiedlichen Seespiegelmittelwerten (siehe Kapitel 2.3.1) wurden Korrelationskoeffizienten nach PEARSON (SCHÖNWIESE 2006) berechnet. Die Ergebnisse befinden sich in Kapitel 4.2.

Der zweidimensionale Produkt-Moment-Korrelationskoeffizient nach PEARSON beschreibt laut SCHÖNWIESE (2006) die Güte des Stichprobenzusammenhangs der Variablen a und b und wird wie folgt berechnet:

$$r_{ab} = \frac{\sum a_i b_i - \left(\frac{1}{n}\right) \sum a_i \sum b_i}{\sqrt{\left[\sum a_i^2 - \left(\frac{1}{n}\right) (\sum a_i)^2\right] \left[\sum b_i^2 - \left(\frac{1}{n}\right) (\sum b_i)^2\right]}}$$

r_{ab}	Korrelationskoeffizient
a_i	Datenwert für Variable a
b_i	Datenwert für Variable b
n	Stichprobenumfang

Der Korrelationskoeffizient kann Werte zwischen -1 und +1 annehmen, wobei ± 1 für einen vollkommenen – streng linearen – Zusammenhang steht. Ein positives Vorzeichen bedeutet eine positive Korrelation – steigen die Datenwerte von a, steigen auch die Datenwerte von b. Ein negatives Vorzeichen steht für den umgekehrten Fall: Wenn die Datenwerte von a steigen, fallen jene von b. Je näher der Wert bei 0 liegt, desto geringer ist die Korrelation.

2.6.2 EINFACHE LINEARE REGRESSION

Mit Hilfe der einfachen linearen Regression kann ermittelt werden, zu welchen Anteilen die Varianz einer abhängigen Variable durch eine unabhängige Variable erklärt wird. Bei einem linearen Zusammenhang ist die optimale Beziehungsgleichung der beiden Variablen eine Gerade bzw. Regressionsgleichung (SCHÖNWIESE 2006) der Form:

$$\hat{a} = A + Bb$$

- \hat{a} Schätzgröße der Variable a (abhängige Variable)
- A Regressionskoeffizient Variable a
- B Regressionskoeffizient Variable b
- b unabhängige Variable

Zur Bestimmung der Unbekannten A und B stellt man nach SCHÖNWIESE (2006) sog. Normalgleichungen auf:

$$\begin{array}{ll} (a = A + Bb) * 1 & \text{dann Summierung} \rightarrow \sum a_i = An + B \sum b_i \\ (a = A + Bb) * b & \text{dann Summierung} \rightarrow \sum a_i b_i = A \sum b_i + B \sum b_i^2 \end{array}$$

Aus diesem Gleichungssystem können nun A und B errechnet werden.

Die durch das Regressionsmodell erfasste Varianz wird laut SCHÖNWIESE (2006) mittels quadratischer Korrelationskoeffizienten (Bestimmtheitsmaß) angegeben:

$$R^2 = [\sum(\hat{a}_i - \bar{a})^2] / [\sum a_i'^2]$$

- \bar{a} arithmetischer Mittelwert der Variable a
- a_i' Abweichung vom Mittelwert

Um den Zusammenhang zwischen Jahrringparametern und dem Seespiegel im Zeitraum 1966 bis 2005 zu ermitteln, wurde das Bestimmtheitsmaß (R^2) für die jeweiligen Jahrringchronologien (auf Basis der Korrelationskoeffizienten ausgewählte Standort- und Gesamtchronologien) als unabhängige und den Seespiegelmittelwert als abhängige Variable berechnet. Die Ergebnisse sind in Kapitel 4.3 dargestellt.

2.6.3 MULTIPLE LINEARE REGRESSION

Sollen mehrere unabhängige Variablen die Varianz einer abhängigen Variable erklären und nimmt man auch hier jeweils einen linearen Zusammenhang an, ist die multiple lineare Regression anwendbar.

Die Regressionsgleichung hat in diesem Fall (SCHÖNWIESE 2006) die Form:

$$\hat{a} = A + Bb + Cc + Dd + \dots$$

Die Normalgleichungen werden analog zur einfachen linearen Regression gebildet – Beispiel für vier unabhängige Variablen:

$$\begin{aligned}(a = A + Bb + Cc + Dd) * 1 &\rightarrow \sum a_i = An + B \sum b_i + C \sum c_i + D \sum d_i \\(a = A + Bb + Cc + Dd) * b &\rightarrow \sum a_i b_i = A \sum b_i + B \sum b_i^2 + C \sum b_i c_i + D \sum b_i d_i \\(a = A + Bb + Cc + Dd) * c &\rightarrow \sum a_i c_i = A \sum c_i + B \sum b_i c_i + C \sum c_i^2 + D \sum c_i d_i \\(a = A + Bb + Cc + Dd) * d &\rightarrow \sum a_i d_i = A \sum d_i + B \sum b_i c_i + C \sum c_i d_i + D \sum d_i^2\end{aligned}$$

Das Normalgleichungssystem enthält immer so viele Gleichungen wie unabhängige Variablen.

Das Bestimmtheitsmaß R^2 wird auch im Fall der multiplen linearen Regression wie in Kapitel 2.6.2 beschrieben berechnet.

Auf Grund der Ergebnisse der einfachen linearen Regression wurde in einem zweiten Schritt untersucht, ob die Kombination mehrerer unabhängiger Variablen (unterschiedliche Jahrringparameter von Standort- und Gesamtchronologien) dazu beiträgt, die Variabilität der in Kapitel 2.3.1 beschriebenen Seespiegelmittelwerte besser abzubilden – also den Erklärungswert zu steigern. Hierzu wurden schrittweise lineare Regressionen mit dem Seespiegelmittelwert als abhängige Variable und unterschiedlichen Chronologien als unabhängige Variablen berechnet. Deren Auswahl erfolgte basierend auf den Ergebnissen der einfachen linearen Regression.

Bei der schrittweisen linearen Regression wird vom Programm zunächst jene unabhängige Variable herangezogen, die den höchsten Erklärungswert (R^2) liefert, weitere Variablen werden dann Schritt für Schritt hinzugenommen, sofern sich dadurch das Bestimmtheitsmaß signifikant erhöht.

Ergebnisse der multiplen linearen Regression sind in Kapitel 4.4 zu finden.

3. ERGEBNISSE UND DISKUSSION KLIMASENSITIVITÄT

Auf den folgenden Seiten werden zunächst die Probenstandorte und Bodenprofile beschrieben und hinsichtlich ihrer Trockenheit interpretiert (Kapitel 3.1). In Kapitel 3.2 werden die erstellten Standortchronologien von Jahrring-, Frühholz- und Spätholzbreite sowie Spätholzanteil dargestellt und kurz diskutiert. Kapitel 3.3 widmet sich der Darstellung und Diskussion der Klima-Wachstums-Beziehungen. Kapitel 3.4 fasst die wichtigsten Ergebnisse zusammen.

3.1 Standortbeschreibungen und Bodenprofile

In den folgenden Kapiteln werden die Probenstandorte hinsichtlich Geologie, Geomorphologie, Vegetation und Boden kurz charakterisiert. Die Legende zu den Horizonten der Bodenprofile findet sich im Anhang D.

Die geologischen Karten zeigen jeweils einen quadratischen Ausschnitt mit einer Seitenlänge von 2 km. Der Probenstandort selbst ist mit einem roten Kreis markiert.

3.1.1 STANDORT HANFTALWALD

Der Standort Hanftalwald liegt am östlichen Ende des Leithagebirges, ca. 2 km nördlich von Jois.

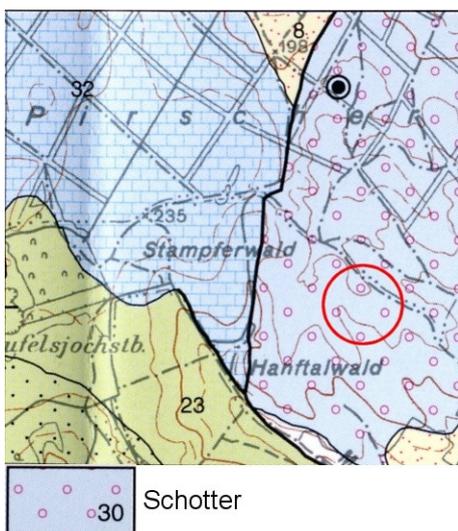


Abbildung 3.1-01
Scan der Geologischen Karte 1:50.000
Blatt 78 (Rust) 1993

Es handelt sich um eine relativ ebene Fläche ohne ausgeprägtes Mikrorelief mit lichtigem Eichenbestand. Der geologische Untergrund (Abbildung 3.1-01) an der Stelle der Probennahme wird von tertiärem Schotter des Badeniums gebildet. Er ist also wasserdurchlässig.

Es wurden zwei Bodenprofile (Abbildungen 3.1-02 und 3.1-03) analysiert. Bei beiden handelt es sich um tiefgründige Braunerden mit krümelig-lockerem A-Horizont (fehlt bei Han02 wegen Bohrverlusts) und jeweils zwei durch Geröll voneinander abgegrenzten Bv-Horizonten von unterschiedlicher Mächtigkeit. Der obere Verbraunungshorizont ist locker und nach unten hin immer mehr mit Steinen durchsetzt. Der Bv2 ist hingegen dicht gelagert und liegt auf einem deutlich verwitterten Cv-Horizont, in dem Gesteinsbruchstücke von Glimmerschiefer und Quarz zu finden sind.

Han01		Bodentyp: Braunerde				
		Horizontbeschreibungen				
		Farbe		Bodenart	Lage	Beschreibung
0	A	7,5YR 3/2	dark brown	schluffig- lehmiger Sand		krümelig, locker
2	Bv1	7,5YR 5/4	brown	schluffig- lehmiger Sand	LH	locker, Geröll an der Schichtgrenze zur Mittellage – Quarz im Bohrkern
40	Bv2	nicht bestimmt		nicht bestimmt	LM	dicht gelagert, kleine Gesteinsbruchstücke in unterschiedlichen Größen
70	Cv	inhomogen		überwiegend sandig	LB	deutlich verwittert, überwiegend Gesteins- bruchstücke, Glimmer- stücke, Quarz

Abbildung 3.1-02: Profil Hanftalwald 01

Der Bv1 ist im Profil Han02 mächtiger als im Profil Han01, wo der Bv2 mächtiger ausfällt. Bei beiden Profilen liegt die Oberkante des Cv bei 70 cm.

In beiden Profilen konnte kein Carbonatgehalt festgestellt werden.

Sowohl bei Han01 als auch bei Han02 sind Haupt- über Mittel- über Basislage zu finden. Aus den periglaziären Lagen kann darauf geschlossen werden, dass sich der Boden am Standort ungestört entwickeln konnte.

Der Standort Hanftalwald ist geologisch und pedologisch relativ einheitlich. Auf Grund der ermittelten Bodenverhältnisse und der Vegetation (bis auf einige Gräser ist kein Unterwuchs vorhanden) kann er allerdings weder als besonders trocken noch als besonders feucht eingeschätzt werden. Das Vorhandensein von Geröll und Gesteinsfragmenten lässt aber auf eine gute Durchlässigkeit schließen.

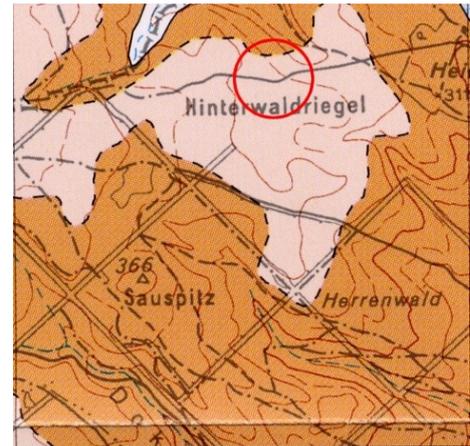
Han02 	Bodentyp: Braunerde			
	Horizontbeschreibungen			
	Farbe	Bodenart	Lage	Beschreibung
	0 bis 15 cm Bohrverlust			
15 Bv1	nicht bestimmt	nicht bestimmt	LH	nach unten immer mehr Steine, Geröll an LM-Grenze, Sandstein im Bohrkern
53 Bv2	nicht bestimmt	nicht bestimmt	LM	
70 Cv	nicht bestimmt	nicht bestimmt	LB	

Abbildung 3.1-03: Profil Hanftalwald 02

3.1.2 STANDORT HINTERWALDRIEGEL

Der Standort Hinterwaldriegel liegt etwa 3 km nordwestlich vom Siedlungsgebiet der Gemeinde Breitenbrunn. Das Gebiet wird forstlich als Niederwald mit 40-jähriger Umtriebszeit genutzt. Der Bestand ist dementsprechend dicht (siehe auch Abbildung 3.1-04).

Der geologische Untergrund des Probenstandortes (siehe Abbildung 3.1-05) wird einerseits von quartärem Verwitterungslehm, der mehrere Meter mächtig sein kann, und andererseits von Chlorit-Biotit-Hellglimmerschiefer des Unterostalpins gebildet. Das Gelände am Standort ist flach bis schwach geneigt. Durch den dichten Bestand dringt nicht viel Licht bis zum Boden durch, weshalb der Unterwuchs auch nicht besonders ausgeprägt ist.



15	Verwitterungslehm im Leithagebirge
42	Chlorit-Biotit-Hellglimmerschiefer

Abbildung 3.1-05:
Scan der Geologischen Karte
1:50.000
Blatt 78 (Rust) 1993

Abbildung 3.1-04: Standort Hinterwaldriegel

An diesem Standort wurden drei Bodenprofile analysiert. In keinem von ihnen konnte Carbonat nachgewiesen werden.

Die Profile Hwr01 und Hwr02 (beides Braunerde) wurden auf flachem Gelände im Übergangsbereich von Schiefer und Verwitterungslehm etwa 50 m voneinander entfernt erbohrt. Die oberen Horizonte beider Profile sind ähnlich. Auf einen sandig-schluffigen A-Horizont folgt ein lockerer Bv-Horizont. Die darunter liegenden C-Horizonte sind allerdings unterschiedlich.

Der locker gelagerte Cv im Profil Hwr01 ist gekennzeichnet durch einen hohen Skelettgehalt, viel Sand und inhomogene Farbe. Er repräsentiert die Basislage, ist also aus dem anstehenden Gestein hervorgegangen. Darunter befindet sich ein sandiger C-Horizont mit einem hohen Anteil an Glimmerplättchen. Man kann daher davon ausgehen, dass dieses Profil auf dem Chlorit-Biotit-Hellglimmerschiefer liegt.

Hwr01		Bodentyp: Braunerde			
		Horizontbeschreibungen			
		Farbe	Bodenart	Lage	Beschreibung
0	A	10YR 4/2 dark greyish brown	sandiger Schluff	LH	kleine Steine, locker
20	Bv	10YR 5/3 brown	sandiger Schluff		dichter, aber immer noch relativ locker, kleine Steine
40	Cv	10YR 5/4 yellowish brown, inhomogen	Sand (viel Mittelsand), etwas Schluff	LB	hoher Skeletthalt, locker gelagert
65	C	nicht bestimmt grau	Sand, Feinsand, Mittelsand		hoher Skeletthalt, Glimmerplättchen

Abbildung 3.1-06: Profil Hinterwaldriegel 01

Unter dem Bv liegen beim Profil Hwr02 zwei Cv-Horizonte, die durch ihre Korngröße und Farbe voneinander zu unterscheiden sind. Der auffallend gelb gefärbte Cv2 enthält keine Feinsubstanz und besteht hauptsächlich aus Sand und Grus sowie kleinen Steinen. Es handelt sich hier aller Wahrscheinlichkeit nach also bereits um den Verwitterungslehm im Leithagebirge. Somit kann er gemeinsam mit dem Cv1 der Basislage zugeordnet werden.

Die Profile Hwr01 und Hwr02 lassen auf eine ungestörte Bodenentwicklung schließen. Die Hauptlage ist im Unterschied zur Basislage intensiv durch Schluff geprägt, der wahrscheinlich äolischen Ursprungs ist.

Im Bereich der Profile 01 und 02 ist der Standort weder als besonders feucht noch als besonders trocken einzustufen.

Hwr02		Bodentyp: Braunerde				
		Horizontbeschreibungen				
		Farbe		Bodenart	Lage	Beschreibung
0	A	10YR 4/3	brown	stark schluffiger Sand – sandiger Schluff	LH	
10	Bv	10YR 5/4	yellowish brown	sandig-lehmiger Schluff		kleine Steine, locker
27	Cv1	10YR 5/6	yellowish brown	Sand – Grus etwas mehlig Feinsubstanz	LB	hoher Skelett- gehalt, etwas dichter
90						

Abbildung 3.1-07: Profil Hinterwaldriegel 02

Profil Hwr03 befindet sich auf einem flachen Hang mit 1 bis 2° Neigung etwa 100 m entfernt von den anderen beiden Profilen über Glimmerschiefer.

Der Standort ist hier anthropogen gestört, vermutlich durch Schlägerung und forstliche Nutzung. Die Braunerde ist bis zur Basislage (Cv) erodiert, darüber liegt Kolluvium. A- und A-B-Horizont sind also nicht aus dem hier liegenden Cu (verwitterter Glimmerschiefer) hervorgegangen. Der A-Horizont besteht aus lockerem, krümeligem sandigen Schluff. Darunter schließt der A-B-Horizont (Kolluvium) an. Der Cv wird von sandig-lehmigem Schluff gebildet. Der Cu-Horizont ist zwar skelettreich, aber auch sehr dicht und mergelig verwittert. Der Boden kann hier wegen des Tongehalts im Mergel auch Wasser speichern.

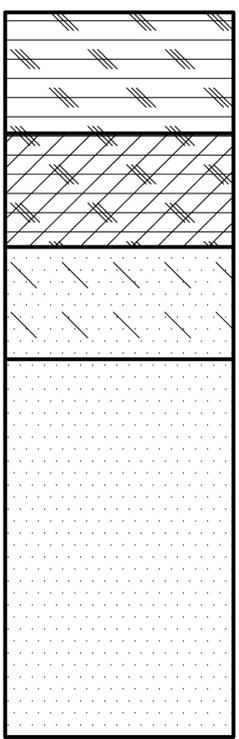
Hwr03 	Bodentyp: Kolluvisol			
	Horizontbeschreibungen			
	Farbe	Bodenart	Lage	Beschreibung
	0 bis 4 cm Bohrverlust			
	A 4 20	10YR 4/3 brown	sandiger Schluff	locker, krümelig, wenige kleine Steine
A-B 20 35	10YR 4/3 brown	nicht bestimmt	anthropogen gestört, Kolluvium	
Cv 35 50	10YR 5/3 brown	sandig- lehmiger Schluff	LB	
Cu 50	nicht bestimmt	---	Glimmerschiefer – skelettreich, sehr dicht, mergelig verwittert	

Abbildung 3.1-08: Profil Hinterwaldriegel 03

3.1.3 STANDORT MÜLLER ANHÖHE

Die Müller Anhöhe befindet sich am Südwesthang des Kolmberges etwa 1,5 km süd-östlich von Sommerein auf der rechten Seite des Groisbachs.

Der Standort ist geprägt durch einen lichten Eichenbestand (Abbildung 3.1-09) und vereinzelte Eschen sowie Kirschbäume im oberen Hangbereich. Zur Zeit der Proben- nahme im April 2008 war der Unterwuchs am oberen Hang fast ausschließlich von Bärlauch und vereinzelten Brennnesseln dominiert (Abbildung 3.1-10).



Abbildung 3.1-09:
Standort Müller Anhöhe

Abbildung 3.1-10:
Bärlauch und Brennnesseln

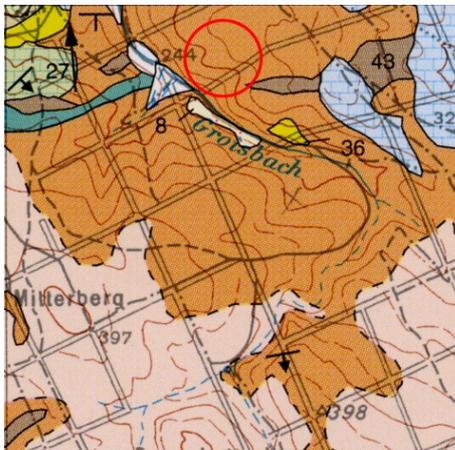


Abbildung 3.1-11:
Scan der Geologischen Karte 1:50.000
Blatt 78 (Rust) 1993

Der geologische Untergrund wird wie schon am Standort Hinterwaldriegel von Chlorit-Biotit-Hellglimmerschiefer gebildet.

Am Standort Müller Anhöhe wurden zwei Bodenprofile analysiert. Das Profil Mue02 liegt ca. 70 m hangaufwärts von Mue01 und 5 bis 6 m höher.

42 Chlorit-Biotit-
Hellglimmerschiefer

Das Profil Mue01 (Abbildung 3.1-12) wurde an einer umgestürzten Eiche auf einem Hang mit etwa 5 bis 8° Neigung erbohrt. Es weist viel Glimmerschiefer auf. Der Boden ist feinsandig bis schluffig, flachgründig und verbraunt. Das Material ist eisenhaltig. Es handelt sich um eine voll entwickelte Braunerde mit schwach humosem, sandig-lehmigem Ab-Horizont und einem 45 cm mächtigen, skeletthaltigen Bv-Horizont aus schwach tonigem Schluff auf einer Schieferschutt-Decke. Der Cv kann als Basislage, der Bv als Hauptlage angesprochen werden.

Auf Grund dieses Bodenprofils kann der Standort weder als besonders trocken noch als besonders feucht eingestuft werden.

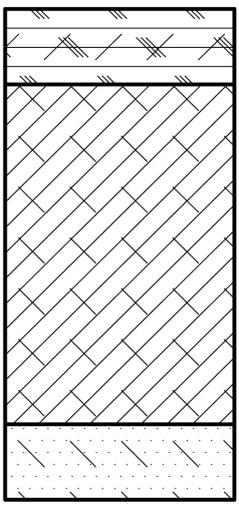
Mue01 	Bodentyp: Braunerde			
	Horizontbeschreibungen			
	Farbe	Bodenart	Lage	Beschreibung
	nicht bestimmt graubraun	sandig- lehmiger Schluff		schwach humos, vereinzelt kleine Steine
	nicht bestimmt graubraun bis braun	schwach toniger Schluff	LH	skeletthaltig (Gesteins- fragmente unterschiedlicher Größe), Subpolyedergefüge, locker gelagert
nicht bestimmt	---	LB	bis zu 95% Skelettgehalt, Bruchstücke horizontal ge- lagert	

Abbildung 3.1-12: Profil Müller Anhöhe 01

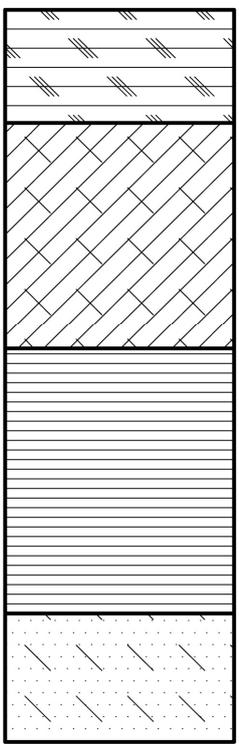
Mue02 	Bodentyp: Pseudogley-Braunerde			
	Horizontbeschreibungen			
	Farbe	Bodenart	Lage	Beschreibung
	nicht bestimmt graubraun	sandig- lehmiger Schluff		Krümelstruktur, kein Zusammenhalt, kleine Gesteinsbruchstücke
	nicht bestimmt hellbraun	sandig- lehmiger Schluff	LH	Steinchen, locker
	nicht bestimmt grau mit Rostflecken	stark sandiger Lehm	LM	viele kleine Steine, dicht gelagert, grau-braun marmoriert
nicht bestimmt	grusig, sandig	LB	viel Glimmer	

Abbildung 3.1-13: Profil Müller Anhöhe 02

Das Profil Mue02 (Abbildung 3.1-13) wurde etwa 70 m hangaufwärts von Mue01 erbohrt. Der Hang wird hier bereits flacher. Die Neigung beträgt etwa 2 bis 4°.

Im Bereich von Mue02 wachsen gemeinsam mit den Eichen Kirschbäume, Bärlauch und eine dichtere Krautschicht als im Umfeld von Mue01 – ein erster Hinweis auf mehr Feuchtigkeit.

Das Bodenprofil bestätigt diese Vermutung. Es handelt sich um einen Übergangstyp zwischen Braunerde und Pseudogley. Auf dem hier tiefer liegenden Cv-Horizont haben sich durch Tagwasser im Stauhorizont typische Hydromorphie Merkmale (Marmorierung) entwickelt. Die Farbe ist inhomogen zwischen fahlgrau und rostbraun. Bv- und Ab-Horizont ähneln jenen von Profil Mue01.

Am Standort Müller Anhöhe findet man also auf relativ kleinem Raum trotz ungestörter Bodenentwicklung – schluffige Hauptlage über sandiger Basislage bei Profil Mue01 und eingeschlossener Mittellage bei Profil Mue02 – sehr unterschiedliche Böden und somit unterschiedliche Bedingungen für die Bäume.

3.1.4 STANDORT PUSZTASIEDLUNG



Abbildung 3.1-14: Standort Pusztasiedlung

Die Schwarzkiefern am Standort Pusztasiedlung wachsen am nordwestlichen Ortsrand von Breitenbrunn. Es handelt sich um gepflanzte Bäume auf einer Kuppe, die von einer Forststraße und einem Weg begrenzt wird.

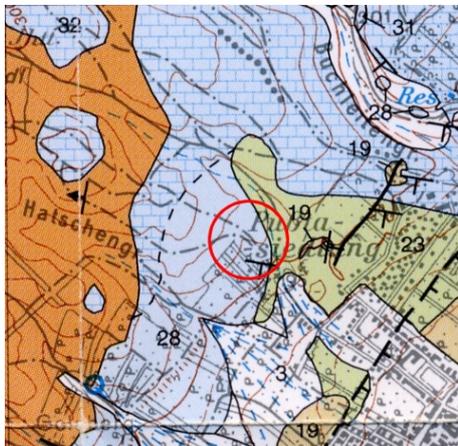


Abbildung 3.1-15:
Scan der Geologischen Karte 1:50.000
Blatt 78 (Rust) 1993

Der geologische Aufbau gliedert sich in tertiäre Tonmergel, Sand und Schotter des Sarmatiums (hellgrün) sowie des Badeniums (blau).

An diesem Standort konnte ein etwa 50 m von den angebohrten Schwarzkiefern entfernter künstlicher Aufschluss genutzt werden (Puz01). Das Profil Puz02 wurde auf o. g. Kuppe (Abbildung 3.1-14) zwischen den Bäumen erbohrt.

23	Tonmergel, Sand, Schotter, Kalk, nicht differenziert
28	Tonmergel, Sand, Schotter, Kalk, nicht differenziert

Der Aufschluss Puz01 (Abbildungen 3.1-16 und 3.1-17) zeigt eine geringmächtige Kalklehm-Rendzina auf Mergel über anstehendem Leithakalk.

Zwischen A-Bv und A-Cv befinden sich größere und kleinere Steine in wirrer Lagerung. Der A-Cv- und der Cv1-Horizont unterscheiden sich nicht in der Farbe, aber in der Korngröße und im Skelettgehalt. Die Basislage (Cv2) besteht aus Solifluktionsschutt: Die Steine – auch große Brocken – sind mit der Längsachse in Hangrichtung eingeregelt. Auch der Cv3 ist solifluidal verlagert, beinhaltet aber keine großen Steine und ist zementiert.

Der landschaftsgeschichtlich interessante Aufschluss zeigt, dass sich die Horizonte Cv2 und Cv3 hangabwärts in ihre heutige Lage bewegt haben. Darauf deuten zumindest die in Hangrichtung eingeregelteten Steine in der Bodenmatrix hin. Darüber fehlt die Hauptlage. Sie ist erodiert. Der Boden konnte sich also auch nach der solifluidalen Verlagerung nicht ungestört entwickeln.

Der künstliche Aufschluss (einer von mehreren) und ein Steinbruch in der näheren Umgebung lassen auf eine anthropogene Störung in jüngerer Zeit schließen.

Wegen der lockeren Lagerung der oberen Horizonte und des hohen Skelettgehalts handelt es sich wahrscheinlich um einen sehr trockenen Standort. Abbildung 3.1-17 zeigt auch, dass der für die Durchwurzelung nutzbare Raum stark eingeschränkt ist – insgesamt herrschen hier also keine idealen Bedingungen für das Baumwachstum.

Puz01		Bodentyp: Kalklehm-Rendzina			
		Horizontbeschreibungen			
		Farbe	Bodenart	Lage	Beschreibung
0	A-Bv	7,5YR 4/4	brown	nicht bestimmt	humose und braune Flecken, locker, umgelagert, kleine und größere Gesteinsbrocken
25	A-Cv	inhomogen grau, dunkel, weiß		nicht bestimmt	locker
45	Cv1	inhomogen grau, dunkel, weiß		grusig mit Schluff- anteil	mittlere und kleinere Steine
60	Cv2	10YR 7/4	very pale brown	Mergel, Grus, kleinere Steine	LB dicht, eingeregelt Steine in Hang- richtung, auch große Brocken
95	Cv3	10YR 7/4	very pale brown	Gesteins- brocken und Grus	dicht, solifluidal verlagert, keine großen Brocken, zementiert
150	Leithakalk	nicht bestimmt		---	zersetzt

Abbildung 3.1-16: Profil Pusztasiedlung 01 - Aufschluss

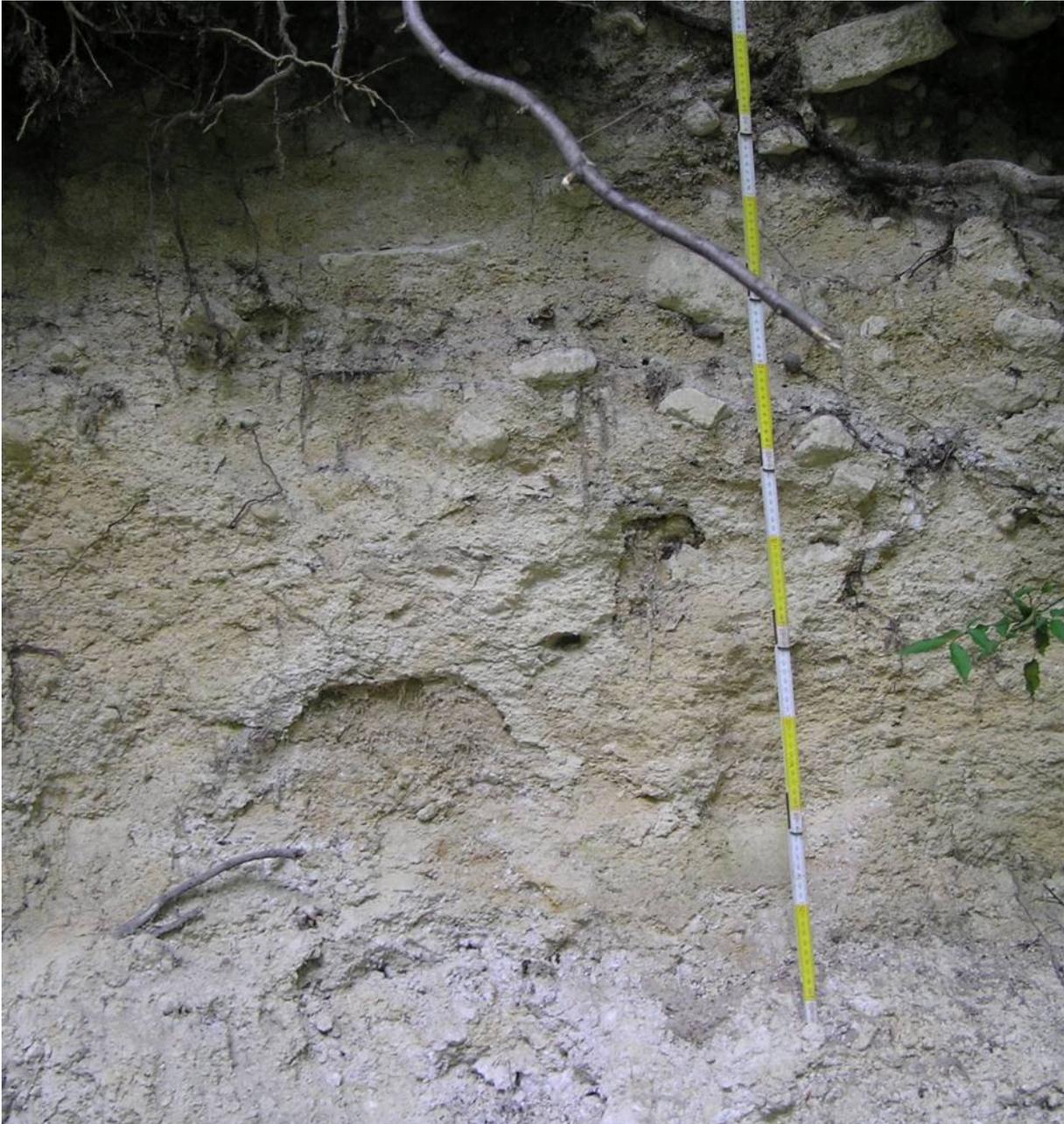


Abbildung 3.1-17: Aufschluss Puz01

Abbildung 3.1-18 zeigt das Profil Pusztasiedlung 02 – eine Protorendzina. Der 40 cm mächtige Ahb-Horizont ist locker gelagert und hat einen Sandanteil von etwa 50%. Auch der Cv ist sehr locker gelagert und besteht aus Kalksteinsand und Grus. Aus der lockeren Lagerung und der Korngröße ergibt sich eine sehr gute Durchlässigkeit des Substrats.

Der Standort Pusztasiedlung kann insgesamt als extrem trocken eingestuft werden. Das basische Milieu und das Überangebot an Calcium lassen wenige andere pflanzenverfügbare Nährstoffe zu, weil die Austauscher von Ca blockiert sind. *Pinus nigra* verträgt solche Kalkstandorte jedoch relativ gut.

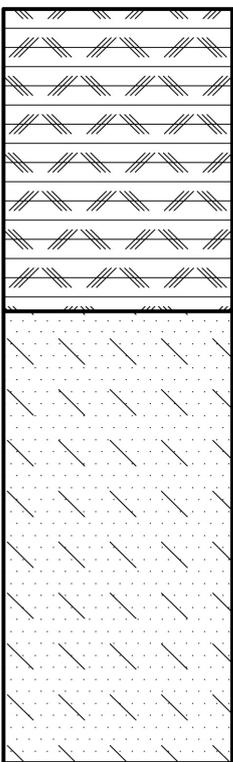
Puz02 	Bodentyp: Protorendzina			
	Horizontbeschreibungen			
	Farbe	Bodenart	Lage	Beschreibung
	0	Ahb	40	Cv
	nicht bestimmt	sandig-schluffig etwa 50:50		Kalkgestein
	2,5Y 8/3	pale yellow	Grus, Sand	locker gelagert, Sand aus Kalkgestein

Abbildung 3.1-18: Profil Pusztasiedlung 02

3.1.5 STANDORT SONNENBERG

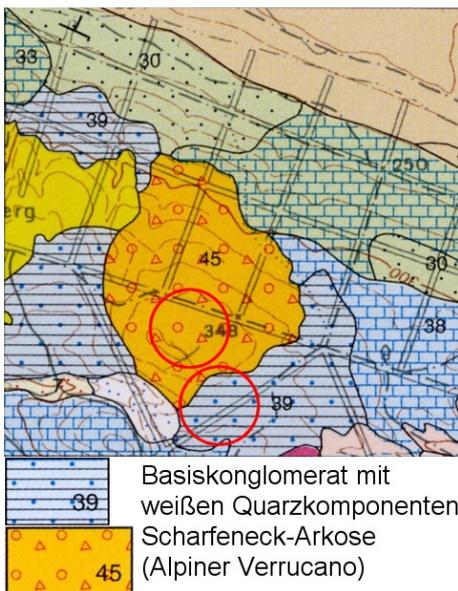


Abbildung 3.1-19:
Scan der Geologischen Karte 1:50.000
Blatt 77 (Eisenstadt) 1994

Der Sonnenberg ist die höchste Erhebung des Leithagebirges. Der Probenstandort befindet sich an dessen Nordhang etwa 3,5 km nordöstlich vom Ortszentrum von Hornstein. Er ist somit der westlichste aller untersuchten Standorte.

Hier wurden sowohl Proben von Eichen als auch von Schwarzkiefern genommen. Diese wachsen allerdings nicht vergesellschaftet, sondern separat, aber in unmittelbarer räumlicher Nähe.

Der geologische Untergrund (Abbildung 3.1-19) wird am Schwarzkiefernstandort von unterostalpiner Scharfeneck-Arkose gebildet. Die Eichen stehen auf tertiärem Basis-konglomerat mit weißen Quarzkomponenten.

3.1.5.1 Standort Sonnenberg Schwarzkiefern

Der Standort weist kleinräumige Reliefunterschiede auf. Mit 2 bis 5° Neigung ist er zwar insgesamt relativ flach, aber das Mikrorelief ist ausgeprägt und weist kleine Kuppen und Vertiefungen auf.

Am Schwarzkiefernstandort findet man Heidelbeeren, die als Säureanzeiger gelten, und Gräser, die als Feuchteanzeiger zu interpretieren sind. Zum Teil ist die Auflage nur 5 bis 15 cm mächtig.



Abbildung 3.1-20: Standort Sonnenberg Schwarzkiefern

Beim Profil Son01 handelt es sich um eine Braunerde. Im gesamten Bohrstock ist kein Carbonatgehalt nachweisbar.

Die organische Auflage (hauptsächlich Kiefernadeln) ist mit 10 cm relativ mächtig, wird also nur langsam zersetzt. Es tritt keine eindeutige Podsolierung auf, der Boden ist zu jung, aber sauer. Die Mineralbodenhorizonte sind grusig und weisen generell einen hohen Skelettgehalt auf. Wasser kann hier also trotz der Tiefgründigkeit des Bodens kaum gespeichert werden.

Son01		Bodentyp: Braunerde			
		Horizontbeschreibungen			
		Farbe		Bodenart	Lage
0	F	nicht bestimmt		Sand, Feinsand, wenig Schluff	organische Auflage
10	H	2,5YR 2,5/1	reddish black	schluffig- lehmiger Sand	Übergang Auf- lage – Humus
19	Ahb	5YR 2,5/1	black	stark sandiger Lehm	hoher Grusan- teil, Skelettge- halt
34	Bv	10YR 4/4	dark yellowish brown	schwach toniger Lehm	skelettreich, gru- sig, Steine bis 1 cm, unten: Übergang zu C
53	C	10YR 6/3	pale brown inhomogen	Sandstein- grus, Mittel- und Grobsand	überwiegend Skelett, ab 60 cm sehr dicht
75					

Abbildung 3.1-21: Profil Sonnenberg 01

Son02		Bodentyp: Pseudogley			
		Horizontbeschreibungen			
		Farbe		Bodenart	Lage
0	F	2,5YR 2,5/1	reddish black	nicht bestimmt	organische Auf- lage
8	H	inhomogen, Übergang zwischen F und Ahb		sandig- lehmiger Schluff	
18	Ahb	2,5Y 4/4	olive brown inhomogen	schwach toniger Lehm	enthält noch Humus
60	P	10YR 5/4	yellowish brown	sandig-toniger Lehm	grau mit brau- nen Flecken, extrem dicht
80	S	7,5YR 4/6	strong brown		
93					

Abbildung 3.1-22: Profil Sonnenberg 02

Der Bohrkern Son02 wurde im Gras (Feuchteanzeiger) gezogen. Im Profil ist kein Carbonat nachweisbar. Im Unterschied zu Profil Son01 handelt es sich hier um einen Pseudogley.

Die Auflagehorizonte (F und H) von Son02 entsprechen im Wesentlichen jenen von Profil Son01, der Ahb ist aber wesentlich mächtiger und statt eines Verbraunungshorizonts schließt darunter ein extrem dichter, durch Reduktion und Oxidation geprägter P-Horizont über einem Stauhorizont an. Hier wird also Wasser gestaut.

<p>Son03</p> <p>0 M 10 Ahb 20 Arkose</p>	Bodentyp: Grobmaterialrohboden				
	Horizontbeschreibungen				
	Farbe		Bodenart	Lage	Beschreibung
	nicht bestimmt		Lehmton oder Schluff		Wurzelfilz
10R 2,5/1	reddish black	schwach toniger Lehm		Krümelgefüge	
nicht bestimmt		---			

Abbildung 3.1-23: Profil Sonnenberg 03

Das Profil Son03 wurde nicht erbohrt, sondern gegraben. Es zeigt dichten Wurzelfilz über einem 10 cm mächtigen Ahb-Horizont direkt auf Arkose. Auf Grund der Korngröße kann dieser zwar schon Wasser speichern, aber wegen der geringen Mächtigkeit ist die gespeicherte Menge entsprechend gering.

Die Profile Son01, Son02 und Son03 verdeutlichen die großen pedologischen Unterschiede, die auf kleinstem Raum innerhalb eines Standorts auftreten können. Gemeinsam ist ihnen lediglich die im Vergleich zu allen bisher betrachteten Standorten relativ mächtige organische Auflage. Diese langsame Zersetzungsrate lässt auf einen sauren Standort schließen. Die Profile Son01 und Son03 weisen auf einen eher trockenen Standort hin. Die räumliche Verbreitung des Pseudogleys (Son02) ist allerdings nicht bekannt und muss deshalb als Unsicherheitsfaktor berücksichtigt werden.

3.1.5.2 Standort Sonnenberg Eichen

Der Eichenstandort am Sonnenberg wird von einem lichten Bestand gebildet, es gibt jedoch kaum Unterwuchs. Das Relief ist weitgehend flach, weist aber großflächige, flache Senken auf. Die beiden aufgenommenen Profile zeigen wieder große Unterschiede innerhalb des Standorts.

Son04 	Bodentyp: Grobmaterialrohboden				
	Horizontbeschreibungen				
	Farbe		Bodenart	Lage	Beschreibung
	nicht bestimmt		---		Auflage, Wurzelfilz
7,5YR 3/2	dark brown	schluffig- lehmiger Sand		extrem dicht, Gruskörner → Podsolierung	
nicht bestimmt		---			

Abbildung 3.1-24: Profil Sonnenberg 04

Profil Son04 wurde wie Son03 auf Grund seiner geringen Mächtigkeit nicht erbohrt, sondern gegraben. Es handelt sich ebenso um einen Grobmaterialrohboden – diesmal auf Konglomerat. Der Ahb-Horizont ist aber extrem dicht und weist Podsolierungserscheinungen auf. Auch an diesem Standort ist der Boden also sauer. Schon wegen seiner geringen Mächtigkeit kann dieser Boden nicht viel Wasser aufnehmen.

Son05 	Bodentyp: Pseudogley				
	Horizontbeschreibungen				
	Farbe		Bodenart	Lage	Beschreibung
	nicht bestimmt		---		Auflage, teilweise mineralisiert
	7,5YR 2,5/1	black	schwach toniger Lehm		
	7,5YR 3/1	very dark grey nach unten hin heller	sandig- toniger Lehm		Kolluvium
	7,5YR 7/2	pinkish grey	Sand		
7,5YR 6/1	grey Reduktion	stark sandiger Ton		intensiv grau und braun gefleckt, grusig, nach unten hin sandiger und dicht, Korngröße inhomogen	
7,5YR 5/8	strong brown Oxidation				

Abbildung 3.1-25: Profil Sonnenberg 05

Beim Profil Son05, das in einer der zuvor erwähnten Senken aufgenommen worden ist, handelt es sich um einen Pseudogley, bei dem bereits im A-Horizont leichter Stauwassereinfluss erkennbar ist. Die Sandlage ist grau, weil sich darunter der Stauhorizont befindet. Die Färbung der Oxidationsflecken im S-Horizont ist sehr intensiv.

Der Eichenstandort am Sonnenberg weist wie im Bereich der Schwarzkiefern ein saures Milieu auf. Die Bodentypen und -mächtigkeiten sind kleinräumig stark unterschiedlich – und somit auch die Wasserversorgung der Bäume.

3.1.6 STANDORT WILDER JÄGER

Der Schwarzkiefernstandort Wilder Jäger liegt ca. 3 km südlich von Stotzing am Kamm des Leithagebirges und somit direkt an der Wasserscheide des Neusiedler Seebeeinzugsgebiets. Die Bäume sind nur durch einen schmalen Wiesenstreifen von der Straße getrennt. Es gibt kaum Unterwuchs.



Abbildung 3.1-26: Standort Wilder Jäger

Der Untergrund wird hier von unterostalpinem Glimmerschiefer mit Feldspat bzw. mit Biotit und Granat gebildet. Das Relief am Standort ist flach bis max. 2° geneigt.

Die beiden analysierten Bodenprofile sind trotz des einheitlichen geologischen Untergrunds (siehe Abbildung 3.1-27) sehr unterschiedlich.

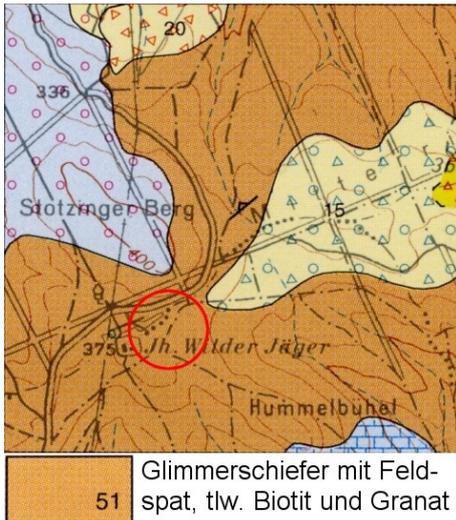


Abbildung 3.1-27:
Scan der Geologischen Karte 1:50.000
Blatt 77 (Eisenstadt) 1994

Das Profil Wjg01 (Abbildung 3.1-28) wurde nahe an der Straße erbohrt. Die Geländeoberfläche wirkt anthropogen verändert, vielleicht durch den Straßenbau, der erst vor ein paar Jahren abgeschlossen wurde. Es gibt viele kleine Kuppen und kaum Unterwuchs, bei mehr Licht aber Brombeeren.

Es handelt sich um eine Braunerde, der fehlende Bv-Horizont lässt aber darauf schließen, dass der Boden erodiert und somit in seiner Entwicklung gestört ist. Der Cv-Horizont ist zwar dicht, hat aber mit über 50% einen hohen Skelettgehalt. Im Profil ist Carbonat in geringen Mengen nachweisbar.

Wegen der geringen Mächtigkeit des A-Horizonts und der Korngröße des Cv-Horizonts würde man auf Grund dieses Profils den Standort als trocken einstufen.

Wjg01		Bodentyp: erodierte Braunerde			
		Horizontbeschreibungen			
		Farbe	Bodenart	Lage	Beschreibung
0	A	10YR 3/2	very dark greyish brown	schwach toniger Schluff	
8	A-Cv	Übergang zwischen A und Cv		sandig-lehmiger Schluff	kleine Steine
20	Cv	10YR 5/3	brown	schwach lehmiger Sand	nach unten hin dichter, viele Steine, werden nach unten hin mehr
50					

Abbildung 3.1-28: Profil Wilder Jäger 01

Das Profil Wjg02 (Abbildung 3.1-29) liegt 20 m weiter im Wald und etwa 0,5 m tiefer als Wjg01. Es konnte kein Carbonat nachgewiesen werden.

Wjg02		Bodentyp: Kolluvisol				
		Horizontbeschreibungen				
		Farbe		Bodenart	Lage	Beschreibung
0	Ahb	10YR 3/2	very dark greyish brown	sandiger Lehm		
5	Ab	10YR 4/3	brown		schwach toniger Lehm	leicht verbraunt
20		2,5Y 4/4	olive brown		schwach toniger Lehm	leicht humos
30	Bh	2,5Y 5/4	light olive brown		schwach toniger Lehm	humos, Kolluvium
50	B					
70	Cg1	inhomogen		sandig- toniger Lehm	nicht mehr humos, Cg1 dicht, Cg2 sehr dicht, grau und braun gefleckt, ver- einzelt Steine	
	Cg2					

Abbildung 3.1-29: Profil Wilder Jäger 02

Hier ist der Standort nicht mehr trocken. Es wachsen hier auch keine Schwarzkiefern mehr, sondern nur noch Laubbäume. Bei der Probennahme konnte festgestellt werden, dass an mehreren Stellen das Wasser der letzten Niederschläge stehen geblieben ist, was auf stauenden Untergrund schließen lässt.

Die beiden untersten Horizonte Cg1 und Cg2 sind grau und braun gefleckt, was als Hydromorphie zu deuten ist, und enthalten vereinzelt Steine. Der Cg2 unterscheidet sich vom Cg1 durch seine höhere Dichte. Darüber liegt der B-Horizont. Zumindest teilweise wurde er von hangaufwärts (siehe Profil Wjg01) abgespült. Bei Wjg01 fehlt er und hier ist er mit 20 cm relativ mächtig. Er besteht so wie die zwei darüber liegenden Horizonte aus schwach tonigem Lehm und ist humos. Der Bh ist ebenfalls leicht humos, der Ab leicht verbraunt. Über dem Ab liegt noch ein geringmächtiger Ahb.

Die Wasserspeicherkapazität dieses Bodens kann wegen der Korngröße (siehe Horizontbeschreibung) und der stauenden C-Horizonte als sehr hoch eingeschätzt werden.

3.1.7 STANDORT ZEILERBERG



Abbildung 3.1-30: Standort Zeilerberg

Der Zeilerberg liegt etwa 2,5 km nordwestlich von Jois. Schwarzkiefern wachsen hier auf einem steilen Hang (etwa 20° Neigung) neben Trockenrasen auf einem flachen Rücken mit typischen Pflanzen der Trockenrasengesellschaft. Neben der Zwerg-Schwertlilie (Abbildung 3.1-31) und der Zypressenwolfsmilch (Abbildung 3.1-32) wurden noch der Rote Wiesenknopf und die Rote Lichtnelke beobachtet.



Abbildung 3.1-31: Zwerg-Schwertlilie



Abbildung 3.1-32: Zypressenwolfsmilch

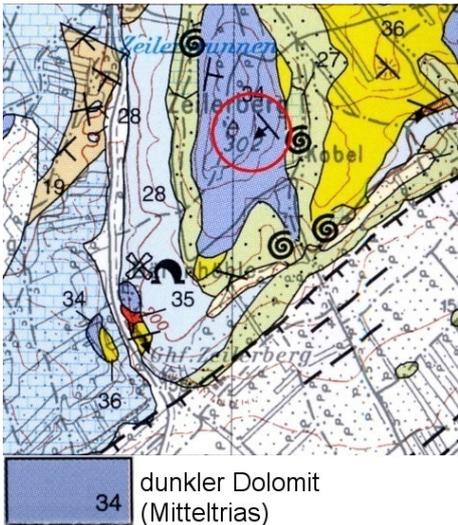


Abbildung 3.1-33:
Scan der Geologischen Karte 1:50.000
Blatt 78 (Rust) 1993

Die Schwarzkiefern stehen auf dunklem Dolomit aus der Mitteltrias.

Die zwei aufgenommenen Profile wurden nicht erbohrt, sondern wegen ihrer geringen Mächtigkeit gegraben. Sie zeigen einen pedologisch einheitlichen, sehr trockenen Standort mit extrem geringmächtiger, sandiger Auflage und somit sehr geringer Wasserspeicherkapazität.

Das Profil Zeb01 wurde auf der ebenen Fläche im Trockenrasen entnommen.

Zeb01 	Bodentyp: Carbonathaltiger Grobmaterialrohboden			
	Horizontbeschreibungen			
	Farbe	Bodenart	Lage	Beschreibung
	nicht bestimmt schwarz-grau	Sand, schwach schluffig		Einzelkornggefüge kein Carbonat nachweisbar
	nicht bestimmt	---	Schutt Carbonat nachweisbar	

Abbildung 3.1-34: Profil Zeilerberg 01

Zeb02 wurde am Hang zwischen den Schwarzkiefern an einem umgestürzten Baum aufgenommen. Das späte Aufsäumen bei der Carbonatprüfung mittels Salzsäure lässt auf Magnesiumcarbonat schließen.

Zeb02 	Bodentyp: Carbonathaltiger Grobmaterialrohboden			
	Horizontbeschreibungen			
	Farbe	Bodenart	Lage	Beschreibung
	nicht bestimmt schwarz-grau	Sand, schwach schluffig		Einzelkornggefüge 0 bis 5 cm: kein Carbonat nachweisbar, darunter stellenweise carbonathaltig, schäumt erst spät auf
	nicht bestimmt	---	Schutt Carbonat nachweisbar	

Abbildung 3.1-35: Profil Zeilerberg 02

3.1.8 ZUSAMMENFASSUNG

Hinsichtlich der Wasserspeicherkapazität des Bodens und der damit verbundenen Wasserversorgung der Bäume lassen sich die im Gelände erhobenen landschafts-ökologischen Informationen wie folgt zusammenfassen:

- Der Standort Hanftalwald (Eichen) ist pedologisch einheitlich. Die Braunerde kann weder als besonders feucht noch als besonders trocken interpretiert werden, allerdings ist der Boden gut durchlässig.
- Am Eichenstandort Hinterwaldriegel wurden zwei Braunerde-Profile erbohrt, die ähnlich wie die vorigen weder besonders feucht noch besonders trocken zu sein scheinen. Das dritte Profil – ein Kolluvisol – zeigt allerdings einen Boden, der durchaus Wasser speichern kann.
- Die Pedologie des Standorts Müller Anhöhe zeigt ebenso wie die Vegetation einen Übergang von trockeneren (Braunerde) zu feuchteren Bereichen (Pseudogley-Braunerde).
- Am Schwarzkiefernstandort Pusztasiedlung ist der Boden geringmächtig und durchlässig. Sowohl die Kalklehmrendzina (Aufschluss Puz01) als auch die Protorendzina (Puz02) weisen einen extrem trockenen Standort aus.
- Am Sonnenberg wachsen Schwarzkiefern und Eichen.
Der Schwarzkiefernstandort ist sauer und kleinräumig stark unterschiedlich. Die Profile zeigen Braunerde, Pseudogley und Grobmaterialrohboden. Insgesamt scheint der Standort eher trocken zu sein, die Verbreitung des Pseudogleys ist jedoch im Rahmen dieser Arbeit nicht festzustellen.
Der Boden am Eichenstandort ist ebenfalls sauer und hat wegen seiner geringen Mächtigkeit wenig Wasserspeicherkapazität. Auch hier weisen die unterschiedlichen Profile (Son04 – Grobmaterialrohboden und Son05 – Pseudogley) auf kleinräumige Unterschiede in der Pedologie hin.
- Der Schwarzkiefernstandort Wilder Jäger liegt pedologisch gesehen in einem Übergangsbereich von trocken (erodierte Braunerde) zu feucht (Kolluvisol). Die beprobten Schwarzkiefern stehen aber zum Großteil im trockeneren Bereich.
- Der Zeilerberg (Schwarzkiefern) ist neben der Pusztasiedlung der trockenste aller Probenstandorte. Beide Profile zeigen carbonathaltige Grobmaterialrohböden, die praktisch kein Wasserspeichervermögen besitzen.

Auf Grund der angenommenen Wasserspeicherkapazität der Böden lassen sich die Standorte Zeilerberg und Pusztasiedlung als extrem trocken interpretieren. Kleinräumig sehr unterschiedlich, insgesamt aber auch eher trocken sind Schwarzkiefern- und Eichenstandort Sonnenberg. Weder besonders trocken noch besonders feucht scheint der Standort Hanftalwald zu sein. Hinterwaldriegel, Müller Anhöhe und Wilder Jäger sind pedologisch betrachtet an Übergängen zu feuchten Bereichen situiert.

3.2 Standortchronologien

Wie bereits in Kapitel 1.3.3.6 und 2.2.2 beschrieben, müssen dendrochronologische bzw. dendroklimatologische Rohdaten mittels Crossdating synchronisiert werden. Tabelle 3.2-01 fasst die Ergebnisse der Synchronisation, die mit dem Programm COFECHA (HOLMES 1994) überprüft worden sind, zusammen.

Tabelle 3.2-01: Überprüfung der Synchronisation durch COFECHA-Ergebnisse

	interval		flags	trees	samples	correlation with master	mean sensitivity
GeoEW			3			.548	.258
GeoLW	1830	2007	0	4	8	.670	.557
GeoRW			0			.625	.279
HanEW			5			.510	.201
HanLW	1886	2007	2	14	28	.798	.454
HanRW			0			.824	.303
HwrEW			41			.296	.170
HwrLW	1910	2007	0	15	29	.611	.318
HwrRW			0			.606	.230
MueEW			40			.372	.176
MueLW	1882	2007	1	14	28	.704	.384
MueRW			0			.704	.247
PuzEW			1			.534	.274
PuzLW	1911	2007	0	15	26	.708	.476
PuzRW			0			.630	.287
SonPNEW			0			.537	.282
SonPNLW	1896	2007	0	17	33	.690	.489
SonPNRW			0			.640	.289
SonQSEW			60			.393	.171
SonQSLW	1819	2007	3	16	29	.658	.352
SonQSRW			0			.654	.217
WjgEW			2			.605	.299
WjgLW	1888	2007	8	14	27	.636	.419
WjgRW			1			.662	.284
ZebEW			0			.676	.312
ZebLW	1881	2007	0	15	31	.737	.520
ZebRW			0			.722	.316

EW earlywood Frühholz PN *Pinus nigra* Schwarzkiefer
 LW latewood Spätholz QS *Quercus spp.* Eiche
 RW ringwidth Jahrringbreite

Die in der Tabelle noch auftretenden Fehler (flags) konnten durch visuelle Überprüfung der Kurven nicht verifiziert werden. Es handelt sich dabei also nicht um Synchronisationsfehler. Auffällig sind dennoch die sehr hohen Frühholz-Fehlerwerte bei den Standorten Hinterwaldriegel, Müller Anhöhe und Sonnenberg (Eichen). Sie stehen in krassem Gegensatz zu den beinahe fehlerlosen Spätholz- und Jahrringbreiten. Bei der Sensitivität (mean sensitivity) fällt auf, dass hier bei allen Standorten die Frühholzwerte am niedrigsten sind. Das deutet darauf hin, dass von den drei gemessenen Parametern das Frühholz am wenigsten auf die Faktoren, die das Wachstum limitieren, reagiert. Auch bei der Korrelation der einzelnen Bohrkerne mit der Standortchronologie (correlation with master) liegt das Frühholz stets an letzter Stelle. Das Spätholz hingegen weist hier bei fast allen Standorten die höchsten Werte auf. Das heißt, dass wie bei den von STRUMIA, WIMMER und GRABNER (1997) untersuchten Schwarzkiefern die individuellen Unterschiede zwischen den Bäumen beim Spätholz geringer sind als beim Frühholz.

Die Standorte mit den höchsten Korrelationswerten sind Hanftalwald (Eiche), Müller Anhöhe (Eiche) und Zeilerberg (Schwarzkiefer), die höchsten Sensitivitätswerte findet man an den Standorten St. Georgen (Schwarzkiefer), Sonnenberg (Schwarzkiefer) und Zeilerberg. Dass sich die Bäume eines Standortes gut synchronisieren lassen, ist also noch kein Beweis dafür, dass sie sensitiv sind. Eine hohe Gleichläufigkeit bedeutet also nicht zwingend eine hohe Sensitivität.

Insgesamt konnten 239 Proben synchronisiert werden. Die Proben des Standorts St. Georgen wurden allerdings vor dem nächsten Bearbeitungsschritt, der Indexierung bzw. Standardisierung (Detrending), ausgeschlossen, da am Standort nur vier Baumindividuen von *Pinus nigra* vorgefunden worden waren und diese sich nicht mit jenen anderer Schwarzkiefernstandorte synchronisieren ließen.

Tabelle 3.2-02 zeigt die Ergebnisse der Indexierung. Wie die Software COFECHA (siehe Kapitel 2.2.2) berechnet auch das Programm ARSTAN (HOLMES 1994) die mean sensitivity (jetzt für die indexierten Proben). Die Werte stimmen zwar nicht zu 100% überein, trotzdem weisen wieder dieselben Standorte wie bei den COFECHA-Ergebnissen die höchste Sensitivität auf – der Standort Zeilerberg liegt gefolgt von Sonnenberg und Pusztasiedlung (alles Schwarzkiefern) an erster Stelle. Der Standort St. Georgen (Geo), der bei den COFECHA-Ergebnissen den dritten Platz belegt, kommt hier nicht mehr vor. Der Standort Pusztasiedlung (Puz) war in Tabelle 3.2-01 aber auf Platz vier, also bleibt die Reihenfolge gleich. Die Ergebnisse können somit als konsistent gesehen werden.

Tabelle 3.2-02: ARSTAN-Ergebnisse der Indexierung

	interval		trees	samples	mean	median	mean sensitivity
HanRW	1886	2007	14	28	1.006	.943	.302
HanEW					1.012	.994	.200
HanLW					1.027	.912	.451
HanLW%					1.000	1.012	.207
HwrRW	1910	2007	15	29	1.025	.983	.228
HwrEW					1.067	1.035	.169
HwrLW					1.067	1.005	.314
HwrLW%					1.000	1.003	.115
MueRW	1882	2007	14	27	1.010	.962	.250
MueEW					1.004	.986	.177
MueLW			14	28	1.029	.942	.387
MueLW%					1.000	1.009	.177
PuzRW	1911	2007	14	25	1.003	.986	.282
PuzEW					1.024	.991	.273
PuzLW			15	26	.981	.910	.469
PuzLW%					1.072	1.064	.325
SonPNRW	1896	2007	17	32	1.019	.958	.284
SonPNEW					1.018	.953	.276
SonPNLW			17	33	1.050	.950	.498
SonPNLW%					1.067	1.079	.336
SonQSRW	1819	2007	16	29	.993	.983	.215
SonQSEW					.997	.993	.168
SonQSLW					.990	.961	.348
SonQSLW%					.998	1.010	.177
WjgRW	1888	2007	14	27	.999	.921	.282
WjgEW					1.013	.912	.298
WjgLW					.990	.894	.418
WjgLW%					1.005	1.011	.278
ZebRW	1882	2007	15	30	1.001	.956	.315
ZebEW					1.003	.961	.310
ZebLW			15	31	1.005	.882	.502
ZebLW%					1.015	.974	.372

LW% latewood percentage Spätholzanteil

Auffällig ist, dass der Spätholzbreitenindex ausnahmslos an allen Probenstandorten die jeweils höchsten Sensitivitätswerte aufweist. Man kann also erwarten, dass er auch die höchste Klimasensitivität zeigen wird – dass er also am stärksten auf die jährliche Variabilität der untersuchten Klimaelemente (siehe Kapitel 3.3) reagiert.

Bei den Schwarzkiefern liegt an drei von vier Standorten der Spätholzanteilindex an zweiter Stelle. Der Spätholzanteil von Schwarzkiefern Ostösterreichs ging bereits bei STRUMIA (1999) in ein Modell zur Niederschlagsrekonstruktion ein.

In den folgenden Kapiteln 3.2.1 bis 3.2.8 werden die erstellten Standortchronologien von Jahringbreitenindex, Frühholzbreitenindex, Spätholzbreitenindex und Spätholzanteilindex grafisch dargestellt und kurz beschrieben. Zur besseren Vergleichbarkeit sind alle Grafiken für den Zeitraum 1815 bis 2010 skaliert, obwohl die Chronologien selbst unterschiedlich lang, jedenfalls aber kürzer sind.

3.2.1 HANFTALWALD

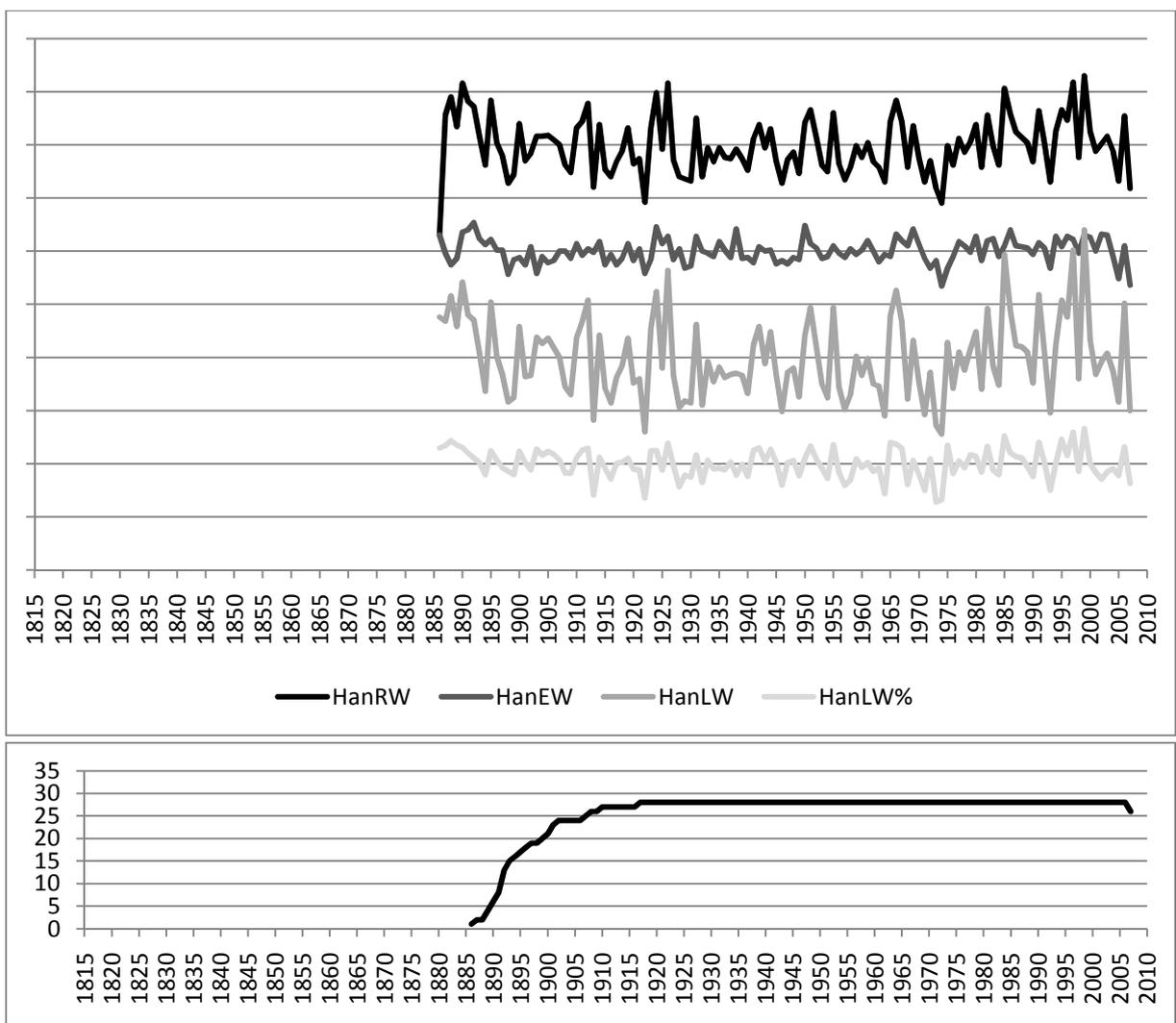


Abbildung 3.2-01: Standortchronologien und Probenanzahl Hanftalwald 1886 bis 2007

Die Eichenchronologien des Standorts Hanftalwald decken den Zeitraum 1886 bis 2007 ab. Sie weisen keinen wirklich ausgeprägten Trend über die Jahre auf. Der Spätholzbreitenindex variiert am stärksten und weist auch die höchste Sensitivität von allen vier Parametern auf (siehe Tabelle 3.2-02). Frühholz- und Spätholzanteilindex variieren am wenigsten.

3.2.2 HINTERWALDRIEGEL

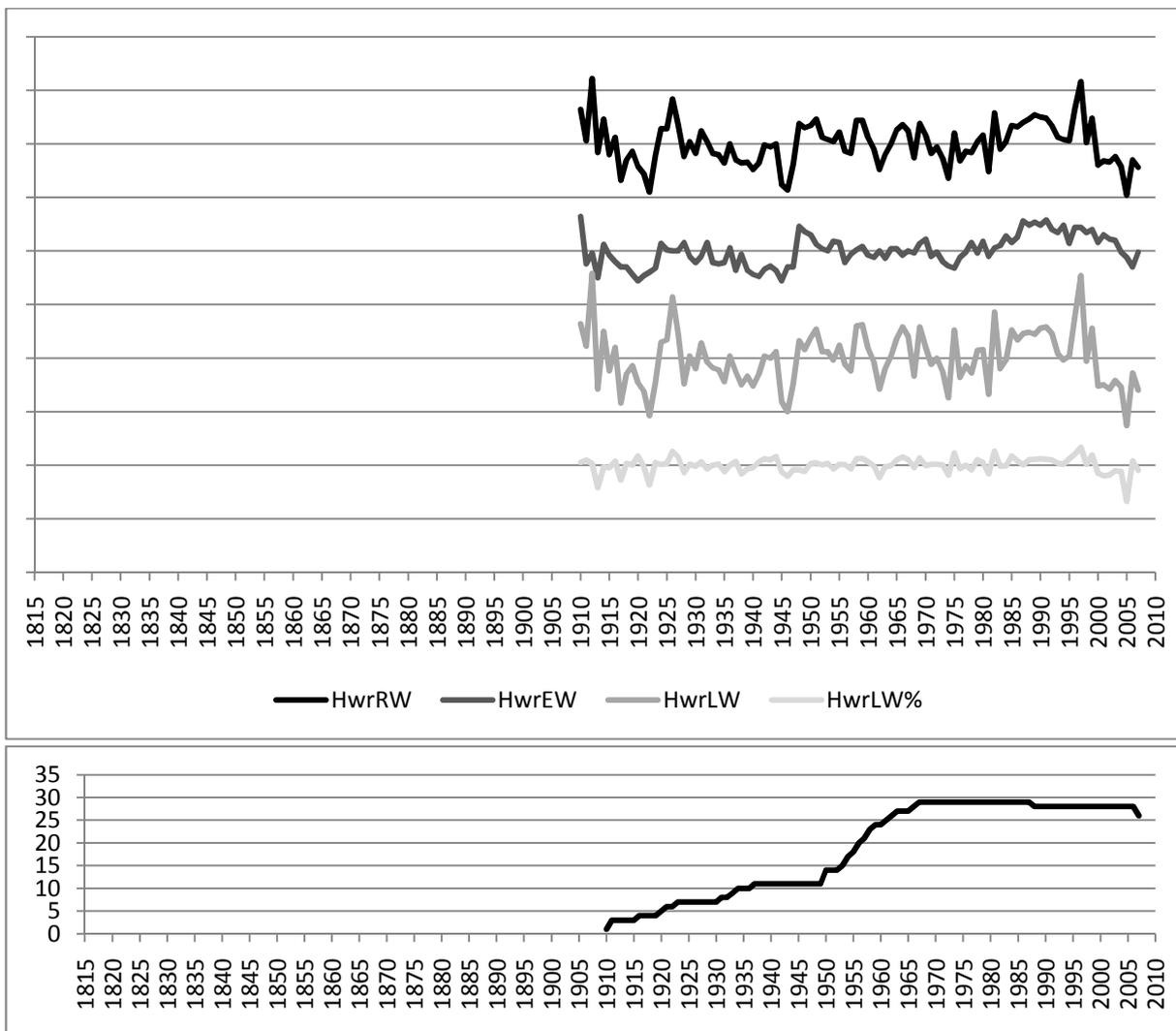


Abbildung 3.2-02: Standortchronologien und Probenanzahl Hinterwaldriegel 1910 bis 2007

Am Standort Hinterwaldriegel sieht die Situation anders aus. Die Eichenchronologien reichen vom Jahr 1910 bis ins Jahr 2007. Alle vier Parameter weisen im Zeitraum 1970 bis etwa 1995 einen positiven, danach wieder einen negativen Trend auf. Dies ist möglicherweise auf die Bewirtschaftungsform dieses Waldes zurückzuführen, der

als Niederwald mit 40-jähriger Umtriebszeit genutzt wird. Der Bestand war zum Zeitpunkt der Probennahme bereits sehr dicht. Die abnehmenden Jahrringbreiten könnten also ein Zeichen von Konkurrenz um Licht und Nährstoffe sein. Wie schon am Standort Hanftalwald variieren Jahrringbreiten- und Spätholzbreitenindex stärker als Frühholzbreiten- und Spätholzanteilindex.

3.2.3 MÜLLER ANHÖHE

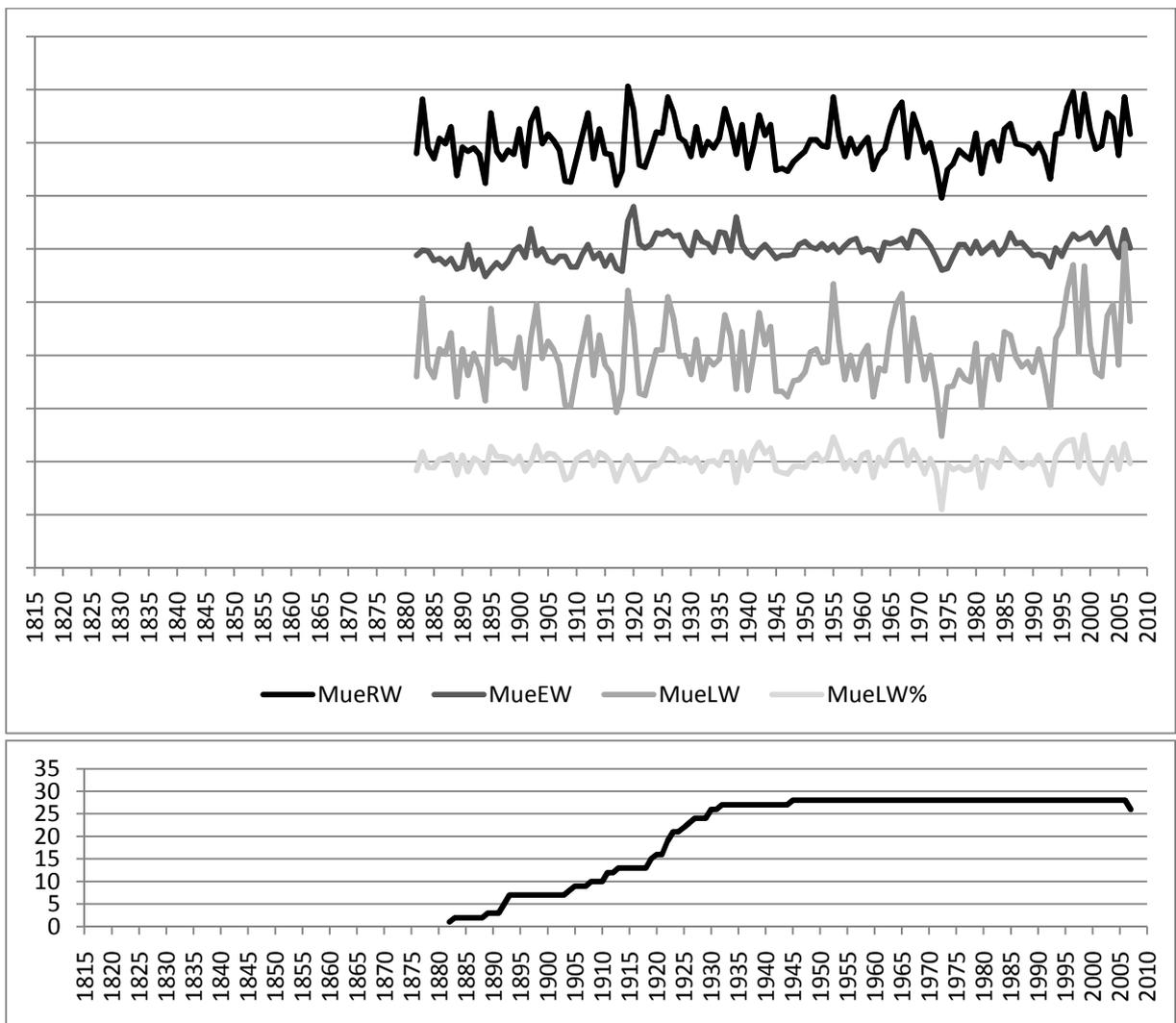


Abbildung 3.2-03: Standortchronologien und Probenanzahl Müller Anhöhe 1882 bis 2007

Am Standort Müller Anhöhe decken die Eichenchronologien den Zeitraum 1882 bis 2007 ab. Wieder variieren Jahrringbreitenindex und Spätholzbreitenindex stärker als Frühholzbreite und Spätholzanteil. Bei der Jahrringbreite ist von 1945 bis etwa 1990 ein tendenziell unterdurchschnittliches Wachstum zu erkennen. Noch stärker ausge-

prägt ist dies beim Spätholzanteil, der vor allem in den letzten 15 Jahren wieder zugenommen hat. Diese Trends könnten wie beim Standort Hinterwaldriegel auf die Bestandsdynamik zurückzuführen sein, es gibt hierzu jedoch keine Informationen.

3.2.4 PUSZTASIEDLUNG

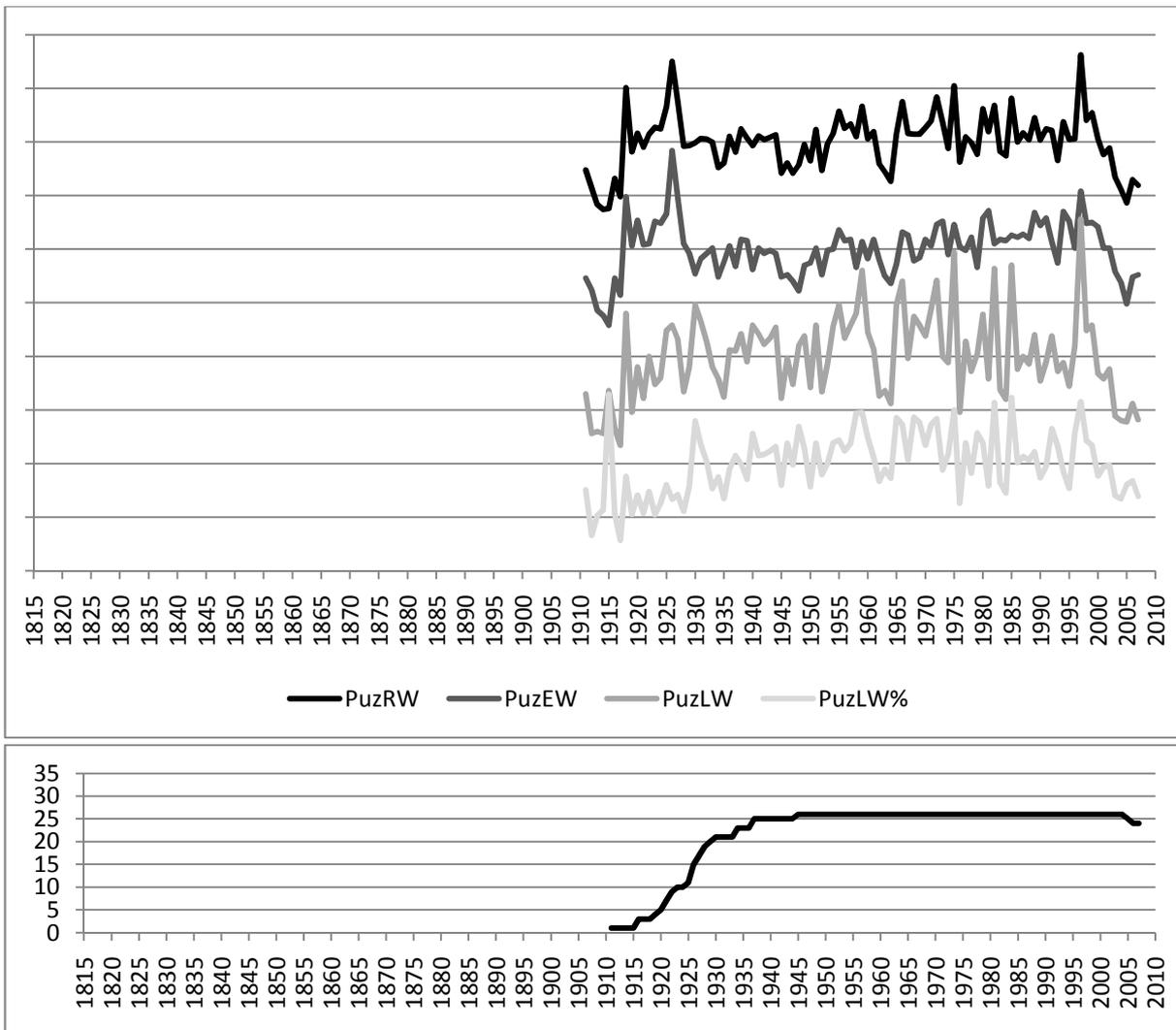


Abbildung 3.2-04: Standortchronologien und Probenanzahl Pusztasiedlung 1911 bis 2007

Die Schwarzkiefer-Standortchronologien am Standort Pusztasiedlung gehen bis ins Jahr 1911 zurück. Alle vier Parameter variieren stark – am stärksten ist die Variabilität beim Spätholzbreitenindex. Von 1935 weg ist bei allen Parametern eine leichte Tendenz nach oben erkennbar, die nach 1997 abrupt abreißt und sich aus den landschaftsökologischen Standortmerkmalen nicht erklären lässt. Der abrupte Eindruck des Rückgangs entsteht zum Teil aber auch dadurch, dass der Zuwachs im Jahr

1997 extrem groß war, was höchstwahrscheinlich auf die Niederschläge zurückzuführen ist. Die Station Neusiedl am See zeigt für dieses Jahr insgesamt zwar eher durchschnittliche Werte, der Juli-Niederschlag liegt mit 217 mm (Daten der ZAMG) aber weit über dem langjährigen Durchschnitt.

3.2.5 SONNENBERG – SCHWARZKIEFER

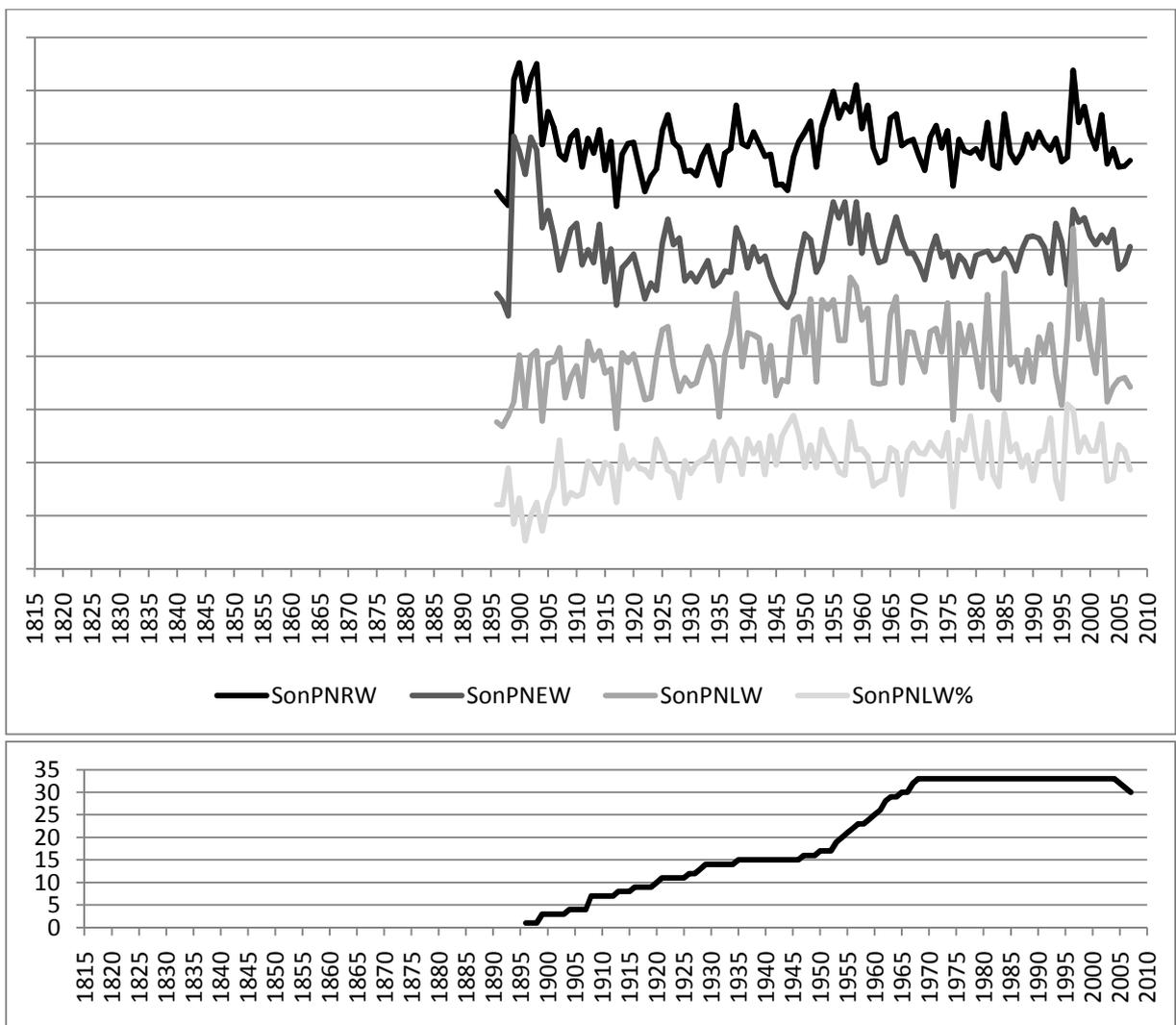


Abbildung 3.2-05: Standortchronologien und Probenanzahl Sonnenberg Schwarzkiefer 1896 bis 2007

Die Schwarzkiefernchronologien des Standorts Sonnenberg decken den Zeitraum 1896 bis 2007 ab. Die Variabilität ist bei allen Parametern stärker als bei den bisher beschriebenen Eichenchronologien, mit jener am Standort Pusztasiedlung (Schwarzkiefern) aber durchaus vergleichbar. Bei Jahrring- und Frühholzbreitenindex sind zum Teil andere Trends zu beobachten als bei Spätholzbreite und Spätholzanteil. Die

beiden oberen Kurven lassen zwei „Wellentäler“ erkennen – eines von 1896 bis etwa 1950 und das zweite von diesem Jahr weg bis 1997. Dies ist wohl auf die zwei unterschiedlichen Altersklassen von Bäumen zurückzuführen, die am Standort vorkommen. Der Jahrringbreitenindex nimmt von 1896 bis etwa 1945 ab und über die nächsten Jahre wieder zu. Zeitgleich steigt die Probenanzahl – d. h., dass am Standort jüngere Bäume aufwachsen, die mit ihrem tendenziell höheren Zuwachs die Chronologie dahingehend verändern. Anscheinend wurde durch das Detrending der Alterstrend nicht vollkommen eliminiert (siehe auch Kapitel 2.2.2 und 2.2.3). Das Jahr 1997 sticht ebenso wie beim Standort Pusztasiedlung positiv hervor.

3.2.6 SONNENBERG – EICHE

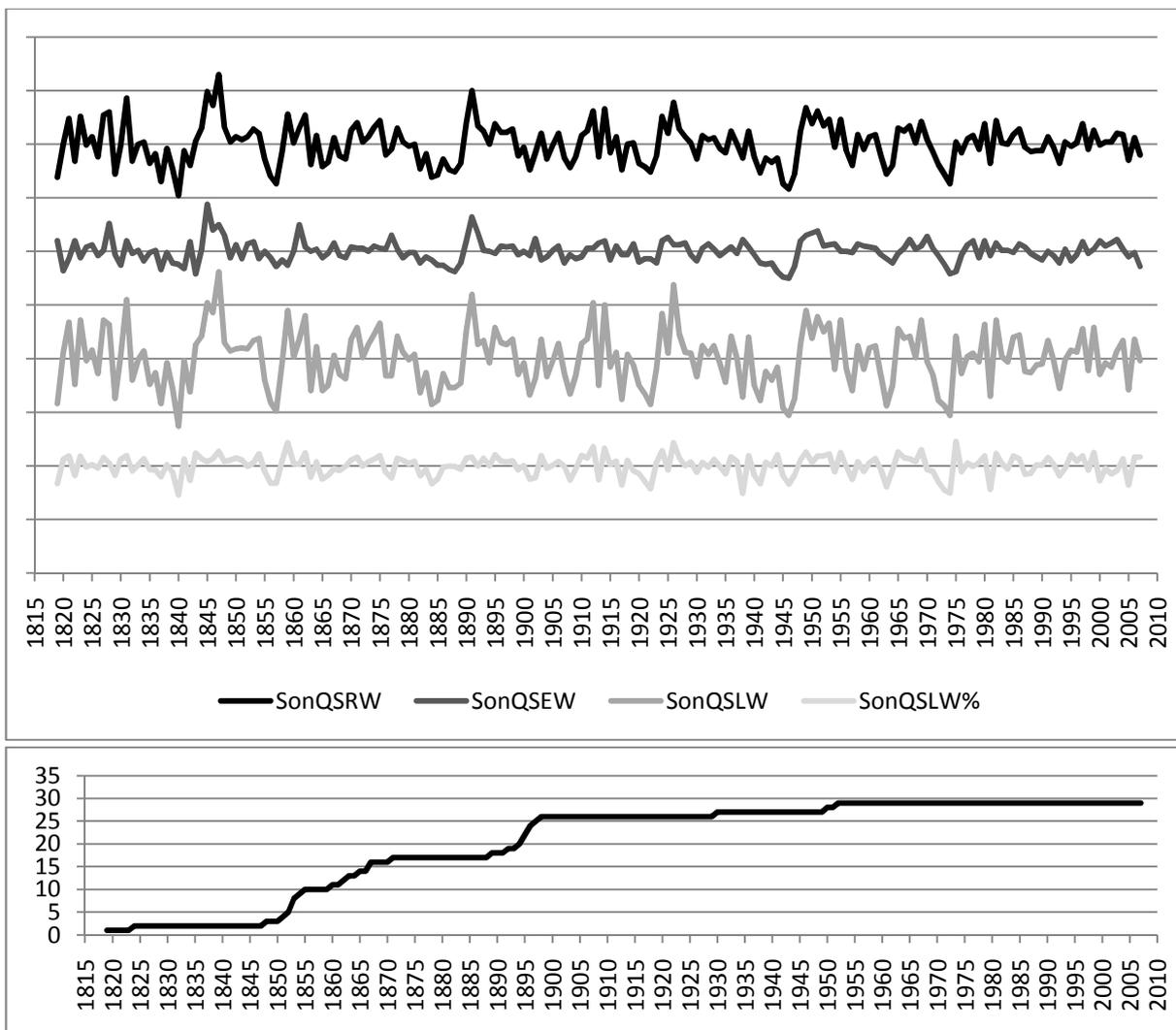


Abbildung 3.2-06: Standortchronologien und Probenanzahl Sonnenberg Eiche 1819 bis 2007

Die Eichenchronologien des Standorts Sonnenberg reichen von 2007 bis ins Jahr 1815 zurück und sind somit die längsten, die im Rahmen dieser Arbeit erstellt worden sind. Wie schon bei den bisher beschriebenen Eichenchronologien variieren sowohl Frühholzbreiten- als auch Spätholzanteilindex weniger stark als Jahrring- und Spätholzbreitenindex. Es ist kein langfristiger Trend erkennbar, aber v. a. bei Jahrring- und Spätholzbreitenindex sind wieder Unterschiede in der Variabilität erkennbar, was vermutlich an den unterschiedlichen Altersklassen von Bäumen liegt, die hier beprobt worden sind.

3.2.7 WILDER JÄGER

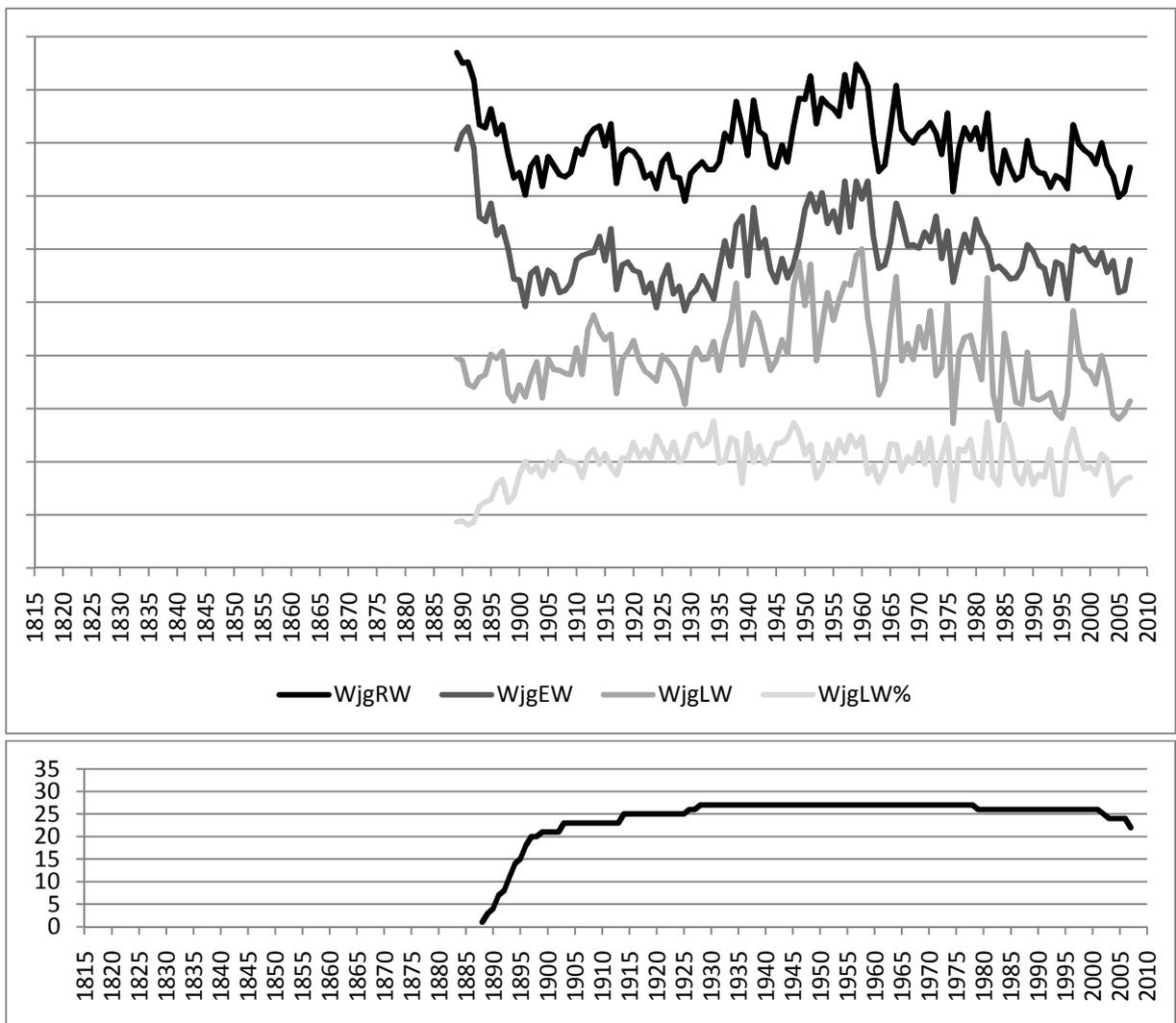


Abbildung 3.2-07: Standortchronologien und Probenanzahl Wilder Jäger 1889 bis 2007

Am Standort Wilder Jäger decken die Schwarzkiefernchronologien den Zeitraum 1889 bis 2007 ab. Das relativ einheitliche Alter der Bäume lässt auf eine Pflanzung schließen. Trotz der Standardisierung treten hier noch ausgeprägte Trends auf. Bei Jahrring-, Frühholz- und Spätholzbreitenindex ist z. B. ein Wellental von 1889 bis ca. 1960 festzustellen. Ab diesem Jahr ist die Zuwachstendenz eindeutig sinkend. Der Spätholzanteil steigt bis etwa 1960 an und bleibt dann relativ konstant. Die Ursache dieser und weiterer nicht beschriebener Trends kann hier nicht zweifelsfrei geklärt werden.

3.2.8 ZEILERBERG

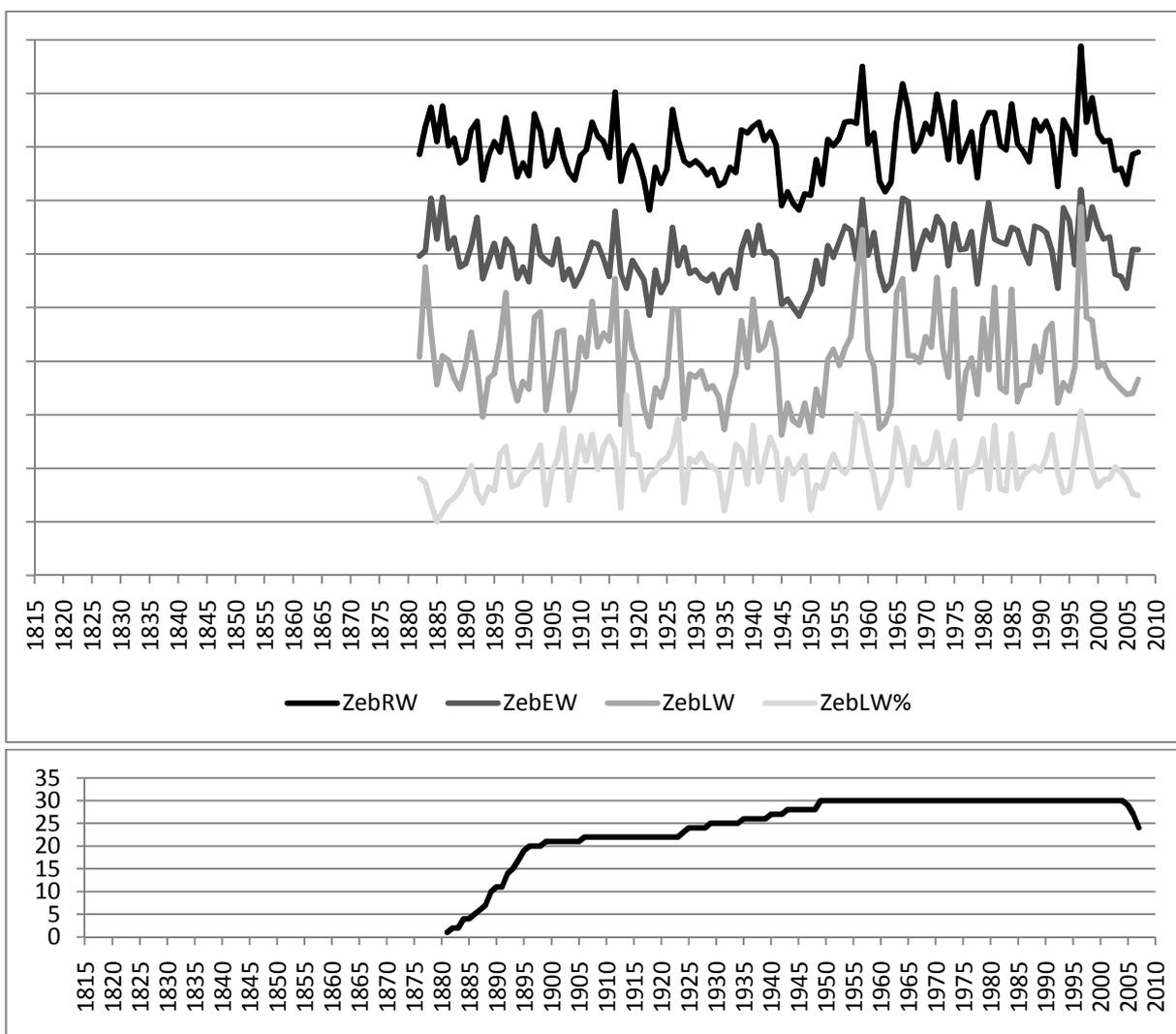


Abbildung 3.2-08: Standortchronologien und Probenanzahl Zeilerberg 1882 bis 2007

Die Schwarzkiefernchronologien des Standorts Zeilerberg decken den Zeitraum 1882 bis 2007 ab. Alle vier Parameter weisen – wie auch schon die anderen bisher beschriebenen Schwarzkiefernchronologien – eine hohe Variabilität auf. Es ist kein eindeutiger Zu- oder Abnahmetrend über die Jahre erkennbar, kurzfristig schwanken die Zuwächse aber zum Teil sehr stark, was darauf schließen lässt, dass das Wachstum stark von der jährlichen Klimavariabilität geprägt ist. Die hohen Sensitivitätswerte (siehe Tabelle 3.2-02) bestätigen diese Vermutung. Auch das Jahr 1997 mit dem niederschlagsreichen Juli ist hier wieder sichtbar.

3.3 Klima-Wachstums-Beziehungen

In den folgenden Kapiteln werden die Ergebnisse der Response-Function-Analyse (FRITTS 1976, BIONDI und WAIKUL 2004; siehe auch Kapitel 2.5) dargestellt. Die Tabellen 3.3-01 bis 3.3-06 zeigen alle signifikanten Response-Werte. Monate des Vorjahres sind in Großbuchstaben angegeben (AUG), Monate des laufenden Jahres in Druckschrift (Aug). Werte mit einem Betrag von mindestens 0,25 sind grau markiert.

3.3.1 RELATIVE LUFTFEUCHTIGKEIT

Tabelle 3.3-01: Signifikante Response-Werte Luftfeuchtigkeit

	AUG	SEP	OCT	NOV	DEC	Jan	Feb	Mar	Apr	May	Jun	Jul	Aug	Sep
HanRW		0,24												
HanEW		0,30												
HanLW		0,23												
HanLW%														
HwrRW														
HwrEW														
HwrLW														
HwrLW%														
MueRW		0,23												
MueEW		0,24					-0,19							
MueLW		0,21					-0,18	0,20						
MueLW%								0,20						
PuzRW						0,21								
PuzEW														
PuzLW						0,24								
PuzLW%									-0,24					
SonPNRW												0,21	0,13	
SonPNEW		0,19												
SonPNLW									-0,27			0,25	0,19	
SonPNLW%									-0,27					
SonQSRW														
SonQSEW		0,19												
SonQSLW														
SonQSLW%														
WjgRW												0,25	0,15	
WjgEW												0,17		
WjgLW												0,30	0,20	
WjgLW%												0,20	0,16	
ZebRW		0,24												
ZebEW		0,27												
ZebLW												0,19		
ZebLW%												0,24	0,15	

Die Reaktion der Jahrringparameter auf die mittlere monatliche relative Luftfeuchtigkeit ist insgesamt eher gering. Lediglich die Bäume an den Standorten Hanftalwald (Eichen), Sonnenberg (Schwarzkiefer), Wilder Jäger (Schwarzkiefer) und Zeilerberg (Schwarzkiefer) zeigen Response-Werte mit Beträgen von zumindest 0,25.

Am Standort Hanftalwald zeigen die Ergebnisse eine leichte positive Reaktion der Frühholzbreite auf die Luftfeuchtigkeit des vergangenen Septembers. Dies deutet darauf hin, dass die Bäume bei höherer Luftfeuchte im Herbst mehr Reservestoffe produzieren und einlagern können, was den Zuwachs v. a. am Anfang des Folgejahres begünstigt. Die Spätholzbreite und der Spätholzanteil der Schwarzkiefern am Standort Sonnenberg scheinen negativ auf eine hohe Luftfeuchtigkeit im April zu reagieren. Die Spätholzbreite reagiert positiv auf hohe Luftfeuchtigkeit im Juli. Offenbar begünstigt eine hohe Luftfeuchte im Sommer (im Gegensatz zum Frühling) die Photosynthese. Am Standort Wilder Jäger werden Jahrring- und Spätholzbreite von der Luftfeuchtigkeit im Juli positiv beeinflusst. Das Frühholz am Standort Zeilerberg zeigt – wie auch am Standort Hanftalwald – eine positive Reaktion auf die Luftfeuchtigkeit im September des Vorjahres.

3.3.2 MITTLERE BEWÖLKUNG

Die Ergebnisse der Response-Function-Analyse weisen darauf hin, dass der Einfluss der Bewölkung auf die getesteten Jahrringparameter stärker ist als jener der Luftfeuchtigkeit und über längere Zeit wirkt. An den Eichenstandorten Hanftalwald und Müller Anhöhe sowie an den Schwarzkiefernstandorten Sonnenberg, Wilder Jäger und Zeilerberg treten Beträge von zumindest 0,25 auf.

Die mittlere Bewölkung im September des Vorjahres wirkt sich auf die Jahrringbreite und die Spätholzbreite der Eichen am Standort Hanftalwald positiv aus. Ein hoher Bewölkungsgrad im August des Vorjahres hat auf das Frühholz des Standorts Müller Anhöhe einen positiven Einfluss. Beide Ergebnisse weisen darauf hin, dass hinsichtlich der Photosynthese eher die Wasserverfügbarkeit als die Strahlungsintensität das Wachstum der Bäume limitiert.

Die Reaktionen der Schwarzkiefer auf die Bewölkung unterscheiden sich von jenen der Eiche: Am Standort Sonnenberg wirkt ein bedeckter Juli positiv auf Jahrringbreite, Spätholzbreite und -anteil. Am Standort Wilder Jäger werden ebenfalls diese drei Zuwachsparemeter von der Bewölkung beeinflusst – positiv im Dezember des Vorjahres (LW%) und ebenfalls im Juli (LW und LW%), jedoch negativ im September

(LW und LW%). Die positiven Zusammenhänge im laufenden Sommer sind wie die des vergangenen Spätsommers (AUG, SEP) zu deuten. Der Einfluss des Dezembers kann nicht gedeutet werden. Die negative Auswirkung des laufenden Septembers dürfte jedoch auf mangelnde photosynthetische Aktivität durch verminderte Strahlung und Temperatur (verursacht durch die höhere Bewölkung) hinweisen. Am Zeilerberg wird das Wachstum von der Bewölkung im September des Vorjahres (Jahring- und Frühholzbreite) und im Juli des laufenden Jahres (Jahring- und Spätholzbreite) positiv beeinflusst.

Tabelle 3.3-02: Signifikante Response-Werte Bewölkung

	AUG	SEP	OCT	NOV	DEC	Jan	Feb	Mar	Apr	May	Jun	Jul	Aug	Sep
HanRW		0,29												
HanEW	0,23	0,21												
HanLW		0,31												
HanLW%														
HwrRW			-0,21											
HwrEW			-0,22	-0,20			-0,22							
HwrLW			-0,21											
HwrLW%											0,23			
MueRW	0,19									0,18				
MueEW	0,29				0,19									
MueLW										0,19				
MueLW%														
PuzRW											0,20			
PuzEW											0,24			
PuzLW											0,21			
PuzLW%	-0,19													
SonPNRW												0,25		
SonPNEW														
SonPNLW												0,31		-0,24
SonPNLW%	-0,21											0,27		
SonQSRW										0,20				
SonQSEW	0,25													
SonQSLW										0,19				
SonQSLW%														
WjgRW												0,25		-0,22
WjgEW														
WjgLW												0,31		-0,28
WjgLW%					0,26							0,26		-0,25
ZebRW		0,25									0,22	0,34		
ZebEW	0,21	0,26												
ZebLW												0,28		
ZebLW%														

3.3.3 NIEDERSCHLAGSSUMME

Wie erwartet (siehe Kapitel 1.1) zeigen die Response-Werte der Bäume auf die monatliche Niederschlagssumme einen starken Zusammenhang – v. a. in den Monaten Mai, Juni und Juli. An allen Standorten kommen Beträge von über 0,25 vor.

Tabelle 3.3-03: Signifikante Response-Werte Niederschlag

	AUG	SEP	OCT	NOV	DEC	Jan	Feb	Mar	Apr	May	Jun	Jul	Aug	Sep
HanRW					0,25	-0,18				0,26				
HanEW	0,22				0,18	-0,23								
HanLW					0,24	-0,17				0,27				
HanLW%					0,27					0,25	0,17			
HwrRW						-0,24					0,20			
HwrEW			-0,27											
HwrLW						-0,23					0,25			
HwrLW%									0,16		0,34			
MueRW	0,18									0,30				
MueEW	0,25									0,18				
MueLW										0,30				
MueLW%										0,28	0,18			
PuzRW														
PuzEW						-0,25								
PuzLW						-0,19					0,19			-0,22
PuzLW%														-0,20
SonPNRW						-0,22						0,36	0,22	
SonPNEW						-0,27						0,26		
SonPNLW											0,22	0,34	0,28	-0,22
SonPNLW%											0,20		0,21	
SonQSRW										0,26				
SonQSEW	0,21													
SonQSLW										0,26	0,22			
SonQSLW%						-0,19				0,23	0,30			
WjgRW												0,42		
WjgEW												0,35		
WjgLW												0,42	0,22	-0,20
WjgLW%					-0,20							0,20	0,25	-0,20
ZebRW						-0,21			0,17			0,37		
ZebEW						-0,23			0,17			0,26		
ZebLW						-0,14	-0,20				0,26	0,45		
ZebLW%							-0,22				0,34	0,32		

Am Eichenstandort Hanftalwald ist offenbar der Mainiederschlag ausschlaggebend für das Jahrringwachstum – er wirkt positiv auf Jahrringbreite, Spätholzbreite und Spätholzanteil. Diese Bedeutung der Witterungsverhältnisse im Frühsommer für die Jahrringbildung – v. a. was die Holzzellenbildung betrifft – wird auch von GINDL (2000) beschrieben. Der Dezember des Vorjahres wirkt am Standort Hanftalwald ebenfalls begünstigend auf Jahrringbreite und Spätholzanteil. Dieses Ergebnis bestätigt die Bedeutung der Winterfeuchte.

Spätholzbreite und -anteil der Eichen des Hinterwaldriegels werden eher vom Juni-Niederschlag beeinflusst. Ein niederschlagsreicher Oktober vor der Vegetationsperiode wirkt negativ auf die Frühholzbreite des nächsten Jahres.

Am Standort Müller Anhöhe zeigen die Bäume ähnliche Reaktionen auf den Mai-Niederschlag wie am Standort Hanftalwald. Die Zusammenhänge sind hier sogar stärker. Zusätzlich wirkt der Dezemberriederschlag des Vorjahres positiv auf die Frühholzbreite.

Die Eiche am Standort Sonnenberg reagiert laut Response-Function-Analyse ebenfalls auf den Mainiederschlag; Jahrring- und Spätholzbreite werden durch hohe Mainiederschläge gefördert. Der Spätholzanteil ist offenbar abhängig vom Juni-Niederschlag.

Die Schwarzkiefernstandorte zeigen generell höhere Response-Werte als die Eichenstandorte und ihre Niederschlagsabhängigkeit ist im Juli am höchsten.

Die Ausnahme bildet der Standort Pusztasiedlung. Lediglich mit dem Niederschlag im Jänner besteht hier ein stärkerer (negativer) Zusammenhang.

Am Zeilerberg sind die höchsten Response-Werte aller Standorte festzustellen. Alle vier getesteten Jahrringparameter sind stark vom Juli-Niederschlag abhängig – der höchste Wert (0,45) wird von der Spätholzbreite erreicht. Auch die Juni-Niederschläge haben offenbar einen Einfluss auf Spätholzbreite und -anteil.

Am Standort Wilder Jäger konzentrieren sich die signifikanten Response-Werte mit Beträgen von mindestens 0,25 auf den Juli. Jahrring-, Frühholz- und Spätholzbreite zeigen relativ hohe Werte. Ein positiver Zusammenhang besteht auch zwischen August-Niederschlag und Spätholzanteil.

Die Kiefer reagiert laut Response-Werten am Standort Sonnenberg (RW, EW, LW) nicht so stark auf den Juli-Niederschlag wie beim Wilden Jäger und am Zeilerberg. Im Jänner besteht ein negativer Zusammenhang zwischen Niederschlag und Frühholzbreite, im August ein positiver Zusammenhang mit der Spätholzbreite.

3.3.4 SONNENSCHINDAUER

Die monatliche Sonnenscheindauer hat nach den Ergebnissen der Response-Function-Analyse hauptsächlich negative Einflüsse auf das Jahrringwachstum. Zu viel Sonnenschein führt also offenbar zu schmäleren Jahrring-, Frühholz- und Spätholzbreiten sowie zu kleineren Spätholzanteilen. Dies ist wieder ein Indiz dafür, dass das Wachstum der Bäume an den untersuchten Probenstandorten durch die Wasserverfügbarkeit limitiert wird. Die Bäume können wegen Wasserdefiziten trotz ausreichender Strahlung (und Temperatur) nicht photosynthetisch aktiv bleiben.

Der Einfluss des Sonnenscheins wirkt auf die Schwarzkiefern stärker als auf die Eichen. Am Eichenstandort Hanftalwald wirken die Sonnenstunden im August des Vorjahres negativ auf die Frühholzbreite, die Sonnenscheindauer im vergangenen September wirkt sich negativ auf Jahrring- und Spätholzbreite aus. Die Bäume am Hinterwaldriegel reagieren kaum auf die Sonnenstunden. Nur im Juni ist ein negativer Einfluss auf den Spätholzanteil feststellbar.

Tabelle 3.3-04: Signifikante Response-Werte Sonnenscheindauer

	AUG	SEP	OCT	NOV	DEC	Jan	Feb	Mar	Apr	May	Jun	Jul	Aug	Sep
HanRW		-0,26												
HanEW	-0,26													
HanLW		-0,27												
HanLW%														
HwrRW														
HwrEW														
HwrLW											-0,20			
HwrLW%											-0,28			
MueRW														
MueEW					-0,18									
MueLW														
MueLW%														
PuzRW											-0,23			
PuzEW														
PuzLW											-0,20			
PuzLW%									0,28				-0,36	
SonPNRW											-0,20	-0,27		
SonPNEW														
SonPNLW		-0,26									-0,22	-0,30		0,20
SonPNLW%									0,22		-0,22	-0,22	-0,22	
SonQSRW														
SonQSEW														
SonQSLW											-0,20			
SonQSLW%														
WjgRW												-0,26		
WjgEW	-0,20													
WjgLW												-0,31		0,24
WjgLW%					-0,22							-0,26		0,25
ZebRW	-0,23	-0,25									-0,17			
ZebEW	-0,31	-0,23												
ZebLW		-0,21									-0,21	-0,29		
ZebLW%											-0,25	-0,30		

Von den Schwarzkiefern zeigen wieder jene am Standort Pusztasiedlung die wenigsten signifikanten Werte: Der Spätholzanteil reagiert positiv auf einen sonnigen April und negativ auf einen sonnigen August. Die Reaktionen an den übrigen Standorten gestalten sich anders. Am Sonnenberg (RW und LW), beim Wilden Jäger (RW, LW und LW%) und am Zeilerberg (LW und LW%) wirkt v. a. der Sonnenschein im Juli negativ auf den Zuwachs. Zusätzlich reagieren die Schwarzkiefern am Standort Sonnenberg negativ auf einen sonnigen September des Vorjahres. Beim Wilden Jäger wirkt er positiv auf den Spätholzanteil. Am Zeilerberg wird der Zuwachs negativ von einem sonnigen August im Vorjahr (EW) und September (RW) beeinflusst.

3.3.5 TEMPERATUR

Verglichen mit der Sonnenscheindauer eher schwache Ergebnisse liefert die Response-Function-Analyse für die Temperatur. Möglicherweise würde die Analyse von Temperaturextremen statt monatlicher Mitteltemperaturen bessere Ergebnisse liefern.

Alle Eichenstandorte (Han, Hwr, Mue und SonQS) zeigen Frühholz-Reaktionen auf die Temperatur im August (negativ) bzw. Oktober (positiv) des Vorjahres. Dies ist wieder auf die Reservestoffbildung zurückzuführen. Ein zu heißer August (Vorjahr) schränkt die photosynthetische Aktivität ein; ist es jedoch im Oktober noch entsprechend warm, kann der Baum weiter photosynthetisieren.

Die Augusttemperatur wirkt negativ auf das Frühholz der Standorte Hanftalwald, Müller Anhöhe und Sonnenberg. Ein warmer Oktober wirkt positiv auf die Eichen an den Standorten Hanftalwald und Hinterwaldriegel.

Tabelle 3.3-05: Signifikante Response-Werte Temperatur

	AUG	SEP	OCT	NOV	DEC	Jan	Feb	Mar	Apr	May	Jun	Jul	Aug	Sep
HanRW														
HanEW	-0,28		0,29											
HanLW														
HanLW%														
HwrRW														
HwrEW			0,27										0,16	
HwrLW														
HwrLW%														
MueRW														
MueEW	-0,26		0,22											
MueLW														
MueLW%														
PuzRW											-0,20			
PuzEW							0,17				-0,23			
PuzLW														
PuzLW%														
SonPNRW								0,20		0,30				
SonPNEW							0,22	0,20		-0,24				
SonPNLW									-0,27			0,25	0,19	
SonPNLW%														
SonQSRW				0,25										
SonQSEW	-0,25		0,21	0,23										
SonQSLW				0,23										
SonQSLW%											-0,24			
WjgRW	-0,20						0,19							
WjgEW							0,25			-0,25				
WjgLW	-0,22											-0,20		
WjgLW%										0,22				
ZebRW		-0,20						0,21						
ZebEW								0,20		-0,20				
ZebLW		-0,20												
ZebLW%												-0,22		

Die Schwarzkiefer scheint von den Monatsmitteltemperaturen relativ unbeeinflusst zu sein. Nur an den Standorten Sonnenberg und Wilder Jäger zeigt sich eine Reaktion mit Beträgen von mindestens 0,25: Die Bäume am Sonnenberg reagieren negativ auf die Apriltemperatur (LW) und positiv auf die Mai- (RW) und die Julitemperatur (LW). Beim Wilden Jäger zeigt sich eine positive Reaktion des Frühholzes auf die Februar- und eine negative Reaktion auf die Maitemperatur (EW).

3.3.6 KLIMATISCHE WASSERBILANZ

Die Response-Function-Analyse der Wasserbilanz liefert in Stärke und Ausprägung ähnliche Ergebnisse wie der Niederschlag. An den Eichenstandorten ist die Reaktion allerdings weit weniger stark ausgeprägt als an den Schwarzkiefernstandorten.

Tabelle 3.3-06: Signifikante Response-Werte Wasserbilanz

	AUG	SEP	OCT	NOV	DEC	Jan	Feb	Mar	Apr	May	Jun	Jul	Aug	Sep
HanRW					0,24	-0,18				0,20				
HanEW	0,24					0,19	-0,24							
HanLW					0,23	-0,17				0,21				
HanLW%					0,25					0,22				
HwrRW						-0,25								
HwrEW			-0,30			-0,24								
HwrLW						-0,23						0,23		
HwrLW%					0,16				0,15		0,32			
MueRW										0,27				
MueEW	0,26													
MueLW										0,27				
MueLW%								0,18		0,27				
PuzRW						-0,26					0,20			
PuzEW						-0,27								
PuzLW						-0,18					0,18			-0,22
PuzLW%														-0,20
SonPNRW						-0,23	-0,17					0,35	0,18	
SonPNEW						-0,28	-0,21					0,23		
SonPNLW											0,18	0,36	0,26	-0,23
SonPNLW%	-0,23											0,19	-0,23	
SonQSRW										0,23				
SonQSEW	0,23													
SonQSLW										0,22	0,21			
SonQSLW%					0,19	-0,19					0,30			
WjgRW												0,43		
WjgEW												0,34		
WjgLW												0,44	0,24	
WjgLW%					0,22							0,24	0,26	-0,19
ZebRW						-0,22	-0,18					0,34		
ZebEW						-0,25						0,22		
ZebLW							-0,20				0,25	0,45		
ZebLW%							-0,21				0,33	0,35		

Am Eichenstandort Hanftalwald zeigt lediglich der Spätholzanteil einen Response-Wert von 0,25 auf die klimatische Wasserbilanz des vergangenen Dezembers. Die Bäume am Standort Hinterwaldriegel reagieren mit geringerem Zuwachs auf eine positive Wasserbilanz im vergangenen Oktober (Frühholz) und im Jänner (Jahrringbreite) des laufenden Jahres. Dies könnte ein Hinweis darauf sein, dass durch einen nassen, kalten Oktober die Vegetationsperiode verkürzt und somit die Reservestoffbildung gehemmt wird. Eine positive Juni-Wasserbilanz wirkt hingegen begünstigend auf den Spätholzanteil der Bäume am Standort Hinterwaldriegel. Die Eichen auf der Müller Anhöhe reagieren stark auf die Mai-Wasserbilanz. Sowohl Jahrringbreite als auch Spätholzbreite und Spätholzanteil werden von ihr beeinflusst. Das Frühholz scheint auf die klimatische Wasserbilanz des vorhergehenden Augusts (AUG) zu reagieren. Die Eichen am Standort Sonnenberg zeigen nur einen nennenswerten Response-Wert: Der Spätholzanteil wird von der Juni-Wasserbilanz positiv beeinflusst.

Ein einheitlicheres Bild zeigt sich bei den Schwarzkiefern. Mit Ausnahme des Standorts Pusztasiedlung ist eine offenbar starke Abhängigkeit des Zuwachses von der Juli-Wasserbilanz ersichtlich – bei Wildem Jäger und Zeilerberg sogar mit Werten von über 0,40. Am Standort Pusztasiedlung besteht ein positiver Zusammenhang zwischen Jahrring- bzw. Frühholzbreiten und Wasserbilanz. Auch am Sonnenberg reagiert das Frühholz in dieser Weise. Stärker ist aber ihr positiver Einfluss im Juli und August auf Jahrring- und Spätholzbreite. Die Standorte Wilder Jäger und Zeilerberg sind – wie schon beim Niederschlag – sehr ähnlich in ihrer Reaktion auf die Wasserbilanz. Ihr Juli-Wert hat hohen Einfluss auf alle getesteten Jahrringparameter. Beim Wilden Jäger spielt zusätzlich die Wasserbilanz des Augusts eine Rolle für die Größe des Spätholzanteils. Am Zeilerberg bestehen außerdem Zusammenhänge mit der Jänner-Wasserbilanz (Frühholz, negativ) und mit der Juni-Wasserbilanz (Spätholzbreite und -anteil, positiv).

3.3.7 ZUSAMMENFASSUNG

Die Response-Function-Analyse zeigt für die getesteten Klimaelemente und Jahrringparameter differenzierte Ergebnisse:

- Die mittlere relative Luftfeuchtigkeit scheint kaum einen Einfluss auf das Jahrringwachstum zu haben.
- Beim mittleren Bewölkungsgrad zeigen die Schwarzkiefern der Standorte Sonnenberg, Wilder Jäger und Zeilerberg eine Korrelation mit den Juli-Werten (Jahrringbreite, Spätholzbreite und Spätholzanteil).

-
- Besonders großen positiven Einfluss hat laut den Ergebnissen der Response-Function-Analyse die monatliche Niederschlagssumme. Bei den Eichen sind v. a. Mai- und Juni-Niederschlag ausschlaggebend für Jahrringbreite, Spätholzanteil und Spätholzbreite (positiv). Bei den Schwarzkiefern, die generell höhere Response-Werte liefern, sind die Monate Juni und Juli am wichtigsten (positiv). Hier sind die Zusammenhangsmaße am höchsten (Werte von über 0,40).
 - Die Sonnenscheindauer des Monats Juni beeinflusst v. a. die Zuwächse der Schwarzkiefern. Zu viel Sonnenschein wirkt sich negativ auf Jahrringbreite, Spätholzbreite und Spätholzanteil aus.
 - Es ist kein eindeutiger Zusammenhang des Jahrringwachstums mit der Monatsmitteltemperatur zu erkennen.
 - Bei der monatlichen Wasserbilanz zeigt sich ein ähnliches Bild wie beim Niederschlag: Relativ einheitlich ist die Reaktion der Schwarzkiefern auf eine positive Wasserbilanz im Juli. Hier werden wie beim Niederschlag Response-Werte von über 0,4 erreicht.

Die Ergebnisse der Klima-Wachstums-Beziehungen für die Klimaelemente Bewölkung, Niederschlag, Sonnenscheindauer und Wasserbilanz sind eindeutig konsistent: Starke Bewölkung, hoher Niederschlag, kurze Sonnenscheindauer und positive Wasserbilanz im späten Frühjahr und im Sommer wirken positiv auf das Jahrringwachstum. Diese Umstände sind ein Indiz dafür, dass die Wasserversorgung der Bäume während dieser Zeit der Vegetationsperiode ausschlaggebend für deren Zuwachs ist.

Generell am höchsten sind die Response-Werte von Spätholzbreite und Spätholzanteil der Schwarzkiefern, was die ebenfalls hohen Sensitivitätswerte der jeweiligen Standortchronologien (Kapitel 3.2) bestätigen.

3.4 Klimasensitivität und Standorttrockenheit

In Kapitel 1.1 wurde die Hypothese aufgestellt, dass mit sinkender Wasserspeicherkapazität des Bodens die Abhängigkeit eines darauf wachsenden Baumes von der Wasserzufuhr durch Niederschlag steigt. Es kann daher erwartet werden, dass mit der Trockenheit der Standorte die Klimasensitivität der Bäume steigt.

Tabelle 3.4-01: Reihung der Niederschlags-Response-Ergebnisse

Schwarzkiefern	mean sensitivity¹	Response-Wert Juli Mittelwert*	Eichen	mean sensitivity¹	Response-Wert Mai Mittelwert*
ZebRW	0,315	0,37	MueRW	0,250	0,30
ZebEW	0,310	0,26	MueEW	0,177	0,18
ZebLW	0,502	0,45	MueLW	0,387	0,30
ZebLW%	0,372	0,32	MueLW%	0,177	0,28
Zeb		0,35	Mue		0,27
WjgRW	0,282	0,42	HanRW	0,302	0,26
WjgEW	0,298	0,35	HanEW	0,200	---
WjgLW	0,418	0,42	HanLW	0,451	0,27
WjgLW%	0,278	0,20	HanLW%	0,207	0,25
Wjg		0,35	Han		0,26
SonPNRW	0,284	0,36	SonQSRW	0,215	0,26
SonPNEW	0,276	0,26	SonQSEW	0,168	---
SonPNLW	0,498	0,34	SonQSLW	0,348	0,26
SonPNLW%	0,336	---	SonQSLW%	0,177	0,23
SonPN		0,32	SonQS		0,25
PuzRW	0,282	---	HwrRW	0,228	---
PuzEW	0,273	---	HwrEW	0,169	---
PuzLW	0,469	---	HwrLW	0,314	---
PuzLW%	0,325	---	HwrLW%	0,115	---
Puz		---	Hwr		---

¹ berechnet mit Programm ARSTAN, siehe auch Tabelle 3.2-02

* Mittelwert der Juli-Werte (Schwarzkiefern) bzw. der Mai-Werte (Eichen) aller Parameter

Eine Zusammenstellung der wichtigsten Ergebnisse aus den vorigen Kapiteln soll klären, inwiefern diese Annahme auf die untersuchten Standorte zutrifft. Die Klimasensitivität der Standorte wird wie folgt gereiht: Aus den signifikanten Niederschlags-Response-Werten (siehe Tabelle 3.3-03) des Monats Juli (Schwarzkiefern) bzw. des

Monats Mai (Eichen) werden für jeden Standort Mittelwerte berechnet (siehe Tabelle 3.4-01) und dann zur Einschätzung der Standorttrockenheit in Beziehung gesetzt. Die Werte für die Monatsniederschlagssumme wurden ausgewählt, weil sich hier generell die meisten und höchsten Response-Werte ergeben haben und die Monate Juli und Mai haben sich als die für den Zuwachs der jeweiligen Baumart einflussreichster Zeitraum erwiesen.

Bei den Schwarzkiefern liefern die Mittel der Juli-Response-Werte der Standorte Zeilerberg und Wilder Jäger die höchsten Beträge. Der Standort Zeilerberg ist aber an erster Stelle gereiht, weil er insgesamt die höchsten und meisten signifikanten Response-Werte aufweist. Er wurde auf Grund seiner Böden auch als extrem trocken eingestuft. Der Standort Wilder Jäger repräsentiert pedologisch gesehen einen Übergangsbereich von eher trocken zu feucht, wobei die Bäume, von denen Proben genommen wurden, aber tendenziell eher im trockenen Bereich stehen. An dritter Stelle liegt der Standort Sonnenberg, der von den Böden her als eher trocken eingestuft worden ist. Allerdings sind seine Juli-Response-Werte niedriger als jene des Standorts Wilder Jäger. Der Standort Pusztasiedlung, der zusammen mit dem Zeilerberg zu den pedologisch trockensten Standorten gehört, ist, was die Klimasensitivität betrifft, an der letzten Stelle. Einerseits liefert er im Juli überhaupt keine und andererseits zeigt er insgesamt von allen Standorten (inkl. Eichen) die wenigsten signifikanten Werte (siehe auch Tabelle 3.3-03).

Die Eichenstandorte weisen generell niedrigere Niederschlags-Response-Werte auf als die Schwarzkiefernstandorte und die Response-Unterschiede zwischen den Standorten sind geringer. Insgesamt ist die Reihung bei den Eichenstandorten daher weniger eindeutig als bei den Schwarzkiefern.

Der Standort mit dem höchsten Mai-Mittelwert ist die Müller Anhöhe. Pedologisch ist hier wieder ein Übergangsbereich von eher trockenen zu feuchteren Bedingungen festzustellen. An zweiter Stelle folgt der Standort Hanftalwald, der von der Pedologie her als weder besonders feucht noch besonders trocken eingestuft worden ist. Der Schwarzkiefernstandort am Sonnenberg folgt an dritter Stelle. Pedologisch gesehen ist er eher trocken. Der Standort Hinterwaldriegel, der wieder einen Übergangsbereich von trockeneren zu feuchten Bodenverhältnissen zeigt, weist im Mai überhaupt keine signifikanten Response-Werte auf und ist daher auch an der letzten Stelle zu finden. Allerdings sind im Juni signifikante Werte vorhanden (siehe Tabelle 3.0-03), was bedeutet, dass die Bäume hier möglicherweise auf ein anderes Zeitfenster sensitiv reagieren.

Die Ergebnisse zeigen, dass die Eingangs genannte Hypothese für die untersuchten Standorte streng genommen nicht verifiziert werden konnte. Zwar trifft es zu, dass einer der zwei trockensten Standorte (Zeilerberg) auch die höchsten Response-Werte liefert, aber gleichzeitig weist der Standort Pusztasiedlung – pedologisch ebenfalls als sehr trocken eingestuft – die niedrigsten Response-Werte unter den Schwarzkiefern auf. Bei den Eichenstandorten kann generell kein eindeutiger Zusammenhang zwischen Trockenheit und Klimasensitivität hergestellt werden.

4. ERGEBNISSE UND DISKUSSION

JAHRRINGE UND SEESPIEGEL

Wegen der Ergebnisse, was Klimasensitivität und Standorttrockenheit betrifft, wurden für die Berechnung der Regressionen zwischen Jahrringparametern und Seespiegelschwankungen nicht von vornherein ganze Standorte ausgeschlossen. Stattdessen sind aus den einzelnen Proben für die Parameter Jahrringbreitenindex, Frühholzbreitenindex, Spätholzbreitenindex und Spätholzanteilindex die folgenden Gesamtchronologien erstellt worden (siehe auch Kapitel 2.2.4):

- gemeinsame Chronologie für Eiche und Schwarzkiefer
225 Proben vor bzw. 130 Proben nach Auswahl auf Grund der Sensitivität
- Schwarzkiefernchronologie
114 (vor Auswahl) bzw. 90 Proben (nach Auswahl)
- Eichenchronologie
111 bzw. 40 Proben

Aus dem vorhandenen Datenmaterial wurden also 24 neue Chronologien erstellt, die in Kapitel 4.1 dargestellt und kurz besprochen werden.

Kapitel 4.2 zeigt die Ergebnisse für die Berechnung der Korrelation aller Standortchronologien und aller Gesamtchronologien mit den zwei unterschiedlichen Seespiegelmittelwerten, wie sie in Kapitel 2.3.1 beschrieben sind.

Kapitel 4.3 widmet sich den Ergebnissen der einfachen linearen Regressionen.

Kapitel 4.4 bringt die Ergebnisse der multiplen linearen Regression, mit denen versucht wird, aus einer Kombination der am besten geeigneten Chronologien ein lineares Modell zur Abbildung der Wasserstände des Neusiedler Sees zu erstellen.

In Kapitel 4.5 werden die wichtigsten Ergebnisse zusammengefasst.

4.1 Gesamtchronologien

In den folgenden Kapiteln 4.1.1 und 4.1.2 werden die erstellten Gesamtchronologien von Jahrringbreitenindex, Frühholzbreitenindex, Spätholzbreitenindex und Spätholzanteilindex grafisch dargestellt und kurz beschrieben. Zur besseren Vergleichbarkeit (auch mit den Standortchronologien aus Kapitel 3.2) sind alle Grafiken für den Zeitraum 1815 bis 2010 skaliert, obwohl die Chronologien selbst unterschiedlich lang und jedenfalls kürzer sind.

4.1.1 CHRONOLOGIEN ALLER BÄUME

4.1.1.1 Chronologien aus beiden Baumarten

Die Gesamtchronologien aus allen synchronisierten Proben der Eichen und der Schwarzkiefern (Abbildung 4.1-01) umfassen einen Zeitraum von 189 Jahren. Vor 1882 werden sie allerdings nur von Eichen des Standorts Sonnenberg gebildet.

Jahrringbreite und Spätholzbreite variieren stärker als Frühholzbreite und Spätholzanteil. Auffällig ist die über mehrere Jahre unterdurchschnittliche Jahrringbreite in der zweiten Hälfte des 19. Jahrhunderts. Die Anzahl der Proben, aus denen die Chronologien aufgebaut sind, ist in diesem Zeitraum allerdings auch noch relativ klein und alle Proben stammen von einem einzigen Standort, weshalb diesem „Trend“ keine zu große Bedeutung zugemessen werden sollte.

Im 20. Jahrhundert fallen weniger langfristige Trends als einzelne Extremjahre auf – z. B. 1922 (sehr kleine Jahrring- und Spätholzbreite), 1926 (sehr große Jahrring- und Spätholzbreite), 1945 (geringe Jahrring-, Frühholz- und Spätholzbreite), 1963 (in allen vier Chronologien sichtbar), das schon von den Standortchronologien bekannte Jahr 1997 und auch das Jahr 2005 (sehr niedrige Jahrring-, Frühholz- und Spätholzbreitenindizes). Niederschlagsdaten für die Station Neusiedl am See liegen erst seit 1948 vor, es kann für die extrem niedrigen bzw. hohen Zuwächse in den Jahren davor keine Erklärung über die Wasserverfügbarkeit gegeben werden, aber auch die Jahre 1963 und 2005 weisen keine außergewöhnlich niedrigen Niederschlagssummen auf.

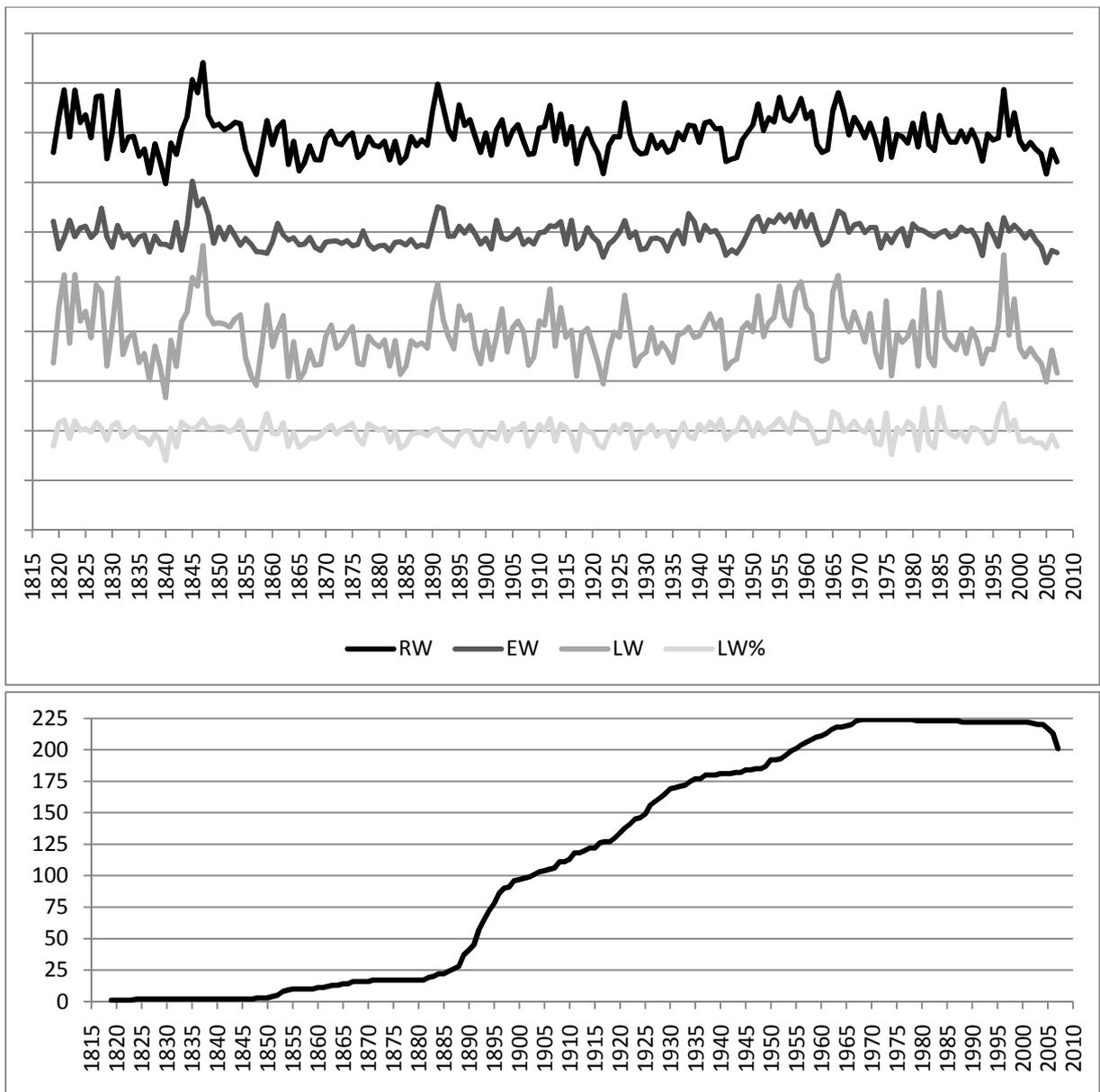


Abbildung 4.1-01: Gesamtchronologien aller Bäume 1819 bis 2007 und Probenanzahl

4.1.1.2 Schwarzkiefernchronologien

Die Chronologien aller Schwarzkiefern reichen wie schon angedeutet nur bis ins Jahr 1882 zurück. Die Variabilität ist bei allen vier Parametern relativ hoch, was schon bei den Chronologien der einzelnen Standorte (Kapitel 3.2) aufgefallen ist.

Wie bei den Chronologien für beiden Baumarten sind hier die Jahre 1963 und 1997 als Extremjahre zu werten.

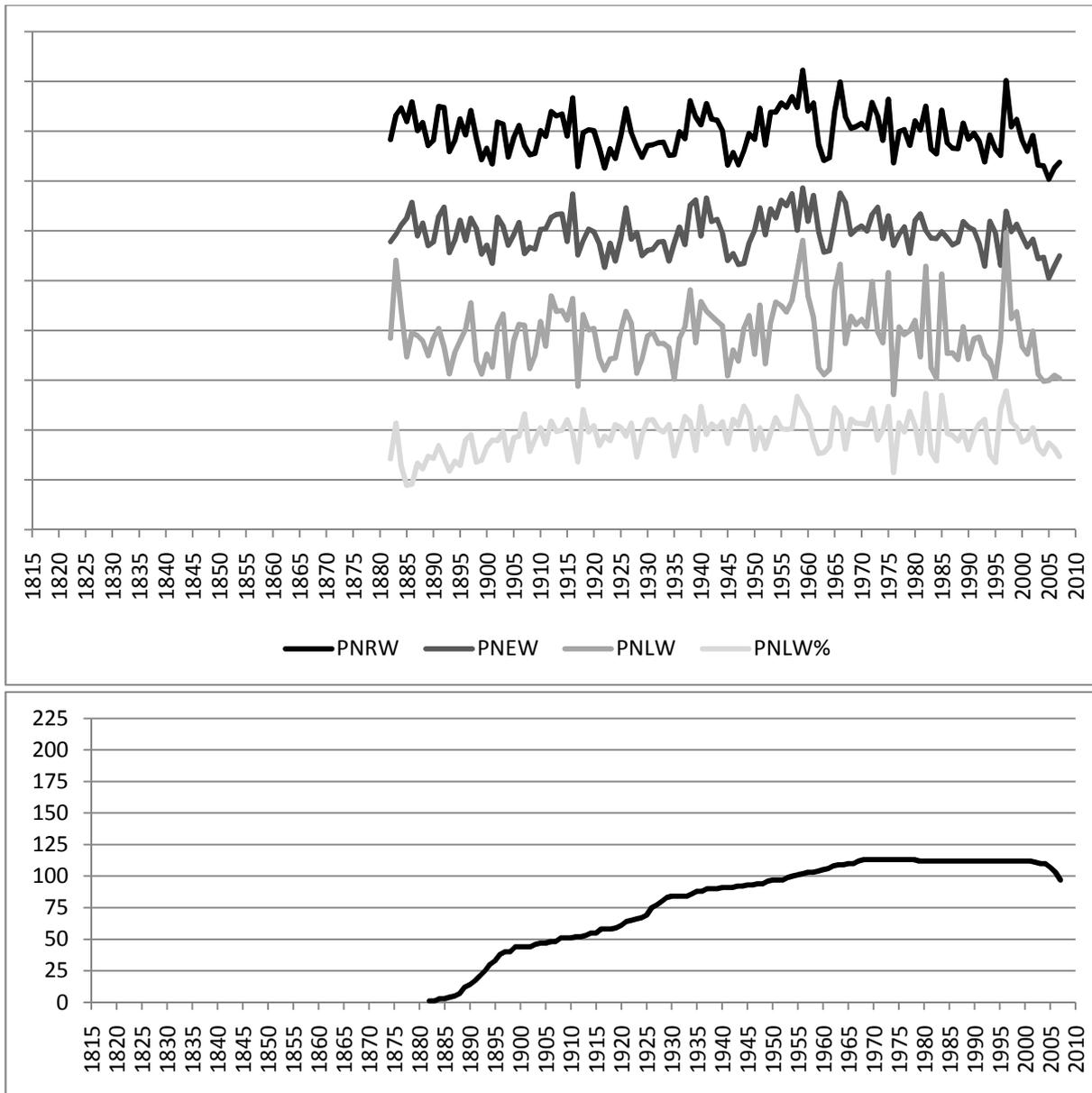


Abbildung 4.1-02: Gesamtchronologien aller Schwarzkiefern 1882 bis 2007 und Probenanzahl

4.1.1.3 Eichenchronologien

Bei den vier Chronologien aller synchronisierten Eichen ist wieder die höhere Variabilität von Jahringbreite und Spätholzbreite im Vergleich zu Frühholzbreitenindex und Spätholzanteilindex auffällig. Der Unterschied ist hier naturgemäß noch stärker sichtbar als bei den Gesamtchronologien beider Baumarten.

Als Extremjahr im 20. Jahrhundert fällt zusätzlich zu den zuvor bei den Chronologien beider Baumarten genannten das Jahr 1974 auf. Der niedrige Zuwachs ist hier vermutlich auf die niedrigen Niederschläge im Frühjahr zurückzuführen. Die Daten der ZAMG-Station Neusiedl zeigen eine April-Niederschlagssumme von lediglich 6 mm.

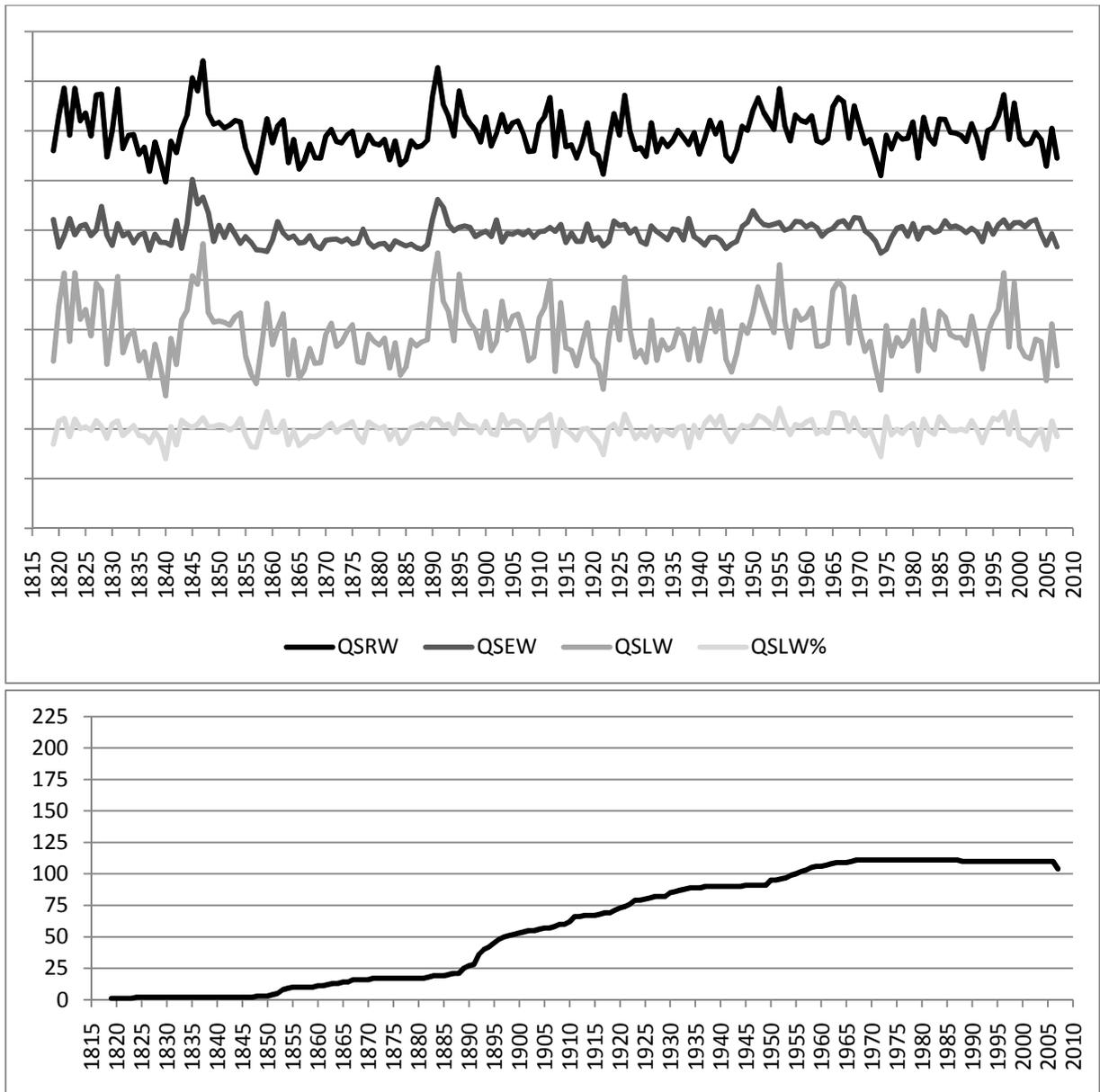


Abbildung 4.1-03: Gesamtchronologien aller Eichen 1819 bis 2007 und Probenanzahl

4.1.2 CHRONOLOGIEN AUSGEWÄHLTER SENSITIVER BÄUME

4.1.2.1 Chronologien aus beiden Baumarten

Durch die Auswahl von sensitiven Bäumen (beschrieben in Kapitel 2.2.4) fällt bei den Gesamtchronologien beider Baumarten (Abbildung 4.1-04) der Zeitraum vor 1847 weg. Bis zum Ende des 19. Jahrhunderts ist die Probenanzahl relativ klein. Auch hier sind die Parameter Jahrringbreite und Spätholzbreite wieder variabler als Frühholz-

breite und Spätholzanteil, aber die Unterschiede sind nicht so stark wie bei den Gesamtchronologien aller Bäume. Der Wachstumseinbruch Anfang der 1960er-Jahre sowie der extrem hohe Zuwachs des Jahres 1997 kommen auch hier wieder zum Vorschein.

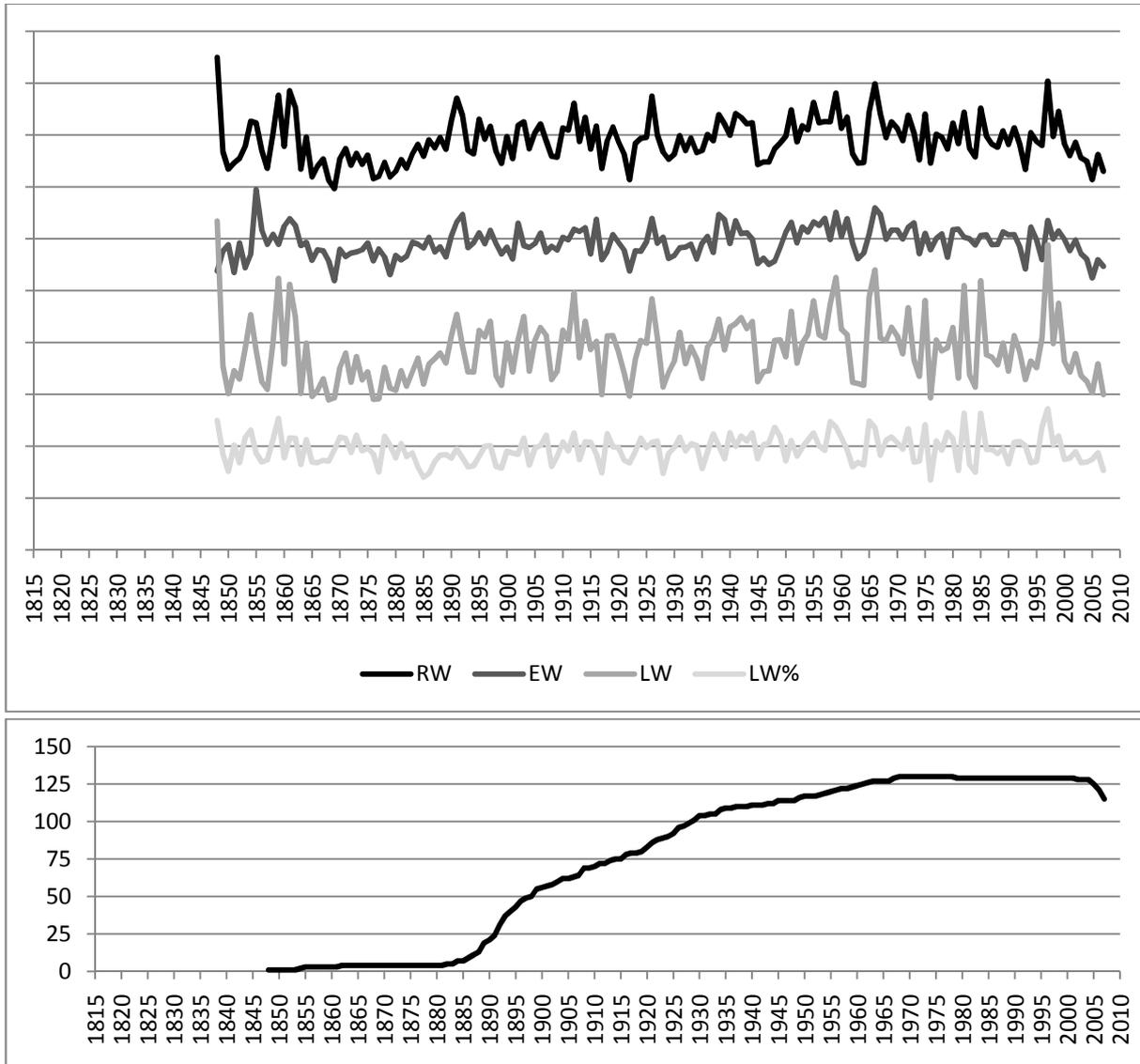


Abbildung 4.1-04: Gesamtchronologien sensibler Bäume 1848 bis 2007 und Probenanzahl

4.1.2.2 Schwarzkiefernchronologien

Die Gesamtchronologien der sensiblen Schwarzkiefern decken den Zeitraum 1882 bis 2007 ab. Die größte Variabilität weist der Spätholzbreitenindex auf.

Die auffälligsten Jahre in der zweiten Hälfte des 20. Jahrhunderts (Zeitraum, in dem Niederschlagsdaten für Neusiedl am See zur Verfügung stehen) sind 1959 (positives

Extrem), 1963 (negatives Extrem), 1976 (negativ) und 1997 (positiv). Der große Zuwachs 1959 ist wohl auf die hohen Sommerniederschläge in diesem Jahr (laut ZAMG-Daten der Station Neusiedl am See knapp 300 mm Summe in Juni und Juli) zurückzuführen.

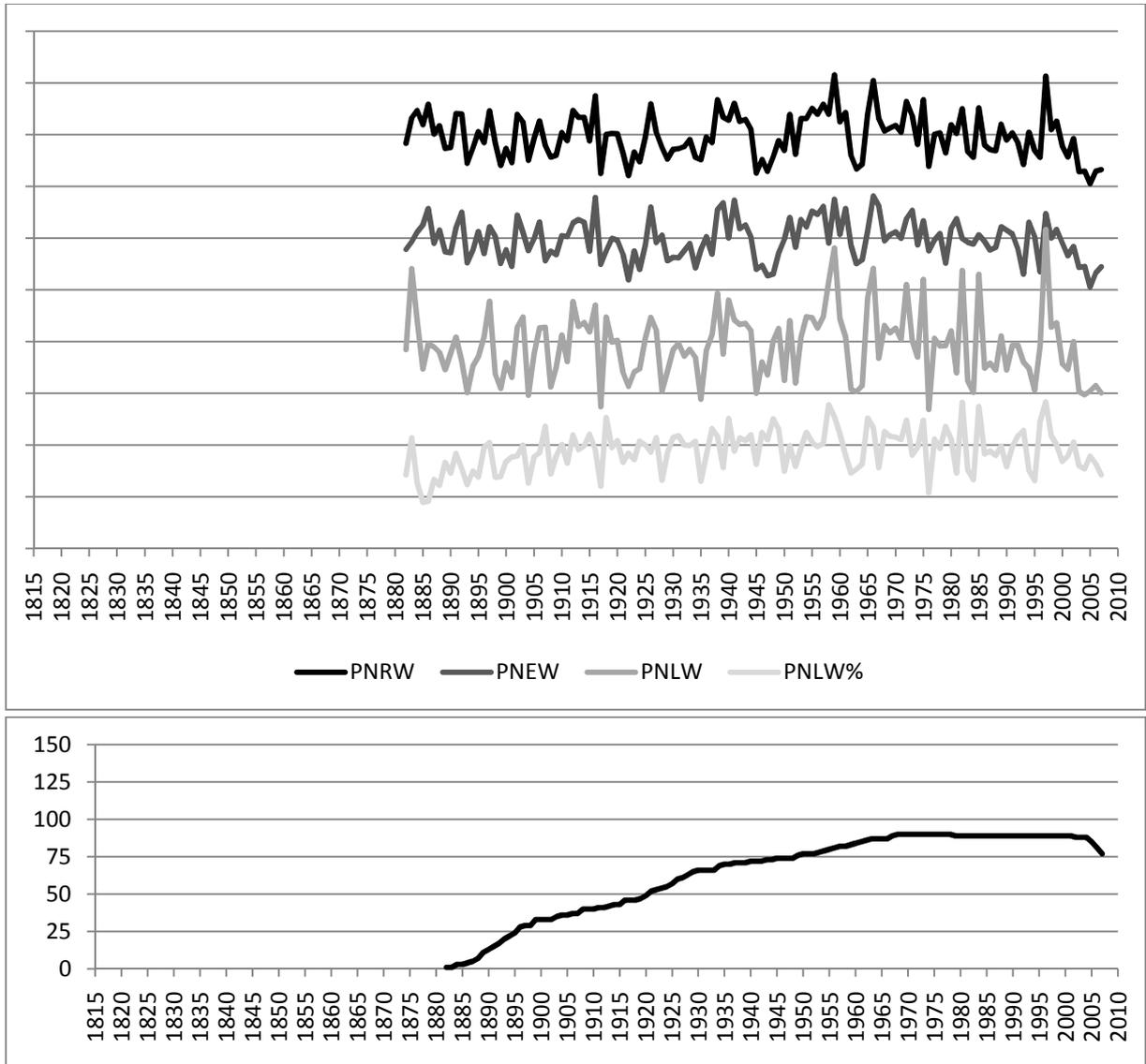


Abbildung 4.1-05: Gesamtchronologien sensitiver Schwarzkiefern 1882 bis 2007 und Probenanzahl

4.1.2.3 Eichenchronologien

Die Gesamtchronologien der ausgewählten sensitiven Eichen umfassen nur knapp halb so viele Proben wie die Schwarzkiefernchronologien, reichen aber bis ins Jahr 1848 zurück. Auch hier weist die Spätholzbreite die höchste Variabilität auf.

Als Extremjahre der zweiten Hälfte des 20. Jahrhunderts fallen hier neben 1974 zusätzlich auch die Jahre 1993 (negativ) und 1999 (positiv) auf. Für den geringen Zuwachs im Jahr 1993 dürften wohl die generell niedrige Jahresniederschlagssumme und der besonders niederschlagsarme Frühling verantwortlich sein. Im Vergleich dazu war das Jahr 1999 niederschlagsreich – mit besonders viel Regen im August (132 mm an der ZAMG-Station Neusiedl am See).

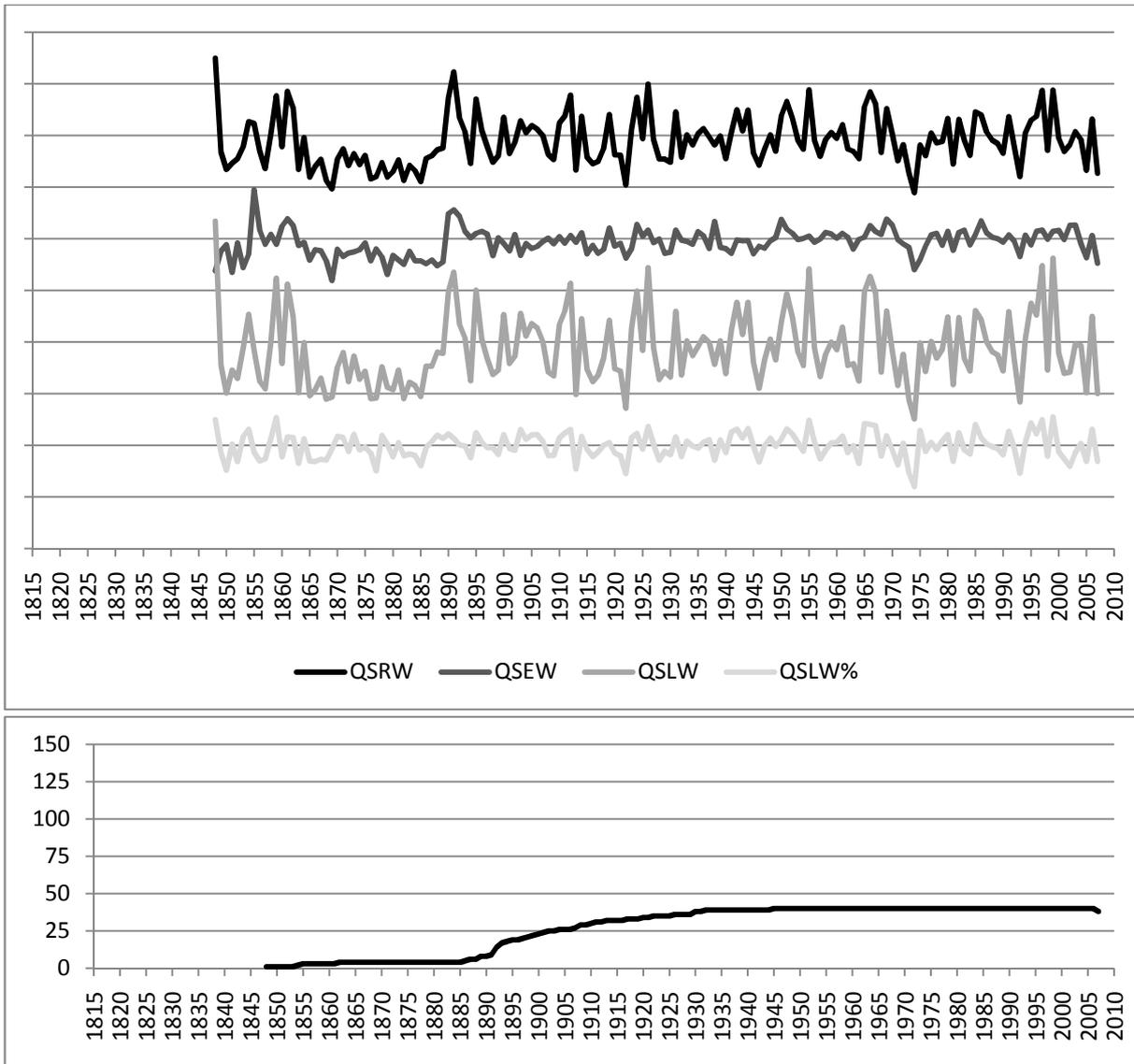


Abbildung 4.1-06: Gesamtchronologien sensibler Eichen 1848 bis 2007 und Probenanzahl

4.2 Ergebnisse der Korrelationsberechnungen

4.2.1 KORRELATIONEN GESAMTCHRONOLOGIEN – SEESPIEGEL

In Tabelle 4.2-01 sind die Korrelationskoeffizienten für alle Gesamtchronologien und zwei verschiedene Seespiegelmittelwerte – Septembermittelwert und Mittelwert von 27. August bis 5. September (siehe Kapitel 2.3.1) – dargestellt. Die Korrelationen wurden für den Zeitraum 1966 bis 2005 berechnet.

Tabelle 4.2-01: Signifikante Korrelationskoeffizienten Gesamtchronologien – Seespiegel

alle Bäume			sensitive Bäume		
See	Sep	Aug-Sep	See	Sep	Aug-Sep
RW	0,463	0,499	RW	0,449	0,491
EW			EW		
LW	0,532	0,572	LW	0,520	0,567
LW%	0,562	0,597	LW%	0,549	0,588
PNRW	0,331	0,368	PNRW	0,347	0,384
PNEW			PNEW		
PNLW	0,419	0,465	PNLW	0,434	0,478
PNLW%	0,425	0,463	PNLW%	0,419	0,455
QSRW	0,504	0,531	QSRW	0,517	0,552
QSEW			QSEW		
QSLW	0,533	0,559	QSLW	0,560	0,592
QSLW%	0,548	0,562	QSLW%	0,581	0,606

grau hinterlegt: Korrelationswerte jener Chronologien, die für die Berechnung der einfachen linearen Regression herangezogen wurden

Überraschend ist, dass – obwohl die Schwarzkiefern bei der Klimasensitivität (Kapitel 3.3) eigentlich insgesamt besser abgeschnitten haben – der Seespiegel von den Eichen besser abgebildet wird. Generell liefern Spätholzbreitenindex und Spätholzanteilindex die höchsten Korrelationskoeffizienten. Der Frühholzbreitenindex liefert in keiner Chronologie-Variante einen signifikanten Wert.

Bei den Chronologien aus beiden Baumarten liefern „alle Bäume“ bessere Ergebnisse als die Auswahl „sensitiver Bäume“, was möglicherweise daran liegt, dass hier der Eichenanteil höher ist (111 von 225 Proben) als bei den sensitiven Bäumen (40

von 130 Proben). Dennoch sind die Korrelationswerte der Chronologien beider Baumarten beim Spätholzbreitenindex nur mit dem August-September-Seespiegel und beim Spätholzanteilindex für beide Seespiegelvarianten höher als jene der reinen Eichenchronologien. Man kann daraus schließen, dass auch den Schwarzkiefern ein gewisser Erklärungswert zukommt.

Wählt man aber aus den Eichen nur die sensitiven Individuen aus, sind die Werte der Korrelation am höchsten. Am besten lässt sich der 10-Tages-Seespiegelmittelwert (27. August bis 5. September) durch den Spätholzanteilindex der sensitiven Eichen erklären (Korrelationskoeffizient = 0,606).

Zur Berechnung der Regressionen wurden nur die Chronologien der sensitiven Eichen und der 10-Tages-Seespiegelmittelwert des Zeitraums Ende August bis Anfang September ausgewählt (Korrelationswerte in Tabelle 4.2-01 grau hinterlegt), weil die sensitiven Eichen die Teilmenge mit den höchsten Korrelationskoeffizienten von allen indexierten Bäumen darstellen und sie mit dem 10-Tages-Mittelwert des Seespiegels besser korrelieren als mit dem September-Mittelwert.

4.2.2 KORRELATIONEN STANDORTCHRONOLOGIEN – SEESPIEGEL

In Tabelle 4.2-02 sind die Korrelationskoeffizienten für alle Standortchronologien und zwei verschiedene Seespiegelmittelwerte – Septembermittelwert und Mittelwert von 27. August bis 5. September – dargestellt. Die Korrelationen wurden für den Zeitraum 1966 bis 2005 berechnet.

Diese Korrelationsberechnungen mit den Standortchronologien sind eigentlich nur zu Vergleichszwecken durchgeführt worden. Die ursprüngliche Annahme, die Kombination von sensitiven Bäumen unterschiedlicher Standorte würde einen besseren Zusammenhang mit dem Seespiegel bringen als die Verwendung der Chronologien einzelner Standorte, konnte durch die dabei erzielten Ergebnisse allerdings klar widerlegt werden. Wieder zeigt sich, dass die Eichenchronologien besser mit dem Seespiegel korrelieren als die klimasensitiveren Schwarzkiefern. Besonders die Standorte Hanftalwald (Han) und Hinterwaldriegel (Hwr) liefern hohe Werte.

Der Standort Hinterwaldriegel fiel auf Grund des Auswahlkriteriums bei der Erstellung der Gesamtchronologien sensitiver Bäume komplett aus. Er wurde auch bei der Standortbeschreibung pedologisch als Übergangsbereich zwischen trockeneren und

feuchteren Verhältnissen und somit auch als nicht in besonderem Maße für dendro-klimatologische bzw. dendroökologische Fragestellungen geeignet ausgewiesen.

Der Standort Hanftalwald – ebenfalls nicht als sehr trockener Standort eingestuft – ist aber als Eichenstandort mit der höchsten Klimasensitivität (Kapitel 3.3) aufgefallen. Der Spätholzanteilindex korreliert mit dem Seespiegelmittelwert von 27. August bis 5. September am besten (Koeffizient = 0,659).

Der Standort Zeilerberg, pedologisch gesehen einer der trockensten und in puncto Klimasensitivität eindeutig an erster Stelle, korreliert nur sehr schlecht mit dem Seespiegel. Der zweite pedologisch eindeutige Trockenstandort Pusztasiedlung schneidet von den Schwarzkiefernstandorten am besten ab. Bei der Klimasensitivität lag er an letzter Stelle. Kaum signifikante bzw. hohe Werte liefern die Standorte Sonnenberg (Eiche und Schwarzkiefer) und Wilder Jäger.

Tabelle 4.2-02: Signifikante Korrelationskoeffizienten Standortchronologien – Seespiegel

Schwarzkiefer			Eiche		
See	Sep	Aug-Sep	See	Sep	Aug-Sep
PuzRW	0,535	0,570	HanRW	0,568	0,602
PuzEW	0,458	0,456	HanEW		0,318
PuzLW	0,484	0,526	HanLW	0,587	0,616
PuzLW%	0,434	0,467	HanLW%	0,633	0,659
SonPNRW	0,352	0,391	HwrRW	0,615	0,623
SonPNEW			HwrEW	0,385	0,355
SonPNLW	0,389	0,449	HwrLW	0,603	0,622
SonPNLW%	0,403	0,439	HwrLW%	0,515	0,526
WjgRW			MueRW	0,402	0,424
WjgEW			MueEW		
WjgLW			MueLW	0,446	0,467
WjgLW%		0,317	MueLW%	0,491	0,503
ZebRW	0,408	0,433	SonQSRW		
ZebEW			SonQSEW		
ZebLW	0,410	0,448	SonQSLW		
ZebLW%	0,341	0,388	SonQSLW%	0,321	0,324

grau hinterlegt: Korrelationswerte jener Chronologien, die für die Berechnung der einfachen linearen Regression herangezogen wurden; Auswahlkriterium: Korrelationskoeffizienten mit 10-Tages-Seespiegelmittelwert > 0,5

Ebenso wie die Hypothese, dass Bäume auf Trockenstandorten eine höhere Klimasensitivität aufweisen, muss auch die in Kapitel 1.1 getroffene Annahme, dass mit zunehmender Klimasensitivität die Korrelation mit den Seespiegelschwankungen steigt, verworfen werden.

Ausschlaggebend scheinen vielmehr die Entfernung zum See und die Höhenlage sowie in geringerem Maße auch die Baumart zu sein. Die Entfernungen der Standorte zum See können aus Abbildung 2.1-01 (Standorte Übersichtskarte, Seite 54) abgeschätzt werden. Die Seehöhe über Adria kann aus Tabelle 2.1-01 (Details zu den Probenstandorten, Seite 55) entnommen werden.

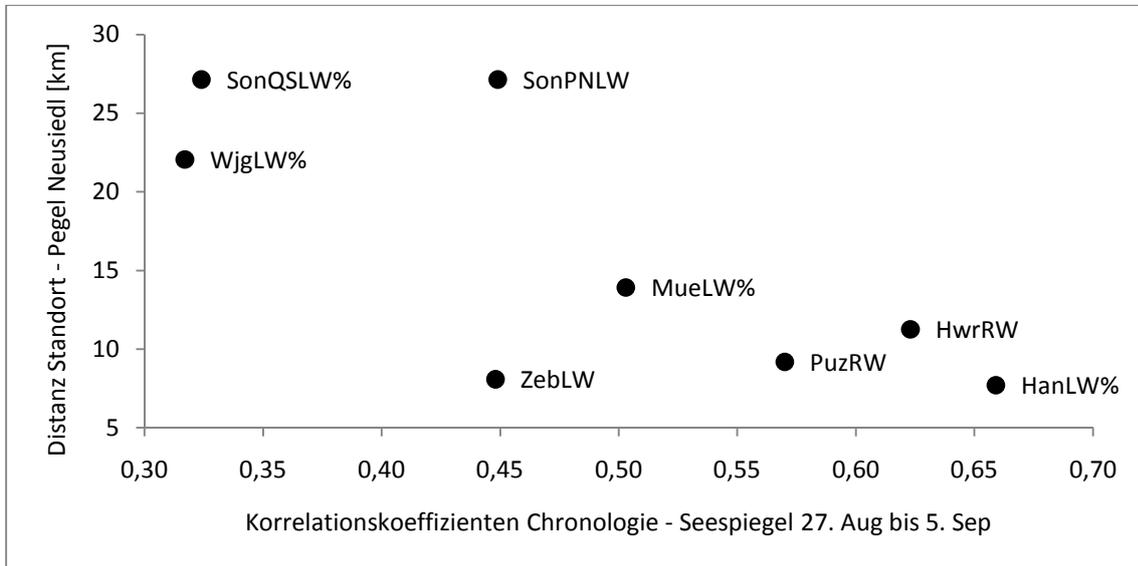


Abbildung 4.2-01: Chronologien mit den jeweils höchsten Korrelationswerten des Standorts und ihre Entfernung zur Pegelstation Neusiedl am See

Korrelationskoeffizienten siehe Tabelle 4.2-02
Distanzen ermittelt mit Hilfe von Google Earth

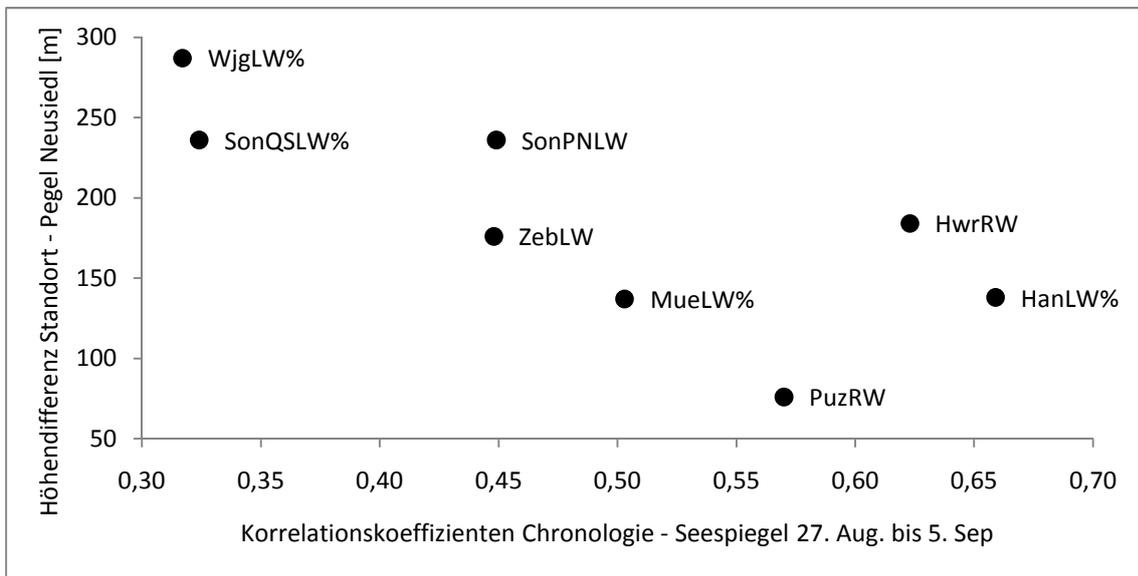


Abbildung 4.2-02: Chronologien mit den jeweils höchsten Korrelationswerten des Standorts und ihre Seehöhendifferenz zur Pegelstation Neusiedl am See

Korrelationskoeffizienten siehe Tabelle 4.2-02
Höhendifferenzen ermittelt mit GPS-Gerät und topographischen Karten

Abbildung 4.2-01 zeigt die höchsten Korrelationswerte für jeden Standort und die Entfernung des Standorts zur Seepegelstation Neusiedl am See des Hydrographischen Diensts Burgenland. Der Pegelstation am nächsten liegt der Eichenstandort Hanftalwald, der auch den höchsten aller Korrelationswerte aufweist. Die Standorte Wilder Jäger (Schwarzkiefern) und Sonnenberg (Eichen) liegen am weitesten von der Station entfernt und liefern auch die kleinsten Korrelationswerte. Nicht ins Bild passen die Schwarzkiefernstandorte Sonnenberg und Zeilerberg. Obwohl der Zeilerberg wesentlich näher am See und an der Pegelstation Neusiedl liegt als der Sonnenberg, sind die höchsten Korrelationswerte – beide für Spätholzbreite – etwa gleich groß.

Weniger eindeutig ist der Zusammenhang zwischen Korrelationskoeffizienten und Seehöhenunterschieden zur Seepegelstation Neusiedl – siehe Abbildung 4.2-02, aber auch hier ist die Tendenz zu erkennen. Mit zunehmender Höhendifferenz sinken die Korrelationskoeffizienten.

4.3 Ergebnisse der einfachen linearen Regression

Tabelle 4.3-01 zeigt die Bestimmtheitsmaße der einfachen linearen Regression der zuvor auf Grund der Ergebnisse der Korrelationsanalyse ausgewählten Chronologien (unabhängige Variablen) sowie den Seespiegelmittelwert von 27. August bis 5. September als abhängige Variable. Auf der linken Seite sind die Ergebnisse nach Chronologien sortiert, auf der rechten Seite sind sie absteigend nach der Höhe des Bestimmtheitsmaßes gereiht.

Tabelle 4.3-01: Jahrringchronologien – Seespiegelmittelwert August-September; korrigiertes R²

Chronologie	R²	Chronologie	R²
sensitive Eichen RW	0,287	Hanftalwald LW%	0,420
sensitive Eichen LW	0,333	Hinterwaldriegel RW	0,372
sensitive Eichen LW%	0,350	Hinterwaldriegel LW	0,371
Hanftalwald RW	0,345	Hanftalwald LW	0,363
Hanftalwald LW	0,363	sensitive Eichen LW%	0,350
Hanftalwald LW%	0,420	Hanftalwald RW	0,345
Hinterwaldriegel RW	0,372	sensitive Eichen LW	0,333
Hinterwaldriegel LW	0,371	Pusztasiedlung RW	0,307
Hinterwaldriegel LW%	0,258	sensitive Eichen RW	0,287
Müller Anhöhe LW%	0,234	Hinterwaldriegel LW%	0,258
Pusztasiedlung RW	0,307	Pusztasiedlung LW	0,258
Pusztasiedlung LW	0,258	Müller Anhöhe LW%	0,234
sortiert nach Chronologien		sortiert nach R ² absteigend	

Die Spätholzanteilindex-Chronologie des Standortes Hanftalwald liefert den höchsten Erklärungswert. Als unabhängige Variable kann sie 42% der Seespiegelvarianz erklären. Der höchste R²-Wert des einzigen Schwarzkiefern-Standorts, der in die Berechnungen eingegangen ist, ist jener der Jahrringbreitenindex-Chronologie am Standort Pusztasiedlung mit 30,7% erklärter Varianz. Er liegt erst auf dem achten Platz.

4.4 Ergebnisse der multiplen linearen Regression

Auf Grund der Ergebnisse der einfachen linearen Regression wurden als unabhängige Eingangsvariablen für die multiple lineare Regression die acht folgenden Chronologien herangezogen:

Hanftalwald (Han)

- RW Jahrringbreitenindex
- LW Spätholzbreitenindex
- LW% Spätholzanteilindex

Hinterwaldriegel (Hwr)

- RW Jahrringbreitenindex
- LW Spätholzbreitenindex
- LW% Spätholzanteilindex

Pusztasiedlung (Puz)

- RW Jahrringbreitenindex
- LW Spätholzbreitenindex

Die Gesamtchronologien der sensitiven Eichen gehen nicht in die Berechnungen ein, weil die Chronologien der Eichenstandorte teilweise darin enthalten sind. Der Standort Müller Anhöhe wurde ausgeschlossen, weil er mit seinem niedrigen Spätholzanteil- R^2 -Wert der schlechteste der drei analysierten Eichenstandorte ist. Die zwei Chronologien des Standorts Pusztasiedlung sind als unabhängige Variablen ausgewählt worden, weil es sich um den einzigen verbleibenden und besten Schwarzkiefernstandort handelt und bereits die Korrelationsanalyse (Kapitel 4.2.1) den Schluss nahe gelegt hat, dass die Schwarzkiefern einen gewissen Anteil an der Korrelation der Gesamtchronologien aller Bäume mit dem Seespiegel haben.

Als abhängige Variable wurde wie schon bei der einfachen linearen Regression der 10-Tages-Seespiegelmittelwert (27. August bis 5. September) gewählt.

4.4.1 MODELLIERUNG DER SEESPIEGELSCHWANKUNGEN

Die multiple lineare Regression mit den oben genannten Eingangsvariablen ergibt folgendes Modell zur Berechnung des Seespiegels im Zeitraum 1966 bis 2005:

$$\text{Seespiegel Aug-Sep [m ü. A.]} = 114,74 + 0,44 * \text{HanLW\%} + 0,183 * \text{PuzRW}$$

Aus den acht Chronologien, die als unabhängige Variablen ausgewählt wurden, gehen die Spätholzanteilindexchronologie des Standortes Hanftalwald (Eichen) und die Jahrringbreitenindexchronologie des Standortes Puztasiedlung (Schwarzkiefern) in das Modell ein. Die Schwarzkiefer trägt also ebenfalls zu einem kleineren Anteil als die Eiche zur Modellierung des Seespiegels bei.

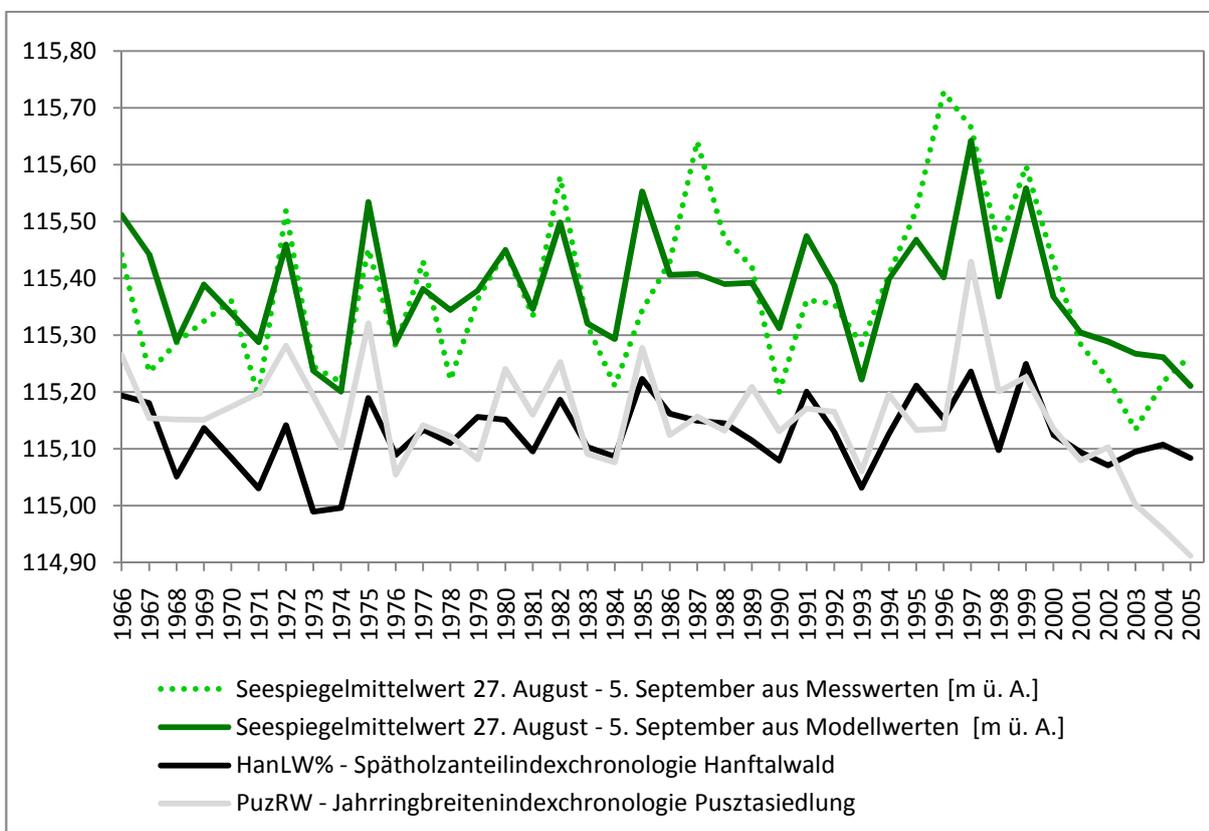


Abbildung 4.4-01: Modell Seespiegel, Chronologien HanLW% und PuzRW 1966 bis 2005
Daten Seespiegelmesswerte: Hydrographischer Dienst Burgenland

Abbildung 4.4-01 zeigt die beiden Chronologien und den Seespiegelmittelwert von 27. August bis 5. September berechnet aus den Pegelwerten der Station Neusiedl am See und die entsprechenden Ergebnisse des Modells für den Zeitraum 1966 bis 2005. In den frühen 1970er-Jahren, zu Beginn der 1980er und Ende der 1990er-Jahre stimmen die Modellwerte nahezu mit den Messwerten überein. Größere Abweichungen sind 1978, in den Jahren 1984 bis 1989, 1996 sowie in den Jahren 2002

und 2003 zu beobachten. Für die im Allgemeinen gebräuchliche Trennung des Modells in eine Kalibrations- und eine Verifikationsperiode schien der Zeitraum von 40 Jahren zu kurz.

Insgesamt erklärt das Modell 48,6% ($R^2 = 0,486$) der Varianz des Seespiegelmittelwerts. Ausgehend von der Beobachtung von HUGHES (2002), dass Jahrringe selten mehr als 60% der Varianz einer Klimavariablen erklären können, und im Vergleich mit anderen auf Jahrringen basierenden Modellierungen in Ostösterreich und Ungarn ist das ein durchaus aussagekräftiger Wert.

GRABNER und HOLAWE (2009) haben z. B. mit dem Spätholzanteil von Schwarzkiefern der Thermenlinie den Sommerniederschlag (Juni-Juli-August-Summe) Ostösterreichs modelliert. Im Kalibrationszeitraum 1921 bis 1995 erreichte ihr Modell ein Bestimmtheitsmaß von 36,8%. Mit Eichen (Jahrringbreitenchronologien) des Gebiets rund um den Plattensee in Ungarn wurde eine Niederschlagsrekonstruktion (Summe vom August des Vorjahres bis zum Juli der laufenden Vegetationsperiode) durchgeführt, die im Zeitraum 1953 bis 2003 37% der Varianz erklärt (KERN, GRYNAEUS und MORGÓS 2009). Bei einer Rekonstruktion des September-Wasserstandes des Plattensees mit denselben Eichendaten von KERN et al. (2009) wird für den Zeitraum 1963 bis 2003 ein R^2 von 0,39 angegeben.

Die bestehenden Unsicherheiten im Modell – immerhin sind 51,4% der Varianz noch nicht erfasst – könnten mit verbesserten Eingangsdaten wahrscheinlich noch verringert werden:

Einerseits wurden für den Seespiegel zur Vereinfachung ausschließlich die Pegelwerte der Station Neusiedl am See herangezogen und die anderen Stationen außer Acht gelassen. Möglicherweise bringt die Bildung des Seespiegel-Gewichtsmittels mit Hilfe von Teilseen wie sie von HANN (1975) – siehe Kapitel 2.3 – vorgeschlagen wird, bessere Resultate. Andererseits ist die Reduktion der Wassermenge, die sich im Neusiedler See befindet, auf die Pegelstände an sich schon eine Vereinfachung. Streng genommen müsste eigentlich das Volumen, welches das Wasser im Seebecken einnimmt, bzw. dessen zeitliche Änderung die abhängige Variable des Modells darstellen. Diese Berechnungen verlangen aber die Einbeziehung eines detaillierten Modells des Seebeckens (welches laut BOROVIČZÉNY et al. (1992) von CSAPLOVICS (1989) vorgelegt wurde) sowie Daten über Zu- und Abflüsse – zumindest von Wulka (Zufluss) und Einserkanal (Abfluss).

Ebenso könnten zusätzliche Jahrringdaten von Standorten in Seenähe – z. B. entlang seines Westufers bis ins ungarische Staatsgebiet hinein – zu einer Verbesserung des Modells beitragen.

5. ZUSAMMENFASSUNG UND SCHLUSSFOLGERUNGEN

Historische Aufzeichnungen bis ins Jahr 1074 zurück zeigen, dass der Seespiegel des Neusiedler Sees starken Schwankungen unterliegt, die von Überflutungen bis hin zur vollkommenen Austrocknung reichen können. Die Wasserstände des Sees sind mangels wasserreicher Zu- oder Abflüsse zum größten Teil vom Niederschlag und der Verdunstung – also von der klimatischen Wasserbilanz – abhängig.

Im Nordburgenland, das zu den trockensten Gebieten Österreichs gehört, kann man davon ausgehen, dass der Niederschlag auch der limitierende Faktor für das Wachstum von Schwarzkiefern (*Pinus nigra*) und Eichen (*Quercus petraea* und *Quercus robur*) ist, sofern sie auf Böden wachsen, die den Niederschlag nicht längerfristig pflanzenverfügbar speichern können, und nicht mit dem Grundwasser in Berührung kommen.

Die vorliegende Arbeit geht der Frage nach, ob die Jahrringe der Schwarzkiefer und der Traubeneiche bzw. Stieleiche als Proxy für die Seespiegelschwankungen des Neusiedler Sees geeignet sind und wie dieses Potenzial von unterschiedlichen Standortbedingungen beeinflusst wird.

Die Untersuchung ging von folgenden Hypothesen aus:

- Die Wasserstandschwankungen des Sees hängen so wie die Zuwächse von Schwarzkiefer und Eiche in erster Linie vom Niederschlag ab. Daher sollten die Seespiegelschwankungen und der jährliche Zuwachs der Bäume eine ähnliche zeitliche Entwicklung aufweisen.
- Mit der Trockenheit der Standorte steigt die Klimasensitivität der Bäume und somit auch ihr Potenzial als Proxy für die Veränderungen des Wasserstandes.

Die methodische Vorgehensweise zur Überprüfung dieser Annahmen beinhaltete neben der Beschreibung der Klimasensitivität von 32 Chronologien aus 127 Bäumen (60 Eichen und 67 Schwarzkiefern) an acht unterschiedlichen Standorten im Leithagebirge durch die Untersuchung von Klima-Wachstums-Beziehungen von vier Jahrringparametern (Jahrringbreite, Frühholzbreite, Spätholzbreite und Spätholzanteil) mit sechs verschiedenen Klimavariablen monatlicher Auflösung (relative Luftfeuchtigkeit, Bewölkung, Niederschlagssumme, Sonnenscheindauer, Mitteltemperatur und klimatische Wasserbilanz), die landschaftsökologische Standortaufnahme, die Unter-

suchung der Böden der jeweiligen Standorte durch Analysen direkt vor Ort und die statistische Beschreibung der Beziehungen zwischen Jahrringparametern und Seespiegelschwankungen mittels Korrelationsanalysen sowie einfacher und multipler linearer Regressionen.

Obwohl beide Hypothesen nicht verifiziert werden konnten, liefert die Arbeit aufschlussreiche Ergebnisse.

Die Response-Function-Analyse zeigt, dass die monatliche Niederschlagssumme besonders großen positiven Einfluss auf das Jahrringwachstum hat. Bei den Eichen sind v. a. Mai- und Juni-Niederschlag ausschlaggebend für Jahrringbreite, Spätholzanteil und Spätholzbreite. Bei den Schwarzkiefern, die generell höhere Response-Werte liefern, sind die Monate Juni und Juli am wichtigsten.

Die Ergebnisse für die Klimaelemente Bewölkung, Niederschlag, Sonnenscheindauer und Wasserbilanz sind konsistent: Starke Bewölkung, hoher Niederschlag, kurze Sonnenscheindauer und positive Wasserbilanz im späten Frühjahr und im Sommer wirken positiv auf das Jahrringwachstum. Diese Umstände sind ein Indiz dafür, dass die Wasserversorgung der Bäume während dieser Zeit der Vegetationsperiode ausschlaggebend für deren Zuwachs ist, wobei die Schwarzkiefern generell eine höhere Klima-Sensitivität aufweisen als die Eichen.

Durch die Verschneidung dieser Ergebnisse mit der pedologisch ermittelten Trockenheit der Standorte ergab sich folgendes Bild: Zwar trifft es zu, dass einer der zwei trockensten Standorte auch die höchsten Response-Werte liefert, aber gleichzeitig liefert ein anderer – pedologisch ebenfalls als sehr trocken eingestuft – die niedrigsten Response-Werte unter den Schwarzkiefern. Bei den Eichenstandorten kann generell kein eindeutiger Zusammenhang zwischen Trockenheit und Klimasensitivität hergestellt werden. Die Hypothese, dass die Klimasensitivität mit der Standorttrockenheit korreliert, wurde also nicht verifiziert. Es muss allerdings betont werden, dass dies nur für die im Rahmen dieser Arbeit analysierten Standorte gilt und auf Grund der geringen Anzahl von Untersuchungsstandorten eine Verallgemeinerung nicht möglich ist.

Für die Untersuchung des Zusammenhangs zwischen Jahrringen und Seespiegel mittels Korrelationsanalyse wurden aus den bisher behandelten Standortchronologien sechs verschiedene Gesamtchronologien aus Bäumen aller Standorte erstellt, weil auf Grund der Ergebnisse die Klimasensitivität betreffend nicht automatisch davon ausgegangen werden konnte, dass die Trockenstandorte hier am besten geeignet sein würden. Überraschend war, dass – obwohl die Schwarzkiefern bei der Klimasensitivität eigentlich insgesamt besser abgeschnitten haben – der Seespiegel von den Eichen besser abgebildet wird.

Bei den Gesamtchronologien aus beiden Baumarten liefern „alle Bäume“ bessere Ergebnisse als die Auswahl „sensitiver Bäume“. Die Korrelationswerte der Chronologien beider Baumarten sind allerdings höher als jene der reinen Eichenchronologien. Man kann daher annehmen, dass auch den Schwarzkiefern ein gewisser Erklärungswert zukommt. Wählt man aber aus den Eichen nur sensitive Individuen aus, sind die Werte der Korrelation am höchsten.

Dieselben Korrelationsberechnungen wurden mit den Standortchronologien durchgeführt. Die Annahme, dass die Kombination von sensitiven Bäumen unterschiedlicher Standorte eine höhere Korrelation mit dem Seespiegel bringt als die Verwendung der Chronologien einzelner Standorte, wurde durch die dabei erzielten Ergebnisse klar widerlegt. Die Standortchronologien liefern tendenziell höhere Korrelationswerte als die Gesamtchronologien und wieder zeigt sich, dass die Eichen besser mit dem Seespiegel korrelieren als die klimasensitiveren Schwarzkiefern.

Auf Grund der Ergebnisse der Korrelationsanalyse muss die Annahme, dass mit zunehmender Klimasensitivität die Korrelation mit den Seespiegelschwankungen steigt, ebenso wie die Hypothese, dass Bäume auf Trockenstandorten eine höhere Klimasensitivität aufweisen, verworfen werden. Ausschlaggebend scheinen vielmehr die Entfernung zum See und die Höhenlage sowie in geringerem Maße auch die Baumart zu sein. Tendenziell steigen die Korrelationswerte, je geringer die Entfernung des Standortes zum See ist.

Für die Berechnung der einfachen linearen Regression wurden sowohl die Gesamtchronologien der sensitiven Eichen als auch jene von drei Eichen- und einem Schwarzkiefernstandort herangezogen. Die Standortchronologien liefern generell höhere Werte als die Gesamtchronologien.

Zwei Eichenstandorte und der Schwarzkiefernstandort wurden nun als unabhängige Variablen verwendet, um einen 10-Tages-Seespiegelmittelwert Ende August bis Anfang September als abhängige Variable mittels schrittweiser linearer Regression zu modellieren. Das Modell zur Berechnung der Seespiegelschwankungen im Zeitraum 1966 bis 2005 zieht die Spätholzanteilindexchronologie des Standorts Hanftalwald (Eiche) und die Jahrringbreitenindexchronologie des Standorts Pusztasiedlung (Schwarzkiefern) heran und kommt so auf eine erklärte Varianz des Seespiegelmittelwerts von 48,6%.

Die Jahrringe von Schwarzkiefer und Eiche sind also als Proxy für Wasserstandsschwankungen des Neusiedler Sees geeignet. Der Erklärungswert des Modells kann durch zusätzliche dendrochronologische und genauere hydrologische Eingangsdaten wahrscheinlich noch verbessert werden.

LITERATUR- UND QUELLENVERZEICHNIS

Literatur

Ad-hoc-AG Boden, 2005: Bodenkundliche Kartieranleitung. 5. Auflage, Hannover.

AUER, I. et al., 2007: HISTALP – historical instrumental climatological surface time series of the Greater Alpine Region. In: International Journal of Climatology 27: 17 – 46.

BILLISICS-ROSENTIS, G., 2007: Flora und Fauna. In: Der See. Entstehung Gestalt Nutzung. Begleitband zur Sonderausstellung im Landesmuseum Burgenland von 20. April bis 11. November 2007 (Wissenschaftliche Arbeiten aus dem Burgenland Band 121) Eisenstadt. 67 – 74.

BIONDI, F. und K. WAIKUL, 2004: DENDROCLIM 2002: A C++ program for statistical calibration of climate signals in tree-ring chronologies. In: Computers & Geosciences 30: 303 – 311.

BOROVICZÉNY, F. et al., 1992: Wasserhaushaltsstudie für den Neusiedler See mit Hilfe der Geophysik und Geochemie. TU Forschungsbericht 16. Wien.

BRIFFA, K. R., 1998: Trees tell of past climates: But are they speaking less clearly today? In: Philosophical Transactions of the Royal Society B: Biological Sciences 353/1365: 65 – 73.

CHERUBINI, P. et al., 2004: Jahrringe als Archive für interdisziplinäre Umweltforschung. In: Schweizerische Zeitschrift für Forstwesen 6/04: 162 – 168.

COOK, E. R., 1990: A Conceptual Linear Aggregate Model for Tree Rings. In: Methods of Dendrochronology. Applications in the Environmental Sciences. E. R. COOK und L. A. KAIRIUKSTIS (Hrsg.) Kluwer Academic Publishers. Dordrecht, Boston, London.

Di FILIPPO, A. et al., 2007: Bioclimatology of beech (*Fagus sylvatica* L.) in the Eastern Alps: spatial and altitudinal climatic signals identified through a tree-ring network. In: Journal of Biogeography 34: 1873 – 1892.

FOWLER, A. M. et al., 2008: ENSO history recorded in *Agathis australis* (kauri) tree rings. Part A: kauri's potential as an ENSO proxy. In: International Journal of Climatology 28: 1 – 20.

FOWLER, A. M., 2008: ENSO history recorded in *Agathis australis* (kauri) tree rings. Part B: 423 years of ENSO robustness. In: International Journal of Climatology 28: 21 – 35.

FRITTS, H. C., 1976: Tree Rings and Climate. The Blackburn Press, Caldwell. London, New York, San Francisco.

GEIHOFFER, D. et al., 2005: New master chronologies from historical and archaeological timber in Eastern Austria. Konferenzbeitrag EuroDendro 2005, Viterbo.

Geologische Bundesanstalt, 2000: Geologie der Österreichischen Bundesländer. Burgenland. Erläuterungen zur Geologischen Karte des Burgenlandes 1:200.000. Wien.

GINDL, W., 2000: Climate induced variability of wood formation, lignification and wood quality. Dissertation an der Universität für Bodenkultur Wien.

GRABNER, M., 2005: Functional Tree-Ring Analysis: Wood as an information source to understand physiological, environmental and technological questions. Dissertation an der Universität für Bodenkultur Wien.

GRABNER, M. und F. HOLAWA, 2009: Die Schwarzkiefer als Niederschlagsindikator für Ostösterreich. In: alpine space – man & environment. Vol. 6 (Klimawandel in Österreich). Innsbruck University Press. 105 – 114.

HÄCKEL, H., 1999: Meteorologie. UTB für Wissenschaft 1338. Eugen Ulmer GmbH. & Co. Stuttgart.

HANN, W., 1975: Seespiegelschwankungen des Neusiedler Sees. Dissertation an der philosophischen Fakultät der Universität Wien.

HANTEL, M., 2001: Klimatologie. In: Erde und Planeten (Bergmann-Schäfer Lehrbuch der Experimentalphysik Band 7). Walter de Gruyter. Berlin, New York. 311 – 426.

HARLFINGER, O. und G. KNEES (Klimareferat der Österreichischen Bodenschätzung), 1999: Klimahandbuch der Österreichischen Bodenschätzung Klimatographie Teil 1. Innsbruck.

HOLMES, R. L., 1994: Dendrochronology Program Library – Users Manual. Laboratory of Tree-Ring Research University of Arizona. Tucson.

HÖLZEL GesmbH., 1996: Hölzel-Weltatlas für die Oberstufe. 5. Auflage. Ed. Hölzel. Wien.

HUGHES, M. K., 2002: Dendrochronology in climatology – the state of the art. In: Dendrochronologia 20/1-2: 95 – 116.

KAENNEL, M. und F. H. SCHWEINGRUBER (Hrsg.), 1995: Multilingual Glossary of Dendrochronology. Terms and Definitions in English, German, French, Spanish, Italian, Portuguese, and Russian. Swiss Federal Institute of Forest, Snow and Landscape Research, Birmensdorf. Verlag Haupt. Bern, Stuttgart, Wien.

KERN, Z. et al., 2009: High and low stands of Balaton Lake (East Central Europe, Hungary): reconstructed end-summer lake levels from AD 1601 based on radial growth of oak trees. Konferenzbeitrag EuroDendro 2009, Cala Millor.

KERN, Z., A. GRYNÆUS und A. MORGÓS, 2009: Reconstructed precipitation for southern Bakony Mountains (Transdanubia, Hungary) back to 1746 AD based on ring widths of oak trees. In: IDÖJÁRÁS Quaterly Journal of the Hungarian Meterological Service Vol. 113/4: 299 – 314.

KILIAN, W. et al., 2002: Schlüssel zur Bestimmung der Böden Österreichs. Mitteilungen der Österreichischen Bodenkundlichen Gesellschaft. Heft 67. Wien.

KOTTEK, M. et al., 2006: World Map of the KÖPPEN-GEIGER climate classification updated. In: Meteorologische Zeitschrift Vol. 15, Nr. 3: 259 – 263.

KROMP-KOLB, H. et al, 2005: Auswirkungen einer Klimaänderung auf den Wasserhaushalt des Neusiedler Sees. Forschungsprojekt Endbericht 2005. Universität für Bodenkultur. Institut für Meteorologie. Wien.

KUMMER-KOSCHISCHKEK, C. M., 1992: Geomorphologische und hydrogeologische Studien im mittleren Leithagebirge. Dissertation an der Grund- und Integrativwissenschaftlichen Fakultät der Universität Wien.

MEYER, W., 2007: Der Mensch und der See – „Neusiedler See“. Kartographie im Spiegel der Realität – Wasserstände, Sagen und Wüstungen. In: Der See. Entstehung Gestalt Nutzung. Begleitband zur Sonderausstellung im Landesmuseum Burgenland von 20. April bis 11. November 2007 (Wissenschaftliche Arbeiten aus dem Burgenland Band 121) Eisenstadt. 29 – 40.

Nationalpark Neusiedler See – Seewinkel, 2005: Der Naturraum Neusiedler See. Illmitz.

NICOLUSSI, K. und G. PATZELT, 2000: Discovery of early-holocene wood and peat on the forefield of the Pasterze Glacier, Eastern Alps, Austria. In: The Holocene 10/2: 191 – 199.

NICOLUSSI, K. et al., 2005: Holocene tree-line variability in the Kauner Valley, Central Eastern Alps, indicated by dendrochronological analysis of living trees and subfossil logs. In: Vegetation History and Archaeobotany 14/3: 221 – 234.

Österreichisch-Ungarische Gewässerkommission (Hrsg.), 1996: Jubiläumsschrift 40 Jahre Österreichisch-Ungarische Gewässerkommission Der Neusiedler See. Wien, Budapest.

REDL, E., 1987: Der Neusiedler See unter besonderer Berücksichtigung der ökologischen Gegebenheiten. Eine analytische Betrachtung. Diplomarbeit aus Physiogeographie an der Grund- und Integrativwissenschaftlichen Fakultät der Universität Wien.

SCHAUPMANN, S., 2008: Niederschlagssensitivität verschiedener Baumarten in Ostösterreich. Diplomarbeit aus Theoretische und Angewandte Geographie an der Fakultät für Geowissenschaften, Geographie und Astronomie der Universität Wien.

SCHEFFER, F. und P. SCHACHTSCHABEL, 2002: Lehrbuch der Bodenkunde. Spektrum Akademischer Verlag. Heidelberg, Berlin.

SCHÖNWIESE, C.-D., 2006: Praktische Statistik für Meteorologen und Geowissenschaftler. Gebrüder Borntraeger. Berlin, Stuttgart.

SCHRÖDTER, H., 1985: Verdunstung Anwendungsorientierte Messverfahren und Bestimmungsmethoden. Springer-Verlag. Berlin, Heidelberg, New York, Tokio.

SCHWEINGRUBER, F. H., 1983: Der Jahrring. Standort, Methodik, Zeit und Klima in der Dendrochronologie. Verlag Paul Haupt. Bern und Stuttgart.

SCHWEINGRUBER, F. H., 1993a: Jahrringe und Umwelt – Dendroökologie. Eidgenössische Forschungsanstalt für Wald, Schnee und Landschaft. Birmensdorf.

SCHWEINGRUBER, F. H., 1993b: Trees and Wood in Dendrochronology. Morphological, Anatomical, and Tree-Ring Analytical Characteristics of Trees Frequently Used in Dendrochronology. Springer-Verlag. Berlin, Heidelberg, New York.

SCHWEINGRUBER, F. H., 1996: Tree Rings and Environment. Dendroecology. Swiss Federal Institute for Forest, Snow and Landscape Research, Birmensdorf. Verlag Haupt. Bern, Stuttgart, Wien.

STOKES, M. A. und T. L. SMILEY, 1996: An introduction to tree-ring dating. The University of Arizona Press. Tucson.

STRUMIA, G., R. WIMMER und M. GRABNER, 1997: Dendroclimatic sensitivity of *Pinus nigra* Arnold in Austria. In: Dendrochronologia, 15: 129 – 137.

STRUMIA, G., 1999: Tree-ring based reconstruction of precipitation in Eastern Austria. Dissertation an der Universität für Bodenkultur Wien.

YIN, Z.-Y. et al., 2008: Reconstruction of a 1436-year soil moisture and vegetation water use history based on tree-ring widths from Qilian junipers in northeastern Qaidam Basin, northwestern China. In: International Journal of Climatology 28: 37 – 53.

ZEPP, H., 2002: Grundriss Allgemeine Geographie: Geomorphologie. UTB für Wissenschaft 2164. Eugen Ulmer GmbH. & Co. Paderborn, München, Wien, Zürich.

Daten

Klimadaten

ZAMG (Zentralanstalt für Meteorologie und Geodynamik)

Seespiegeldaten

HZB (Hydrographisches Zentralbüro Burgenland)

Karten

Bundesamt für Eich- und Vermessungswesen, 2005: Österreichische Karte 1:200.000, Burgenland.

Geologische Bundesanstalt, 1993: Geologische Karte 1:50.000, Blatt 78 (Rust).

Geologische Bundesanstalt, 1994: Geologische Karte 1:50.000, Blatt 77 (Eisenstadt).

Geologische Bundesanstalt, 1999: Geologische Karte des Burgenlandes 1:200.000.

Internet

<http://gis.lebensministerium.at/eBOD>
Zugriff am 18. Mai 2008

<http://www.ltrr.arizona.edu/skeletonplot/sensitivitycomplacency.htm>
Zugriff am 5. Mai 2008

<http://www.nationalpark-neusiedlersee-seewinkel.at>
Zugriffe 2008 und 2009

ANHANG

A Feinbodenarten nach Fraktionen und Bestimmung der Bodenart mittels Fingerprobe

aus: Ad-hoc-AG Boden (2005), Tabelle 30

Bodenarten-Gruppen	Bodenarten	Angaben in Masse-%			Bindigkeit	Formbarkeit	Körnigkeit*	weitere Erkennungsmerkmale
		Ton	Schluff	Sand				
Reinsande	reiner Sand	0 bis < 5	0 bis < 10	85 bis ≤ 100	0	0	nur Sandkörner, ohne erkennbare Feinsubstanz ¹⁾	in Fingerrillen haftet keine oder kaum Feinsubstanz
Lehmsande	schwach schluffiger Sand	0 bis < 5	10 bis < 25	70 bis < 90	0	0	Sandkörner gut sicht- und fühlbar, sehr wenig Feinsubstanz	in Fingerrillen haftet sehr wenig Feinsubstanz
	schwach lehmiger Sand	5 bis < 8	10 bis < 25	67 bis < 85	1	1 – 2	Sandkörner deutlich sicht- und fühlbar, sehr wenig Feinsubstanz	in Fingerrillen haftet wenig Feinsubstanz
	mittel lehmiger Sand	8 bis < 12	10 bis < 40	48 bis < 82	2	3	Sandkörner deutlich sicht- und fühlbar, wenig bis mäßig Feinsubstanz	in Fingerrillen haftet Feinsubstanz
	schwach toniger Sand	5 bis < 17	0 bis < 10	73 bis < 95	1 – 2	1 – 3	Sandkörner sicht- und fühlbar, sehr wenig Feinsubstanz	in Fingerrillen haftet sehr wenig Feinsubstanz
Schluffsande	mittel schluffiger Sand	0 bis < 8	25 bis < 40	52 bis < 75	0 – 1	0 – 2	Sandkörner gut sicht- und fühlbar, deutlich Feinsubstanz führend	in Fingerrillen haftet schwach mehlig Feinsubstanz
	stark schluffiger Sand	0 bis < 8	40 bis < 50	42 bis < 60	0 – 1	0 – 2	Sandkörner gut sicht- und fühlbar, viel Feinsubstanz	in Fingerrillen haftet stark mehlig Feinsubstanz
Sandlehme	schluffig-lehmiger Sand	8 bis < 17	40 bis < 50	33 bis < 52	1 – 2	3	Sandkörner deutlich sicht- und fühlbar, viel Feinsubstanz	Feinsubstanz ist deutlich mehlig
	stark lehmiger Sand	12 bis < 17	10 bis < 40	43 bis < 78	2	3	Sandkörner gut sicht- und fühlbar, mäßig bis viel Feinsubstanz	schwach glänzende, Reibfläche, walnussgroße Kugel formbar
	mittel toniger Sand	17 bis < 25	0 bis < 15	60 bis < 83	3	3	Sandkörner deutlich sicht- und fühlbar, mäßig Feinsubstanz führend	sehr klebrige Feinsubstanz („Honigsand“)

Normallehm	schwach sandiger Lehm	17 bis < 25	40 bis < 50	25 bis < 43	3	3	Sandkörner deutlich sicht- und fühlbar, viel Feinsubstanz	sehr schwach mehlig Feinsubstanz
	mittel sandiger Lehm	17 bis < 25	30 bis < 40	35 bis < 53	3	3	Sandkörner deutlich sicht- und fühlbar, viel Feinsubstanz	glänzende Reibfläche, sehr deutlich körnig
	stark sandiger Lehm	25 bis < 35	15 bis < 30	45 bis < 68	3	3	Sandkörner deutlich sicht- und fühlbar, mäßig Feinsubstanz führend	schwach glänzende Reibfläche, sehr deutlich körnig
	schwach toniger Lehm	25 bis 45	30 bis < 50	15 bis < 45	4	4	Sandkörner gut sicht- und fühlbar, sehr viel Feinsubstanz	schwach raue, schwach glänzende Reibfläche
Tonlehm	sandig-toniger Lehm	25 bis < 35	15 bis < 30	25 bis < 60	4 – 5	4 – 5	Sandkörner deutlich sicht- und fühlbar, reich an Feinsubstanz	sehr stark glänzende Reibfläche, körnig
	stark sandiger Ton	35 bis < 45	0 bis < 15	50 bis < 75	4	4	Sandkörner gut sicht- und fühlbar, viel Feinsubstanz	raue, stark glänzende Reibfläche, deutlich körnig
	mittel sandiger Ton	0 bis < 8	0 bis < 15	40 bis < 65	5	5	Sandkörner deutlich sicht- und fühlbar, sehr viel Feinsubstanz	schwach raue, glänzende Reibfläche, deutlich körnig, klebrig, zähplastisch
Sandschluff	reiner Schluff	0 bis < 8	80 bis ≤ 100	0 bis < 20	0 – 1	1	Sandkörner kaum oder nicht sicht- und fühlbar, fast nur Feinsubstanz	samtig-mehlig Feinsubstanz haftet deutlich in Fingerrillen, Reibfläche matt, aufschuppend
	sandiger Schluff	8 bis < 12	50 bis < 80	12 bis < 50	0 – 1	1	Sandkörner sicht- und fühlbar, Feinsubstanz überwiegt	samtig-mehlig Feinsubstanz haftet deutlich in Fingerrillen, Reibfläche körnig, matt, aufschuppend
Lehmschluff	schwach toniger Schluff	12 bis < 17	65 bis < 92	0 bis < 27	1	2	Sandkörner kaum oder nicht sicht- und fühlbar, fast nur Feinsubstanz	sehr stark mehlig Feinsubstanz haftet deutlich in Fingerrillen, raue, matte, aufschuppende Reibfläche
	mittel toniger Schluff	8 bis < 17	65 bis < 88	0 bis < 23	2	2	Sandkörner nicht sicht- und fühlbar, fast nur Feinsubstanz	deutlich mehlig Feinsubstanz haftet gut erkennbar in Fingerrillen, Reibfläche matt, aufschuppend
	sandig-lehmiger Schluff	8 bis < 17	50 bis < 65	18 bis < 42	1 – 2	1 – 3	Sandkörner sicht- und fühlbar, Feinsubstanz überwiegt	leicht mehlig Feinsubstanz haftet deutlich in Fingerrillen
Tonschluff	stark toniger Schluff	17 bis < 25	65 bis < 83	0 bis < 18	3	3	Sandkörner nicht sicht- und fühlbar, nur Feinsubstanz	schwach mehlig Feinsubstanz haftet, klebt etwas, matte bis schwach glänzende Reibfläche, aufschuppend
	schluffiger Lehm	17 bis < 30	50 bis < 65	5 bis < 33	3 – 4	3 – 4	Sandkörner nicht oder kaum sichtbar und nur schwach fühlbar, sehr viel Feinsubstanz	bindige Feinsubstanz, raue, matte bis schwach glänzende Reibfläche, körnig, aufschuppend

Schlufftone	mittel toniger Lehm	35 bis < 45	30 bis < 50	5 bis < 35	5	5	Sandkörner sicht- und fühlbar, sehr viel Feinsubstanz	zähplastische Feinsubstanz, schwach raue, schwach körnige, glänzende Reibfläche
	mittel schluffiger Ton	30 bis < 45	50 bis < 65	0 bis < 20	4 – 5	5	Sandkörner nicht sicht- und fühlbar, fast nur Feinsubstanz	zähplastische Feinsubstanz, schwach raue, glänzende Reibfläche
	stark schluffiger Ton	25 bis < 35	65 bis < 75	0 bis < 10	4	4	Sandkörner nicht sicht- und fühlbar, nur Feinsubstanz	raue, schwach glänzende Reibfläche, knirscht zwischen den Zähnen
Lehmtone	schwach sandiger Ton	45 bis < 65	0 bis < 15	20 bis < 55	5	5	wenig Sandkörner sicht- und fühlbar, reich an Feinsubstanz	stark glänzende Reibfläche, knirscht zwischen den Zähnen
	lehmiger Ton	45 bis < 65	15 bis < 30	5 bis < 40	5	5	sehr wenig Sandkörner sicht- und fühlbar, sehr viel Feinsubstanz	zähplastische Feinsubstanz, glänzende Reibfläche
	schwach schluffiger Ton	45 bis < 65	30 bis < 55	0 bis < 25	5	5	Sandkörner nicht sicht- und fühlbar, fast nur Feinsubstanz	stark plastische Feinsubstanz, schwach raue, glänzende Reibfläche
	reiner Ton	65 bis ≤ 100	0 bis < 35	0 bis < 35	5	5	Sandkörner nicht sicht- und fühlbar, nur Feinsubstanz	stark plastische, mm-dünn ausrollbare Feinsubstanz, glatte schwach glänzende bis glänzende Reibfläche
* Unter Feinsubstanz werden in der Spalte Körnigkeit die Korngrößen Schluff und Ton zusammengefasst.								

B Ergebnisse der Indexierung mit ARSTAN

Han			RW		EW		LW		LW%		
series	interval	years	mean sens.	detr.							
HanQS01a	1887	2007	121	.332	N exp	.185	N exp	.528	N exp	.244	N exp
HanQS01b	1886	2007	122	.333	N exp	.159	N exp	.539	N exp	.249	N exp
HanQS02a	1895	2007	113	.289	Regr-	.227	Regr-	.410	Regr-	.174	Regr-
HanQS02b	1893	2007	115	.302	Regr-	.176	N exp	.488	Regr-	.232	Regr-
HanQS04a	1897	2007	111	.305	Regr-	.177	Mean	.469	Regr-	.197	Regr-
HanQS04b	1900	2007	108	.316	Regr-	.223	Regr-	.491	Regr-	.225	Regr-
HanQS05a	1891	2006	116	.253	N exp	.200	N exp	.368	N exp	.163	N exp
HanQS05b	1910	2007	98	.275	Regr-	.201	N exp	.435	Regr-	.213	Regr-
HanQS06a	1889	2007	119	.343	Regr-	.187	Regr	.498	Regr-	.201	Regr-
HanQS06b	1893	2007	115	.323	N exp	.179	Regr	.528	N exp	.253	N exp
HanQS07a	1901	2006	106	.318	Regr-	.234	Mean	.430	Regr-	.222	Regr-
HanQS07b	1917	2007	91	.332	Mean	.182	Mean	.484	Regr-	.186	Regr-
HanQS08a	1891	2007	117	.325	N exp	.175	N exp	.490	N exp	.209	N exp
HanQS08b	1894	2007	114	.333	N exp	.172	N exp	.510	N exp	.240	N exp
HanQS09a	1892	2007	116	.301	N exp	.197	N exp	.472	N exp	.210	Regr-
HanQS09b	1890	2006	117	.323	N exp	.386	Mean	.304	N exp	.247	N exp
HanQS10a	1901	2007	107	.278	N exp	.186	N exp	.444	N exp	.215	N exp
HanQS10b	1907	2007	101	.298	Regr-	.204	Regr	.430	Regr-	.170	Regr-
HanQS11a	1892	2007	116	.283	N exp	.175	Regr	.444	N exp	.194	Regr-
HanQS11b	1908	2007	100	.281	Regr-	.175	Regr-	.408	Regr-	.166	Regr-
HanQS12a	1892	2007	116	.331	N exp	.191	Mean	.499	N exp	.212	N exp
HanQS12b	1899	2007	109	.348	Regr-	.217	N exp	.479	Regr-	.169	Regr-
HanQS13a	1892	2007	116	.313	N exp	.215	N exp	.502	N exp	.264	N exp
HanQS13b	1892	2006	115	.281	N exp	.194	N exp	.429	N exp	.187	N exp
HanQS14a	1889	2007	119	.249	N exp	.175	Regr-	.382	N exp	.183	Regr-
HanQS14b	1902	2007	106	.278	N exp	.187	Regr-	.413	N exp	.186	Regr-
HanQS15a	1896	2007	112	.234	N exp	.199	Mean	.374	N exp	.186	N exp
HanQS15b	1890	2007	118	.266	N exp	.222	N exp	.390	N exp	.197	N exp
means			111.9	.302		.200		.451		.207	

Hwr			RW		EW		LW		LW%		
series	interval	years	mean sens.	detr.							
HwrQS02a	1910	2007	98	.264	N exp	.185	N exp	.378	N exp	.136	Regr
HwrQS02b	1916	2007	92	.267	Regr-	.194	Mean	.357	Regr-	.119	Regr
HwrQS03a	1934	2007	74	.201	Regr-	.168	Mean	.275	Regr-	.091	Regr-
HwrQS03b	1920	2007	88	.214	Regr-	.184	Mean	.304	Regr-	.132	Regr-
HwrQS04a	1954	2007	54	.194	Mean	.142	Mean	.295	Mean	.119	N exp
HwrQS04b	1957	2007	51	.214	N exp	.189	N exp	.284	N exp	.094	N exp
HwrQS05a	1962	2007	46	.268	Regr-	.138	N exp	.346	Regr-	.091	Regr-
HwrQS05b	1950	2007	58	.254	N exp	.167	Mean	.337	N exp	.108	Regr-
HwrQS06a	1923	1987	65	.223	N exp	.150	Regr-	.306	N exp	.129	N exp
HwrQS06b	1921	2007	87	.240	N exp	.165	N exp	.336	N exp	.127	Regr-
HwrQS07a	1955	2007	53	.202	Regr-	.189	Regr-	.273	Regr-	.099	Regr-
HwrQS07b	1953	2007	55	.229	Regr-	.176	N exp	.301	Regr-	.125	Regr-
HwrQS08a	1956	2007	52	.202	Mean	.165	Mean	.273	Mean	.098	Regr-
HwrQS08b	1966	2007	42	.196	Regr-	.180	Mean	.285	Regr-	.119	Regr-
HwrQS09a	1933	2007	75	.193	Mean	.170	Mean	.261	Regr-	.094	Regr-
HwrQS09b	1937	2007	71	.211	Regr-	.153	N exp	.279	Regr-	.096	Regr-
HwrQS10a	1956	2007	52	.265	N exp	.173	Mean	.376	N exp	.144	N exp
HwrQS10b	1958	2007	50	.230	Mean	.174	N exp	.310	Mean	.123	Regr-
HwrQS11a	1950	2007	58	.242	N exp	.149	Mean	.326	N exp	.100	Regr
HwrQS11b	1961	2007	47	.249	Regr	.114	Mean	.326	Regr-	.088	Regr-

HwrQS12a	1954	2007	54	.250	Regr-	.155	Regr-	.395	Regr-	.174	Regr-
HwrQS12b	1963	2007	45	.217	Regr-	.190	Regr-	.286	Regr-	.106	Regr-
HwrQS13a	1911	2007	97	.213	Regr-	.172	Mean	.298	Regr-	.123	Regr-
HwrQS14a	1950	2007	58	.236	Regr-	.184	Mean	.304	Regr-	.097	Regr-
HwrQS14b	1958	2007	50	.211	Regr-	.183	N exp	.285	Regr-	.103	Regr-
HwrQS15a	1967	2007	41	.201	Mean	.170	N exp	.271	Mean	.096	Regr-
HwrQS15b	1959	2007	49	.244	Mean	.152	Mean	.314	N exp	.109	Mean
HwrQS16a	1931	2006	76	.244	Regr-	.201	Regr-	.335	Regr-	.143	Regr-
HwrQS16b	1911	2006	96	.251	Regr-	.158	Mean	.387	Regr-	.163	Regr-
means			63.2	.228		.169		.314		.115	

Mue			RW		EW		LW		LW%		
series	interval	years	mean sens.	detr.							
MueQS01a	1882	2006	125	.250	Regr-	.165	Mean	.386	N exp	.164	N exp
MueQS01b	1892	2007	116	.243	Regr	.175	Mean	.364	Regr-	.167	N exp
MueQS02a	1908	2007	100	.280	Regr-	.168	Regr-	.432	Regr-	.185	Regr-
MueQS02b	1883	2007	125	.220	Regr-	.157	Regr	.362	Regr-	.190	Regr-
MueQS03a	1911	2007	97	.247	Regr-	.149	Regr-	.389	Regr-	.172	Regr-
MueQS03b	1893	2007	115	.266	Regr-	.168	Regr-	.400	Regr-	.158	N exp
MueQS04a	1911	2007	97	.312	N exp	.191	N exp	.436	N exp	.149	N exp
MueQS04b	1904	2007	104	.285	N exp	.172	N exp	.402	N exp	.142	N exp
MueQS05a	1930	2007	78	.284	Regr-	.139	Mean	.405	Regr-	.151	Regr-
MueQS05b	1932	2007	76	.295	N exp	.162	N exp	.411	N exp	.146	N exp
MueQS07a	1905	2007	103	.237	N exp	.147	Regr-	.385	N exp	.175	Regr-
MueQS07b	1920	2007	88	.265	N exp	.141	N exp	.431	N exp	.198	Regr-
MueQS08a	1927	2007	81	.195	N exp	.183	N exp	.301	N exp	.166	N exp
MueQS08b										.198	N exp
MueQS09a	1923	2007	85	.224	N exp	.155	N exp	.364	N exp	.177	N exp
MueQS09b	1925	2007	83	.232	N exp	.170	Regr-	.378	N exp	.177	N exp
MueQS10a	1892	2007	116	.230	N exp	.138	N exp	.348	N exp	.147	N exp
MueQS10b	1893	2007	115	.208	N exp	.161	N exp	.341	N exp	.159	N exp
MueQS11a	1923	2007	85	.271	N exp	.175	N exp	.362	N exp	.117	N exp
MueQS11b	1945	2007	63	.259	N exp	.170	N exp	.411	N exp	.192	Regr-
MueQS12a	1926	2006	81	.259	N exp	.207	N exp	.407	N exp	.195	N exp
MueQS12b	1922	2007	86	.235	N exp	.248	N exp	.322	N exp	.153	N exp
MueQS13a	1913	2007	95	.257	N exp	.172	N exp	.434	N exp	.207	N exp
MueQS13b	1889	2007	119	.245	Regr-	.211	Regr-	.439	N exp	.237	N exp
MueQS14a	1919	2007	89	.237	Regr-	.231	Regr-	.364	Regr-	.187	Regr
MueQS14b	1919	2007	89	.211	Regr-	.223	Mean	.341	Regr-	.203	Regr-
MueQS15a	1922	2007	86	.278	N exp	.210	N exp	.406	N exp	.198	N exp
MueQS15b	1930	2007	78	.236	N exp	.190	N exp	.439	N exp	.244	N exp
means			95.4	.250		.177		.387		.177	

Puz			RW		EW		LW		LW%		
series	interval	years	mean sens.	detr.							
PuzPN01b	1934	2007	74	.290	N exp	.262	N exp	.502	N exp	.333	Regr
PuzPN02a	1926	2007	82	.246	Regr-	.220	N exp	.369	Regr	.229	Regr
PuzPN02b	1929	2007	79	.231	Regr-	.211	Regr-	.348	Regr-	.192	Regr-
PuzPN03a	1922	2007	86	.298	N exp	.273	N exp	.478	Regr-	.313	N exp
PuzPN03b	1919	2007	89	.298	N exp	.283	N exp	.456	Regr-	.298	Mean
PuzPN04a	1926	2007	82	.298	N exp	.318	N exp	.458	Regr-	.348	Regr
PuzPN04b	1937	2007	71	.228	N exp	.255	N exp	.355	N exp	.318	Regr-
PuzPN05a										.326	Regr
PuzPN06b	1923	2007	85	.347	N exp	.325	N exp	.533	N exp	.364	Regr
PuzPN07a	1921	2004	84	.298	N exp	.298	N exp	.498	N exp	.352	Regr
PuzPN07b	1926	2005	80	.292	N exp	.328	N exp	.492	N exp	.392	Regr
PuzPN08a	1934	2007	74	.274	N exp	.235	N exp	.423	Regr-	.250	Regr-
PuzPN08b	1921	2007	87	.249	Regr-	.234	Regr-	.439	Regr-	.304	N exp

PuzPN09a	1928	2007	80	.341	Regr-	.296	Regr-	.504	Regr-	.284	Regr
PuzPN09b	1928	2007	80	.266	N exp	.294	N exp	.405	Regr-	.293	N exp
PuzPN10a	1916	2007	92	.289	N exp	.260	N exp	.577	Regr-	.433	N exp
PuzPN10b	1911	2007	97	.283	N exp	.260	N exp	.605	Regr-	.479	N exp
PuzPN11a	1927	2007	81	.285	Regr-	.261	Regr-	.629	Regr-	.480	N exp
PuzPN11b	1916	2007	92	.317	Regr-	.311	Regr-	.623	Regr-	.484	N exp
PuzPN12a	1945	2007	63	.328	Mean	.306	Regr-	.459	Mean	.281	N exp
PuzPN12b	1937	2007	71	.272	Regr-	.287	Regr-	.379	Regr-	.238	Mean
PuzPN13a	1926	2007	82	.228	N exp	.215	N exp	.363	Regr-	.229	Mean
PuzPN13b	1927	2007	81	.198	N exp	.200	N exp	.359	Regr-	.244	Regr
PuzPN14a	1930	2007	78	.292	N exp	.285	N exp	.518	Regr-	.386	Mean
PuzPN15a	1920	2007	88	.309	N exp	.322	N exp	.500	Regr-	.319	N exp
PuzPN15b	1925	2007	83	.284	N exp	.275	N exp	.457	N exp	.278	Regr
means			81.6	.282		.273		.469		.325	

SonPN			RW		EW		LW		LW%		
series	interval	years	mean sens.	detr.							
SonPN01a	1954	2007	54	.313	N exp	.312	N exp	.464	Mean	.307	Mean
SonPN01b	1957	2007	51	.347	N exp	.316	N exp	.534	N exp	.322	N exp
SonPN02b	1896	2007	112	.314	Regr-	.315	Regr-	.508	Mean	.360	Mean
SonPN03a	1953	2007	55	.210	N exp	.199	N exp	.373	N exp	.253	Mean
SonPN03b										.328	N exp
SonPN04a	1967	2007	41	.347	N exp	.331	Mean	.560	N exp	.338	N exp
SonPN04b	1968	2005	38	.326	Mean	.324	Mean	.631	Mean	.438	Mean
SonPN05a	1921	2007	87	.320	Mean	.338	N exp	.479	Mean	.304	Mean
SonPN05b	1908	2007	100	.320	N exp	.333	N exp	.453	Regr-	.288	Regr
SonPN06a	1929	2006	78	.279	Regr-	.273	Regr-	.510	Regr-	.307	N exp
SonPN06b	1899	2007	109	.304	N exp	.295	Mean	.469	N exp	.292	Regr
SonPN07a	1961	2007	47	.306	Regr-	.315	Regr-	.622	N exp	.511	N exp
SonPN07b	1963	2007	45	.260	Regr-	.285	Regr-	.536	Regr-	.486	Mean
SonPN08a	1960	2007	48	.308	N exp	.263	N exp	.751	Regr-	.585	Mean
SonPN08b	1962	2007	46	.313	N exp	.300	N exp	.665	Regr-	.446	Mean
SonPN09a	1904	2004	101	.265	N exp	.272	N exp	.432	Regr	.308	N exp
SonPN09b	1913	2007	95	.266	N exp	.306	N exp	.438	Regr-	.332	Mean
SonPN10a	1899	2007	109	.341	N exp	.332	N exp	.546	Regr-	.344	Regr
SonPN10b	1908	2007	100	.307	Regr-	.273	Regr-	.503	Regr-	.286	Regr-
SonPN11a	1920	2007	88	.291	Regr-	.270	Regr-	.496	Regr-	.324	Regr
SonPN11b	1908	2007	100	.269	N exp	.243	N exp	.444	N exp	.274	Mean
SonPN12a	1967	2007	41	.280	Regr-	.214	N exp	.499	Regr-	.307	N exp
SonPN12b	1959	2007	49	.231	N exp	.280	N exp	.460	Regr-	.346	Mean
SonPN13a	1935	2007	73	.262	Regr-	.241	Regr-	.394	Regr-	.219	Regr
SonPN13b	1926	2007	82	.264	Regr-	.269	Regr-	.401	Regr-	.266	Regr-
SonPN14a	1916	2007	92	.313	N exp	.290	N exp	.450	N exp	.267	N exp
SonPN14b	1947	2007	61	.294	Regr-	.276	Regr-	.393	N exp	.210	N exp
SonPN15a	1965	2007	43	.188	N exp	.204	N exp	.325	Regr	.207	N exp
SonPN15b	1962	2007	46	.244	N exp	.208	N exp	.397	Mean	.244	Mean
SonPN16a	1950	2007	58	.201	Regr-	.191	Regr-	.474	Regr-	.357	N exp
SonPN16b	1953	2007	55	.249	Regr-	.196	Regr-	.527	Regr	.383	Mean
SonPN17a	1956	2007	52	.295	N exp	.295	N exp	.566	Mean	.389	Mean
SonPN17b	1955	2007	53	.263	N exp	.266	N exp	.631	N exp	.462	Mean
means			69.0	.284		.276		.498		.336	

SonQS			RW		EW		LW		LW%		
series	interval	years	mean sens.	detr.							
SonQS20a	1896	2007	112	.224	S 30	.149	S 30	.403	S 30	.245	S 30
SonQS21a	1895	2007	113	.206	S 30	.146	S 30	.296	S 30	.200	S 30
SonQS21b	1897	2007	111	.203	S 30	.151	S 30	.347	S 30	.148	S 30
SonQS25a	1853	2007	155	.216	S 30	.137	S 30	.340	S 30	.145	S 30

SonQS25b	1860	2007	148	.203	S 30	.133	S 30	.350	S 30	.178	S 30
SonQS26a	1854	2007	154	.277	S 30	.156	S 30	.344	S 30	.172	S 30
SonQS26b	1855	2007	153	.257	S 30	.132	S 30	.314	S 30	.133	S 30
SonQS27a	1895	2007	113	.252	S 30	.151	S 30	.321	S 30	.112	S 30
SonQS27b	1896	2007	112	.238	S 30	.161	S 30	.276	S 30	.168	S 30
SonQS28a	1898	2007	110	.251	S 30	.168	S 30	.283	S 30	.143	S 30
SonQS28b	1894	2007	114	.234	S 30	.171	S 30	.368	S 30	.195	S 30
SonQS29b	1865	2007	143	.165	S 30	.189	S 30	.413	S 30	.203	S 30
SonQS30a	1867	2007	141	.218	S 30	.188	S 30	.384	S 30	.197	S 30
SonQS30b	1892	2007	116	.220	S 30	.177	S 30	.359	S 30	.200	S 30
SonQS31b	1851	2007	157	.175	S 30	.169	S 30	.410	S 30	.172	S 30
SonQS32c	1930	2007	78	.223	S 30	.168	S 30	.410	S 30	.187	S 30
SonQS33a	1853	2007	155	.198	S 30	.143	S 30	.386	S 30	.179	S 30
SonQS33b	1852	2007	156	.176	S 30	.185	S 30	.377	S 30	.189	S 30
SonQS34a	1819	2007	189	.255	S 30	.191	S 30	.406	S 30	.209	S 30
SonQS34b	1824	2007	184	.209	S 30	.156	S 30	.388	S 30	.201	S 30
SonQS20b	1863	2007	145	.217	S 30	.213	S 30	.255	S 30	.119	S 30
SonQS22b	1950	2007	58	.226	S 30	.170	S 30	.333	S 30	.167	S 30
SonQS22a	1952	2007	56	.214	S 30	.172	S 30	.390	S 30	.224	S 30
SonQS23a	1889	2007	119	.153	S 30	.237	S 30	.303	S 30	.175	S 30
SonQS23b	1867	2007	141	.189	S 30	.201	S 30	.327	S 30	.165	S 30
SonQS24b	1862	2007	146	.253	S 30	.147	S 30	.320	S 30	.180	S 30
SonQS24a	1871	2007	137	.222	S 30	.209	S 30	.290	S 30	.161	S 30
SonQS19b	1853	2007	155	.179	S 30	.142	S 30	.368	S 30	.191	S 30
SonQS19a	1848	2007	160	.187	S 30	.153	S 30	.329	S 30	.166	S 30
means			132.1	.215		.168		.348		.177	

Wjg	series	interval	years	RW		EW		LW		LW%	
				mean sens.	detr.						
WjgPN01a	1896	2007	112	.265	Regr-	.257	N exp	.436	Regr-	.286	Regr
WjgPN01b	1914	2007	94	.273	Regr-	.292	N exp	.379	Regr-	.225	Regr
WjgPN02a	1903	2007	105	.301	Regr-	.276	Regr-	.555	Regr-	.383	Regr-
WjgPN02b	1891	2007	117	.304	Regr-	.310	Regr-	.495	Regr-	.339	Mean
WjgPN03a	1897	2007	111	.310	Regr-	.317	N exp	.427	Regr-	.247	Regr
WjgPN03b	1893	2007	115	.343	N exp	.375	N exp	.450	Regr-	.266	Mean
WjgPN04a	1926	2007	82	.227	Regr-	.215	Regr-	.331	Regr-	.171	Regr-
WjgPN04b	1891	2007	117	.229	N exp	.215	N exp	.345	Regr-	.196	Mean
WjgPN05a	1888	1978	91	.284	N exp	.314	N exp	.414	Mean	.324	Mean
WjgPN05b	1889	2007	119	.322	N exp	.356	N exp	.492	Regr-	.368	Regr-
WjgPN07a	1894	2007	114	.280	N exp	.304	N exp	.400	N exp	.251	Mean
WjgPN07b	1894	2006	113	.336	N exp	.327	N exp	.447	N exp	.265	Mean
WjgPN08a	1889	2007	119	.271	N exp	.277	N exp	.389	Regr-	.250	Regr
WjgPN08b	1928	2007	80	.224	Regr-	.266	Regr-	.358	Regr-	.260	N exp
WjgPN09a	1903	2007	105	.295	Regr-	.299	Mean	.551	Regr-	.401	Regr-
WjgPN09b	1893	2001	109	.354	Mean	.393	Mean	.546	Mean	.398	Regr
WjgPN10a	1899	2007	109	.299	Regr-	.339	Regr-	.501	Regr-	.348	N exp
WjgPN10b	1891	2007	117	.302	Regr-	.317	N exp	.483	Regr-	.357	N exp
WjgPN11a	1892	2006	115	.248	Regr-	.284	N exp	.343	Regr-	.231	Regr
WjgPN11b	1894	2002	109	.269	Regr	.324	Regr	.327	Mean	.237	Regr
WjgPN12a	1895	2007	113	.276	Regr-	.307	Regr-	.333	Regr-	.231	Mean
WjgPN12b	1896	2007	112	.235	Regr-	.263	Regr-	.342	Regr-	.222	Mean
WjgPN13a	1890	2007	118	.276	Regr-	.281	Regr-	.457	Regr-	.323	Regr-
WjgPN13b	1914	2007	94	.275	Regr-	.281	Regr-	.399	Regr-	.270	Regr-
WjgPN14a	1893	2007	115	.274	Regr-	.303	N exp	.351	Regr-	.252	Regr
WjgPN14b	1896	2007	112	.285	Regr-	.279	Regr-	.409	Regr-	.217	Regr
WjgPN15b	1897	2007	111	.260	Regr-	.275	Regr-	.328	Regr-	.186	N exp
means			108.4	.282		.298		.418		.278	

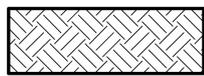
Zeb			RW		EW		LW		LW%		
series	interval	years	mean sens.	detr.							
ZebPN01a	1889	2007	119	.295	N exp	.326	N exp	.456	N exp	.369	Regr
ZebPN01b	1899	2007	109	.324	N exp	.341	N exp	.491	N exp	.379	N exp
ZebPN02a	1894	2005	112	.289	N exp	.271	N exp	.534	N exp	.339	Regr
ZebPN02b	1894	2005	112	.307	N exp	.285	N exp	.530	N exp	.364	Regr
ZebPN03a	1892	2007	116	.296	N exp	.297	N exp	.547	N exp	.460	Regr
ZebPN03b	1892	2007	116	.296	N exp	.264	N exp	.553	N exp	.433	Regr
ZebPN04a	1895	2007	113	.378	N exp	.380	N exp	.529	N exp	.343	N exp
ZebPN04b	1906	2007	102	.336	N exp	.312	N exp	.554	N exp	.392	Regr-
ZebPN05a	1924	2006	83	.359	N exp	.370	N exp	.611	N exp	.442	N exp
ZebPN05b	1925	2007	83	.335	N exp	.364	N exp	.617	N exp	.484	Mean
ZebPN06a	1934	2007	74	.322	N exp	.335	N exp	.533	N exp	.454	Mean
ZebPN06b	1929	2007	79	.315	N exp	.341	N exp	.556	Regr-	.448	Regr-
ZebPN07a	1887	2007	121	.313	N exp	.317	N exp	.540	N exp	.422	N exp
ZebPN07b	1886	2007	122	.298	N exp	.319	N exp	.467	N exp	.389	Regr
ZebPN08a	1949	2007	59	.328	Regr-	.349	Regr-	.473	Regr-	.293	Mean
ZebPN08b	1943	2007	65	.363	Regr-	.372	N exp	.560	Regr-	.398	Mean
ZebPN09a	1935	2006	72	.324	Regr-	.303	Regr-	.429	Regr-	.222	Regr-
ZebPN09b	1896	2006	111	.320	N exp	.325	N exp	.448	N exp	.261	Regr
ZebPN09c	1892	1933	42	.283	Regr-	.308	N exp	.365	Regr-	.196	N exp
ZebPN10a	1889	2007	119	.294	N exp	.257	N exp	.445	N exp	.425	Regr-
ZebPN10b	1893	2007	115	.303	N exp	.259	N exp	.456	N exp	.439	Regr
ZebPN11a	1884	2007	124	.298	N exp	.270	N exp	.502	N exp	.354	Regr
ZebPN11b	1890	2007	118	.313	N exp	.282	N exp	.549	N exp	.344	Regr
ZebPN12a	1940	2007	68	.348	Regr-	.326	N exp	.534	Regr-	.351	Mean
ZebPN12b	1949	2007	59	.345	Regr-	.320	Regr-	.494	Regr-	.278	Mean
ZebPN13a	1884	2007	124	.326	N exp	.298	N exp	.576	N exp	.373	Mean
ZebPN13b										.423	N exp
ZebPN14a	1882	2006	125	.265	N exp	.219	N exp	.448	N exp	.305	Regr
ZebPN14b	1888	2007	120	.309	N exp	.281	N exp	.293	N exp	.363	Regr-
ZebPN16a	1889	2004	116	.283	N exp	.325	N exp	.482	N exp	.409	Mean
ZebPN16b	1895	2007	113	.274	Regr-	.269	N exp	.499	Regr-	.394	Regr-
means			100.4	.315		.310		.502		.372	

C Ausgewählte Proben für Gesamtchronologien sensibler Bäume

series	interval	mean sens.									
			PuzPN07b	1926	2005	.491	SonQS28a	1898	2007	.410	
			PuzPN08a	1934	2007	.422					
			PuzPN08b	1921	2007	.439	WjgPN01a	1896	2007	.436	
HanQS01a	1887	2007	.530	PuzPN09a	1928	2007	.505	WjgPN02a	1903	2007	.554
HanQS01b	1886	2007	.541	PuzPN09b	1928	2007	.406	WjgPN02b	1891	2007	.493
HanQS02a	1895	2007	.411	PuzPN10a	1916	2007	.577	WjgPN03a	1897	2007	.428
HanQS02b	1893	2007	.489	PuzPN10b	1911	2007	.605	WjgPN03b	1893	2007	.449
HanQS04a	1897	2007	.469	PuzPN11a	1927	2007	.629	WjgPN05a	1888	1978	.414
HanQS04b	1900	2007	.493	PuzPN11b	1916	2007	.623	WjgPN05b	1889	2007	.491
HanQS05b	1910	2007	.436	PuzPN12a	1945	2007	.459	WjgPN09a	1903	2007	.550
HanQS06a	1889	2007	.499	PuzPN14a	1930	2007	.517	WjgPN09b	1893	2001	.546
HanQS06b	1893	2007	.530	PuzPN15a	1920	2007	.499	WjgPN10a	1899	2007	.501
HanQS07b	1917	2007	.484	PuzPN15b	1925	2007	.456	WjgPN10b	1891	2007	.483
HanQS08a	1891	2007	.491				WjgPN13a	1890	2007	.457	
HanQS08b	1894	2007	.511	SonPN01a	1954	2007	.464	WjgPN13b	1914	2007	.400
HanQS09a	1892	2007	.473	SonPN01b	1957	2007	.534	WjgPN14b	1896	2007	.409
HanQS10a	1901	2007	.445	SonPN02b	1896	2007	.508	ZebPN01a	1889	2007	.454
HanQS10b	1907	2007	.431	SonPN04a	1967	2007	.560	ZebPN01b	1899	2007	.489
HanQS11a	1892	2007	.446	SonPN04b	1968	2005	.631	ZebPN02a	1894	2005	.533
HanQS11b	1908	2007	.411	SonPN05a	1921	2007	.479	ZebPN02b	1894	2005	.530
HanQS12a	1892	2007	.499	SonPN05b	1908	2007	.453	ZebPN03a	1892	2007	.545
HanQS12b	1899	2007	.479	SonPN06a	1929	2006	.510	ZebPN03b	1892	2007	.551
HanQS13a	1892	2007	.503	SonPN06b	1899	2007	.469	ZebPN04a	1895	2007	.528
HanQS13b	1892	2006	.430	SonPN07a	1961	2007	.622	ZebPN04b	1906	2007	.539
HanQS14b	1902	2007	.413	SonPN07b	1963	2007	.536	ZebPN05a	1924	2007	.627
			SonPN08a	1960	2007	.750	ZebPN05b	1925	2007	.616	
MueQS02a	1908	2007	.432	SonPN08b	1962	2007	.665	ZebPN06a	1934	2007	.533
MueQS03b	1893	2007	.400	SonPN09a	1904	2004	.432	ZebPN06b	1929	2007	.559
MueQS04a	1911	2007	.436	SonPN09b	1913	2007	.438	ZebPN07a	1887	2007	.539
MueQS04b	1904	2007	.401	SonPN10a	1899	2007	.546	ZebPN07b	1886	2007	.464
MueQS05a	1930	2007	.405	SonPN10b	1908	2007	.503	ZebPN08a	1949	2007	.473
MueQS05b	1932	2007	.411	SonPN11a	1920	2007	.496	ZebPN08b	1943	2007	.559
MueQS07b	1920	2007	.431	SonPN11b	1908	2007	.444	ZebPN09a	1935	2006	.429
MueQS11b	1945	2007	.410	SonPN12a	1967	2007	.499	ZebPN09b	1896	2006	.449
MueQS12a	1926	2006	.408	SonPN12b	1959	2007	.460	ZebPN10a	1889	2007	.574
MueQS13a	1913	2007	.433	SonPN13b	1926	2007	.401	ZebPN10b	1893	2007	.567
MueQS13b	1889	2007	.440	SonPN14a	1916	2007	.450	ZebPN11a	1884	2007	.497
MueQS15a	1922	2007	.407	SonPN16a	1950	2007	.474	ZebPN11b	1890	2007	.546
MueQS15b	1930	2007	.440	SonPN16b	1953	2007	.526	ZebPN12a	1940	2007	.534
			SonPN17a	1956	2007	.566	ZebPN12b	1949	2007	.495	
PuzPN01b	1934	2007	.505	SonPN17b	1955	2007	.631	ZebPN13a	1884	2007	.578
PuzPN03a	1922	2007	.478				ZebPN14a	1882	2006	.444	
PuzPN03b	1919	2007	.456	SonQS19a	1848	2007	.406	ZebPN14b	1888	2007	.506
PuzPN04a	1926	2007	.459	SonQS24b	1862	2007	.416	ZebPN16a	1889	2004	.481
PuzPN04b	1937	2007	.421	SonQS26a	1854	2007	.414	ZebPN16b	1895	2007	.499
PuzPN06b	1923	2007	.533	SonQS26b	1855	2007	.409				
PuzPN07a	1921	2004	.500								

D Legende zu den Bodenhorizonten der Standortprofile

aus: KILIAN et al. (2002)



F

deutlich veränderte Nadel- bzw. Blattreste; Ausgangsmaterial ist jedoch noch erkennbar; Blätter fragmentiert und verfärbt, deutlich gesprenkelt und punktiert; Anteil der organischen Feinsubstanz beträgt fünf bis maximal (Grenze zum H-Horizont) 75 Masseprozent; Lagerungsart wird durch Umsetzungsgeschwindigkeit und Umsetzungsart (zoogen, mykogen) geprägt; je nach Humusform ist der Übergang zum H-Horizont scharf abgesetzt bis allmählich; bei ungünstigen Humusformen lässt sich der verklebt bis sperrig gelagerte F-Horizont lagig vom H-Horizont abheben



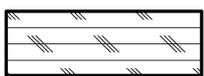
H

zum überwiegenden Teil (zumindest zu 75%) aus organischer Feinsubstanz bestehend; biogenes Ausgangsmaterial lässt sich im Gelände nur in Ausnahmefällen feststellen; bisweilen sind Zapfen, Holz, Rinde, Pflanzen- und Blattreste lagig oder linsenförmig eingemischt; je nach Humusform Übergang zum A-Horizont scharf bis sehr undeutlich; Abgrenzungskriterium zum Mineralboden (A-Horizont) ist die Grenze von 30 Masseprozent organischer Substanz



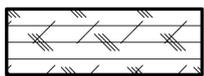
M

stark humoser, dichtgelagerter Wurzelfilz; ein gemeinsamer Auflagehumus-Horizont, der nicht mehr in L-, F- und H-Horizonte aufgetrennt werden kann



A

mineralischer Oberbodenhorizont mit erkennbarer Anreicherung organischer Substanz. Abgrenzung zu Auflage-Horizonten: weniger als 30 Masseprozent Gehalt organischer Substanz; Abgrenzungen zu tieferen Mineralbodenhorizonten: zumindest eine Chromastufe Farbunterschied (nach MUNSELL)



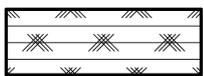
Ab

leichte Verbraunung



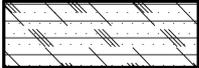
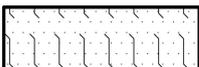
Ag

leichte Gley- oder Pseudogleyerscheinungen, die Ausscheidung entsprechender Haupthorizonte (G, P, S) nicht rechtfertigen



Ahb

deutlich humos; biogene Akkumulation organischer Substanz; keine erkennbare Infiltration

	A-B	A- und B-Horizont nicht eindeutig voneinander zu trennen
	A-Bv	A- und Bv-Horizont nicht eindeutig voneinander zu trennen
	A-Cv	A- und Cv-Horizont nicht eindeutig voneinander zu trennen
	B	Durch chemische Verwitterung, Verlehmungs- oder Anreicherungsprozesse vom Ausgangsgestein differenzierter Mineralbodenhorizont; durch Eisenoxide oder Eisenoxidhydrate (gelb- bis rot-)braun gefärbt
	Bh	deutlich sichtbar Humusstoffe aus den oberen Horizonten durch Podsolierung oder Solodierung angereichert
	Bv	für verwittertes, verändertes, gealtertes Material
	C	lockeres oder festes Gesteinsmaterial, aus dem Mineralboden entstanden ist (Ausgangsmaterial), oder das den Boden unterlagert
	Cg	leichte Gley- oder Pseudogleyerscheinungen, die eine Ausscheidung entsprechender Haupthorizonte (G, P, S) nicht rechtfertigen
	Cu	für unterlagerndes Material, das sich lithologisch und/oder genetisch von den oberliegenden Horizonten deutlich unterscheidet, nicht Ausgangsmaterial des Bodens
	Cv	für verwittertes, verändertes, gealtertes Material
	P	durch temporäre Staunässe (Oberflächenwasser, das nicht in den Unterboden absickern kann) geprägter Mineralbodenhorizont; deutliche Merkmale von Nassbleichung und Oxidation; Stauzone bzw. Stauwasserleiter der Pseudogleye
	S	dichtlagernder, durch hohen Ton- oder Schluffanteil weitgehend wasserundurchlässiger Mineralbodenhorizont (Rost- und Bleichflecken), gebleichte Aggregatoberflächen; nach unten nimmt Durchfeuchtung ab; Staukörper der Pseudogleye

ERKLÄRUNG

Ich versichere, ...

- ... dass ich die Diplomarbeit selbständig verfasst, keine anderen als die angegebenen Quellen und Hilfsmittel benutzt und mich auch sonst keiner unerlaubten Hilfe bedient habe.
- ... dass ich dieses Diplomarbeitsthema bisher weder im In- noch im Ausland eineR BeurteilerIn zur Begutachtung in irgendeiner Form als Prüfungsarbeit vorgelegt habe.
- ... dass diese Arbeit mit der von der Begutachterin beurteilten Arbeit übereinstimmt.
- ... dass ich mich bemüht habe, die Inhaber sämtlicher Bildrechte ausfindig zu machen und ihre Zustimmung zur Verwendung der Bilder in dieser Arbeit eingeholt habe. Sollte dennoch eine Urheberrechtsverletzung bekannt werden, ersuche ich um Meldung bei mir.

Wien, März 2010

LEBENS LAUF

Persönliche Daten

Name Sandra Karanitsch-Ackerl
Adresse Landstraßer Hauptstraße 73/1/2
1030 Wien
Geburtsdatum und -ort 2. April 1983, Mödling
Staatsbürgerschaft Österreich
Familienstand verheiratet

Berufserfahrung

Juli bis August 2008 Freie Dienstnehmerin
Fachbereich Klimatologie
Zentralanstalt für Meteorologie und Geodynamik
Hohe Warte 38, 1190 Wien

seit November 2007 Projektmitarbeiterin
Fachbereich Dendrochronologie
Institut für Holzforschung, Universität für Bodenkultur
Peter-Jordan-Straße 82, 1190 Wien

Oktober 2007 bis Februar 2010 Tutorin
Fachbereich Klimageographie
Institut für Geographie und Regionalforschung, Universität Wien
Althanstraße 14, 1090 Wien

August 2001 bis Oktober 2007 Mitarbeiterin Kundenservice
Kassa, Kassenaufsicht, Teilzahlung
IKEA MöbelvertriebsOHG
Shopping City Süd, 2334 Vösendorf

Sommer 1998, 1999 und 2000 Ferialangestellte
Parteienverkehr, Büro- und Archivarbeit
Stadtgemeindeamt Mannersdorf
2452 Mannersdorf am Leithagebirge

Aus- und Weiterbildung

Oktober und November 2009	Wissenschaftliches Publizieren: Das Schreiben von naturwissenschaftlichen Publikationen Kurs an der Universität für Bodenkultur Wien
Dezember 2007	Projektmanagement-Grundausbildung Zertifizierung von PM Austria Wien
August 2007	HTML-Grundkurs Volkshochschule Landstraße Wien
März bis Juni 2005	Spanisch-Kurs Lateinamerika-Institut Wien
seit Oktober 2002	Studium Theoretische und Angewandte Geographie Schwerpunkte Landschaftsökologie und Naturraumanalyse, Globale Umweltveränderungen, Geoinformation und Visualisierung Universität Wien
Oktober 2001 bis Juni 2002	Studium Architektur Technische Universität Wien
Juni 2001	Matura mit Auszeichnung
September 1997 bis Juni 2001	Oberstufe des Wirtschaftskundlichen Realgymnasiums Bruck an der Leitha
September 1992 bis Juni 1997	Hauptschule Mannersdorf am Leithagebirge