

Endbericht zum Projekt SPA03-015

Universität für Bodenkultur Wien

Institut für Holztechnologie und Nachwachsende Rohstoffe, Dendrochronologie

Institut für Meteorologie

Institut für Angewandte Statistik und EDV

Bundesoberstufenrealgymnasium Mistelbach

Landwirtschaftliche Fachschule Mistelbach



Inhaltsverzeichnis

Impressum	4
Vorwort	5
1. Das Weinviertel als Untersuchungsgebiet für die Dendroklimatologie	6
2. Daten	9
2.1 Historische Quellen	9
2.1.1 Aufzeichnungen von Privatpersonen	9
2.1.2 Chroniken und Sammelwerke	11
2.1.3 Historisches über den Wein	12
2.1.4 Aufarbeitung der historischen Quellen	13
2.2 Klimadaten	14
2.3 Zukunftsszenarien	15
3. Dendrochronologie	16
3.1 Grundlagen und Methoden	16
3.1.1 Sekundäres Dickenwachstum	16
3.1.2 Crossdating = Synchronisation	17
3.1.3 Standardisierung = Indexieren = Detrending	18
3.2 Standorte	20
3.3 Datierungsergebnisse	21
3.4 Dendro-Provenancing: Die Herkunft der historischen Hölzer	22
3.5 Chronologien	27



4. Methoden zur Beschreibung von Trockenheit	33
4.1 Trockenperioden	33
4.2 Klimatische Wasserbilanz	35
4.3 Potenzielle Evapotranspiration	36
4.3.1 Methode von THORNTHWAITE	36
4.3.2 Gleichung von TURC	37
4.3.3 Gleichung von PENMAN-MONTEITH	37
4.3.4 Vergleich von verschiedenen PET-Berechnungen	38
4.3.5 Klimatische Wasserbilanz für das Weinviertel	42
4.4 Weitere Trockenheitsindizes	43
4.4.1 Standardized Precipitation Index (SPI)	43
4.4.2 DeMARTONNE-Index	43
4.4.3 SAHIN-Index	44
4.4.4 PALMER Drought-Indizes	44
5. Dendroklimatologie	45
5.1 Nutzung von Jahrringchronologien aus dem Weinviertel als Proxies für Trockenheit in der Vegetationsperiode	45
5.2 Klima-Wachstums-Beziehungen zwischen ausgewählten Klima- elementen und Trockenheitsindizes und den Jahrringchronologien	46
5.2.1 Methoden der Berechnung	46
5.2.2 Klima-Wachstums-Beziehungen – Ergebnisse und Diskussion	46
6. Weiserjahranalyse	50
6.1 Weiserjahre an einzelnen Standorten	50
6.2 Weiserjahre auf regionaler Ebene	54
6.2.1 Weiserjahre Jahrringbreite	55
6.2.2 Weiserjahre Spätholzbreite	57
6.3 Weiserjahre und Trockentage	58
7. Meteorologische Messungen	60



8. Zukunftsszenarien und Trockenheit	63
8.1 SchülerInnen setzen sich mit dem Klimawandel auseinander	64
8.2 Allgemeine Klimaentwicklung	64
8.3 Analyse der Klimaszenarien	67
8.3.1 Klimatische Wasserbilanz	67
8.3.2 PALMER-Indizes	69
8.3.3 Trockentage	70
8.4 Mögliche Auswirkungen auf das Baumwachstum	71
9. Zusammenfassung und Ausblick	71
Abbildungsverzeichnis	74
Tabellenverzeichnis	76
Formelverzeichnis	77
Literaturverzeichnis	78



Impressum

AutorInnen

BOKU Tulln, Dendrochronologie	Sandra Karanitsch-Ackerl Michael Grabner (Projektleiter)
BOKU Wien, Meteorologie	Ingeborg Schwarzl David Leidinger Erich Mursch-Radlgruber Herbert Formayer
BOKU Wien, Statistik	Gregor Laaha
Universität Wien, Geographie	Franz Holawe
BORG Mistelbach	Jacqueline Keintzel (Schülerin) Anton Böhm (Lehrer)

Empfohlene Zitierweise

KARANITSCH-ACKERL S, SCHWARZL I, LEIDINGER D, HOLAWE F, KEINTZEL J, MURSCH-RADLGRUBER E, FORMAYER H, LAAHA G, BÖHM A, GRABNER M
(2012) Endbericht zum Sparkling Science Projekt WALD-WASSER-WEINviertel.
Auftraggeber: Österreichisches Bundesministerium für Wissenschaft und Forschung

Danksagung

Wir bedanken uns ganz herzlich bei allen, die in irgendeiner Art und Weise zum Gelingen des Projekts WALD-WASSER-WEINviertel beigetragen haben.

Alle Personen, die an der Realisierung mitgewirkt haben, sind auf unserer Projekthomepage www.wald-wasser-weinviertel.at aufgelistet. Vielen Dank!

Das Projekt wurde im Rahmen des Förderprogramms Sparkling Science vom BMWF durchgeführt.



Vorwort

WASSER ...

... und seine Verfügbarkeit sind wichtige Faktoren für die jährliche Entwicklung von Pflanzen. Das Weinviertel gehört aber zu den trockensten und wärmsten Gebieten Österreichs. Die Trockenperioden sind häufig und werden mit fortschreitendem Klimawandel wohl noch häufiger. 2003 ist als extremes Trockenjahr noch in Erinnerung. Diese Trockenphasen sind in der Vegetation ablesbar, besonders im ...

... WALD ...

..., denn ein Baum produziert jedes Jahr einen Jahrring und dessen Breite ist von der verfügbaren Wassermenge abhängig: viel/wenig Wasser – breiter/schmaler Ring. Im Holz eines Baums ist daher die Klimageschichte seines Lebens konserviert und die ist so charakteristisch für eine Region, dass man sie mit anderen Bäumen vergleichen kann – auch mit bereits toten Artgenossen, die irgendwo am Dachboden eines alten Bauernhauses oder SchLOSSchens erhalten sind. Wichtig ist dabei, dass sich die Lebenszeit von lebendem und totem Baum überlappen. Dann kann man eine Jahrringchronologie aufbauen – die Klima-Lebensgeschichte vieler Bäume zusammenhängen – und erhält so indirekt jahrgenau aufgelöste Informationen über den Niederschlag, die über die Zeit meteorologischer Messungen hinausgehen. Im ...

... WEINviertel ...

... nimmt der Weinbau einen wesentlichen Teil der landwirtschaftlich genutzten Fläche ein. Der Wein enthält aber auch Informationen über das Wetter seines Jahrgangs. Sie stecken in seinem Lesezeitpunkt, in der Erntemenge und in seiner Qualität – und weil der Wein immer große Bedeutung für die Menschen hatte, gibt es historische Aufzeichnungen darüber. Anders als der Wald enthält er aber Informationen über die Temperatur im Jahr seiner Lese.

Wie hat sich das Klima im Weinviertel in den letzten 200 Jahren entwickelt und wie wird es sich in den nächsten 100 Jahren entwickeln? Das war im September 2010 die grundsätzliche Frage, die durch das Projekt WALD-WASSER-WEINviertel beantwortet werden sollte. Zwei Jahre später sind wir der Antwort ein gutes Stück näher gekommen.



Das wissenschaftliche Team bestehend aus Michael Grabner (Projektleiter) und Sandra Karanitsch-Ackerl von der Arbeitsgruppe Dendrochronologie des BOKU-Instituts für Holztechnologie und Nachwachsende Rohstoffe, Ingeborg Schwarzl, Erich Mursch-Radlgruber, Herbert Formayer und David Leidinger vom BOKU-Institut für Meteorologie sowie Gregor Laaha vom BOKU-Institut für Angewandte Statistik und EDV, die SchülerInnen und LehrerInnen (Sabine Lampert, Christine Stracuzzi und Anton Böhm – BORG; Ferdinand Faber - LFS) des BORG und der LFS Mistelbach haben eine arbeitsreiche, spannende Projektlaufzeit hinter sich. Gemeinsam mit unseren Projektpartnern Reinhard Böhm und Manfred Ganekind von der Zentralanstalt für Meteorologie und Geodynamik (ZAMG) sowie Franz Holawe vom Institut für Geographie und Regionalforschung der Universität Wien haben wir mit Hilfe von Proxydaten (Jahrringen und historischen Aufzeichnungen über Wein und Wetter) einen Blick bis zu 1.000 Jahre zurück in die klimatische Vergangenheit des Weinviertels geworfen und mit Hilfe von Klimaszenarien auch 100 Jahre in die Zukunft geschaut. Wir haben uns dabei hauptsächlich darauf konzentriert, herauszufinden, wie trocken das Weinviertel früher war, heute ist und in Zukunft sein wird.

1. Das Weinviertel als Untersuchungsgebiet für die Dendroklimatologie

Das Weinviertel im Nordosten Niederösterreichs wird nördlich von der Thaya bzw. der Staatsgrenze, östlich von der March und südlich von der Donau begrenzt. Im Westen ist die Abgrenzung weniger deutlich. Man könnte den Kamp bzw. den Manhartsberg und die Geländekante zwischen Retz und Eggenburg als Grenzen heranziehen.

Die forstlichen Wuchsgebiete Österreichs

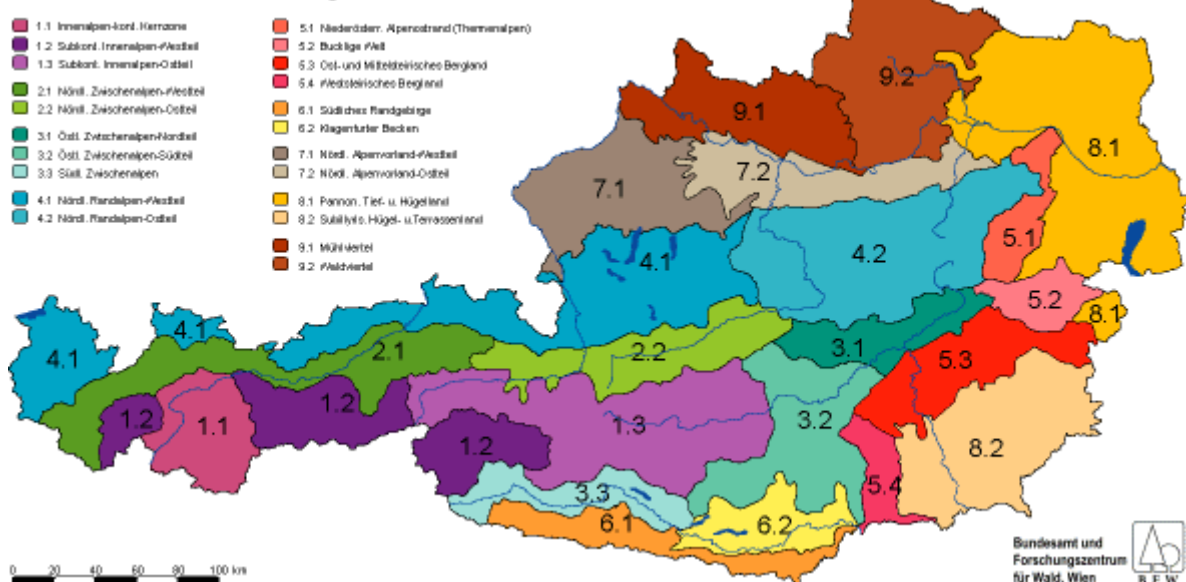


Abbildung 1.01: Forstliche Wuchsgebiete Österreich
 Quelle: www.bfw.ac.at/300/img/1027_01.gif, 20. August 2012

Auch die Abgrenzung der forstlichen Wuchsgebiete in Abb. 1.01 und die Karte der klimatischen Wasserbilanz (Abb. 1.02) lassen darauf schließen, dass es sich nicht um eine scharfe Grenze, sondern um einen eher fließenden Übergang ins Waldviertel handelt. Im Rahmen des Projekts erfolgte die Abgrenzung nach Westen pragmatisch danach, welche Waldstandorte, Standorte historischer Objekte bzw. Klima-Stationen zur Verfügung standen. Das Weinviertel gehört zum pannonischen Klimaraum und damit zu den wärmsten und trockensten Gebieten in Österreich (HARLFINGER und KNEES 1999). Die Jahresniederschlagssummen bewegen sich im langjährigen Durchschnitt bei ca. 500 mm (Retz: 442 mm, Poys-

dorf: 508 mm, Laa an der Thaya: 491 mm – Daten ZAMG 1971 bis 1990) mit einem Sommermaximum und wenig Niederschlag in Form von Schnee im Winter. Die Temperatur ist im Jahresmittel höher als 9 °C, Sonnenscheindauer und Anzahl der heißen Tage liegen im österreichischen Spitzenfeld. Sommerliche Trockenperioden sind im pannonischen Tief- und Hügelland (Forstliches Wuchsgebiet 8.1), zu dem auch das Weinviertel gehört, laut KILIAN, MÜLLER und STARLINGER (1994) häufiger als in allen anderen Wuchsgebieten. Dieser Wassermangel in der Vegetationsperiode – wie z. B. im Sommer 2003 – wird von Bäumen in Form eines schmalen Jahrrings aufgezeichnet.

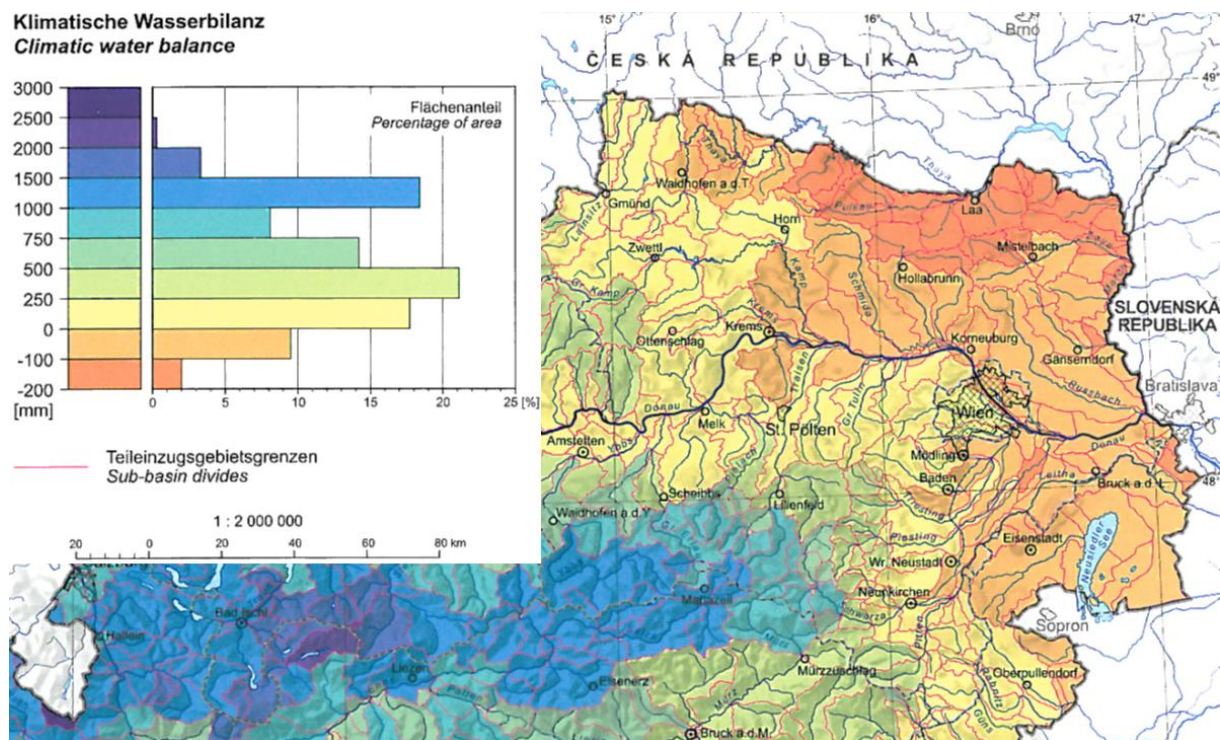


Abbildung 1.02: Klimatische Wasserbilanz in Ostösterreich
 aus: Bundesministerium für Land- und Forstwirtschaft, Umwelt und Wasserwirtschaft (2005) Hydrologischer Atlas (Ausschnitt)

Die Trockenheit des Weinviertels und die vergleichsweise schwierigen Bedingungen für die Forstwirtschaft bzw. für die Bäume machen es zu einem interessanten Untersuchungsgebiet für dendroklimatologische Fragestellungen, da der das Wachstum limitierende Faktor mit großer Sicherheit die Wasserverfügbarkeit ist.

Einerseits lässt sich für den Zeitraum, in dem es meteorologische Messungen gibt, feststellen, wie die Bäume auf verschiedenen Standorten mit Trockenstress umgehen (Kapitel 6.1), andererseits kann für die Zeit vor den systematischen Klimaaufzeichnungen aus den



Jahrringen indirekt auf die Niederschlagsverhältnisse geschlossen werden. Dazu müssen zunächst die Klima-Wachstums-Beziehungen (Kapitel 5.2) untersucht werden. Im Rahmen der vorliegenden Untersuchung wurden diese beiden dendroklimatologischen Ansätze mit Hilfe von Niederschlags- und Temperaturdaten sowie diverser Trockenheitsindikatoren (Kapitel 4) verfolgt. Auf Basis dieser Daten und verschiedener Klimaszenarien konnte auch ein Blick in die Zukunft des Weinviertels und der dort wachsenden Bäume geworfen werden (Kapitel 8).

2. Daten

2.1 Historische Quellen

Die historischen Quellen – schriftliche Aufzeichnungen über Wein und Wetter, sollten im Projekt ursprünglich dazu dienen, einen relativ flächendeckenden, eigenständigen Proxydatensatz zur Rekonstruktion von Trockenphasen in der Vergangenheit zu liefern. Dies konnte auf Grund zu weniger aufgefundener Daten zwar nicht erreicht werden, die Aufzeichnungen werden aber zur Ergänzung bzw. Verifikation einer Klimarekonstruktion auf Basis der Jahrringdaten verwendet werden.

2.1.1 Aufzeichnungen von Privatpersonen

Durch Kontakte von SchülerInnen und LehrerInnen und durch einen Aufruf über die Weinviertler Gemeindeämter konnten vier Datenquellen erschlossen werden:

- Tagebuch von Herrn Johann Kletzer aus Wetzelsdorf
- Kalender von Frau Hedwig Aberham aus Engelhartstetten
- Kalender von Frau Eisen aus Großkrut
- Wetteraufzeichnungen von Ferdinand Spieß aus Hüttendorf

Tagebuch Herr Kletzer Wetzelsdorf

Die zur Verfügung gestellten Tagebücher von Johann Kletzer umfassen folgende Zeiträume:

- Jänner 1941 bis September 1945
- Oktober 1948 bis Juli 1950
- Mai 1952 bis Juni 1955
- März 1957 bis Oktober 1958
- Juli 1960 bis August 1970
- August 1972 bis August 1974
- Oktober 1976 bis Jänner 1979

Sie enthalten neben täglichen Eintragungen zu den verrichteten Arbeiten am Hof von Herrn Kletzer auch Wetterbeobachtungen, wie aus dem Faksimile (Abb. 2.01) hervorgeht – „sonnig 12° Gewiter (sic!)“.

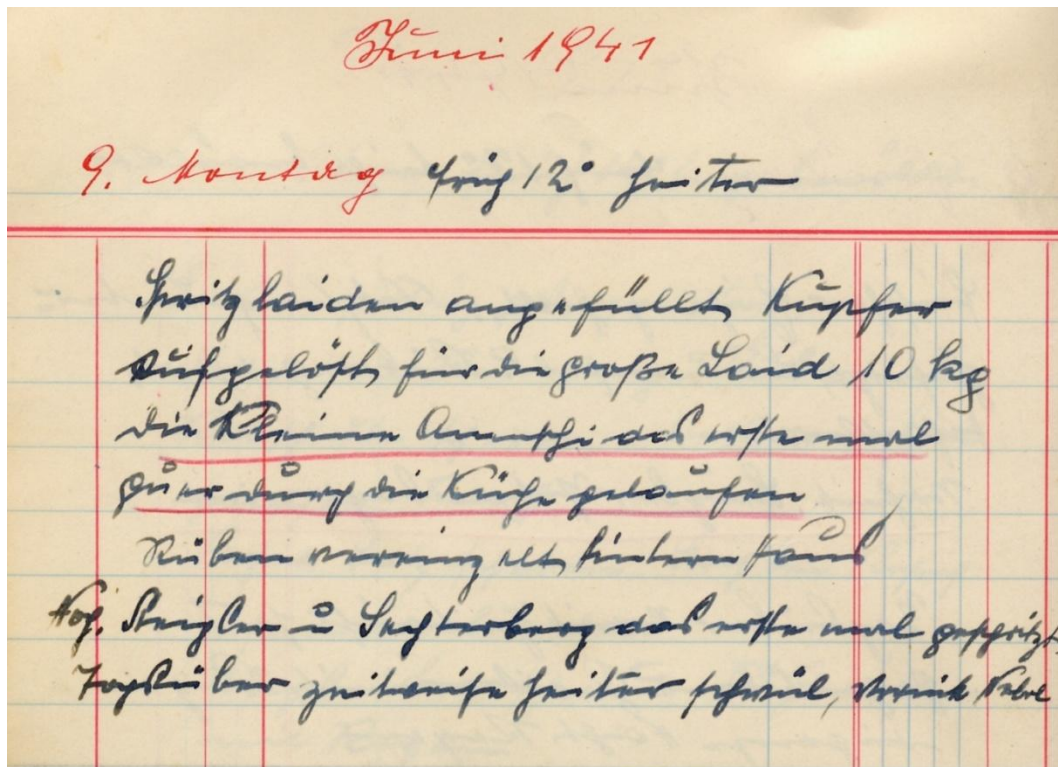


Abbildung 2.01: Faksimile aus dem Tagebuch von Johann Kletzer, Eintrag Montag, 9. Juni 1941

Kalender Frau Aberham Engelhartstetten

Frau Aberham nutzte in den Jahren 1983 bis 2010 ihren Kalender für persönliche Aufzeichnungen, aber auch, um das tägliche Wetter „mitzuschreiben“ – siehe Abbildung 2.02.

MAI 1983						
19. WOCHE	09 MONTAG	10 DIENSTAG	11 MITTWOCH	12 DONNERSTAG	13 FREITAG	14 SAMSTAG
7 h	Begleit Früh schneit	Antonin	Gangolf	Christi Himmelfahrt ☉	Servatius	Korona
8 h		Kabi mit	Hindler in	Harti & Susi =	Norman Stof.	Blaker wegge-
9 h	Finzleric aus zu	Auto gefahren	Wien & Regensburg	heim bedarmen	Gruppe Rikendel.	Finzleric Palette
10 h	PCarbeit					Gasapen abfahrt
11 h	bei Bauwerk n.	Finzleric fertig	Arbeitsk. Refer	Kabi Ribben	Freitag in	Eisen aufworf
12 h	Feuer in Holzhaus	Permet	Kaunman Zelle	schieren	Mag am bepräh	Mariale Adler
13 h					Mitel Taube	Riben
14 h						
15 h						15 SONNTAG
16 h						
17 h						
18 h	kälter Gespuch - ad-son	schien -				
		<small>Gewerbesteuer samt Zuschläge, Vermögenssteuer, Gebührentsteuer, Ausgleichsfonds für Familienbeihilfen, Lohnsteuer, Mehrwertsteuer</small>				<small>7. Ost. Sophie Schnitz Sonne Adler Ribben Grundsteuer, Lohnsteuer, Einkommensteuer schieren</small>

Abbildung 2.02: Faksimile aus dem Kalender von Hedwig Aberham, 9. bis 15. Mai 1983

Kalender Frau Eisen Großkrut

Von Frau Eisen wurden uns Kalender aus folgenden Jahren zur Verfügung gestellt:

- 1990 – 1992
- 1994 – 1998
- 2000
- 2002 – 2007

Wetteraufzeichnungen Herr Spieß Hüttendorf

Von Herrn Spieß wurden uns tabellarische tägliche Niederschlagsaufzeichnungen aus Hüttendorf übermittelt. Sie umfassen die Jahre 1979 bis 2005.

Die genannten Aufzeichnungen von Privatpersonen sind nicht so alt, dass sie systematische Messungen des Klimas mit professionellen meteorologischen Messgeräten der offiziellen Stellen wie der ZAMG oder dem Hydrographischen Zentralbüro (HZB) verlängern würden. Dennoch handelt es sich um interessante Ergänzungen – v. a. für den kleinräumig sehr unterschiedlichen Niederschlag. Zudem geben die aus dem bäuerlichen Milieu stammenden Schriftstücke auch Aufschluss über die Auswirkungen des Wetters auf die Landwirtschaft. Sie können z. B. auch im Hinblick auf Saat- und Erntezeitpunkte analysiert werden.

2.1.2 Chroniken und Sammelwerke

Folgende Werke aus dieser Kategorie standen dem Projektteam für die Analyse zur Verfügung:



- Ortschronik Siebenhirten (STUBENVOLL 1986)
- Ortschronik Herrnbaumgarten (PEC 1994)
- Klima-Geschichte Ostösterreichs (STRÖMMER 2003)

Ortschronik Siebenhirten

Die Siebenhirtener Ortschronik umfasst mehr als 1.000 Seiten und wurde von Anton Böhm (BORG-Lehrer) im Zuge des Projekts digitalisiert. Sie behandelt den Zeitraum von der Frühgeschichte des Dorfs bis 1985. Es gibt kein eigenes Kapitel zum Thema Wetter oder Klima, jedoch finden sich z.B. in Kapiteln über Weinbau, Landwirtschaft, Agrargemeinschaften etc. Hinweise auf Wein und Wetter.

Ortschronik Herrnbaumgarten

Die Chronik Herrnbaumgarten enthält zwar ein eigenes Klima-Kapitel, dieses ist jedoch nur eine halbe Seite lang. Für den Zeitraum 1057 bis 1993 sind darin sowohl kalte Winter als auch heiße, trockene Sommer aufgelistet – mit vereinzelt Hinweisen auf die Weinlese.

Klima-Geschichte Ostösterreichs

Die Klima-Geschichte Ostösterreichs ist eine Zusammenstellung zahlreicher geschichtlicher Quellen. Sie umfasst den Zeitraum 1700 bis 1830 mit einer relativ genauen Beschreibung der jeweiligen jährlichen Witterungsverläufe.

2.1.3 Historisches über den Wein

Aufzeichnungen, die sich wirklich explizit und ausschließlich mit dem Wein befassen, wurden kaum aufgetrieben. Lediglich zwei Quellen konnten im Rahmen des Projekts erschlossen werden:

- Auszug aus den Denkwürdigkeiten der Stadt Retz (PUNTSCHERT 1894)
- Aufzeichnungen der Statistik Austria

Denkwürdigkeiten der Stadt Retz

Der vom Retzer Stadtarchiv zur Verfügung gestellte Auszug aus den *Denkwürdigkeiten der Stadt Retz* enthält eine tabellarische Auflistung von Erntemengen, Preisen und Anmerkungen zum Wein von 1057 bis 1893, wobei die Aufzeichnungen erst ab 1644 jährlich vorhanden sind. Vor allem in den Anmerkungen stecken auch wertvolle Hinweise auf das Wetter und auf die Weinqualität (siehe Faksimile Abb. 2.03).

Sehr naffes Jahr, schlechter Wein, unter
Schnee gelesen, fast ungenießbar, so
daß die Leute, welche den Wein tranken,
Grimmen im Leibe und andere Krank-
heiten bekamen.

Abbildung 2.03: Anmerkungen zum Wein im Jahr 1275 (Faksimile)
aus: PUNTSCHERT 1894, Seiten 12-13

Wein – Statistik Austria

Eine Recherche im Archiv der Statistik Austria brachte folgende Informationen zu Tage:

- 1931 bis 1935
Witterungsbeschreibung des Weinjahres und nach Bundesländern gegliederte Weinbauflächen in ha und Erntemengen von Weiß- und Rotwein, Schilcher und Direktträgern in hl
- 1958 bis 2009
Erntemengen und/oder Erträge von Rot- und Weißwein in Niederösterreich nach Bezirk

2.1.4 Aufarbeitung der historischen Quellen

Die Aufarbeitung der historischen Quellen stellte sich als wesentlich zeitaufwändiger heraus als geplant. Beteiligt waren Mitglieder des wissenschaftlichen Projektteams, SchülerInnen des BORG Mistelbach im Rahmen von Workshops an der Schule, ein Bachelor-Student der BOKU im Rahmen eines Werkvertrags sowie Jacqueline Keintzel (eine Schülerin des BORG) während ihres Rio+20-Praktikums.

Die scheinbare Fülle von Daten reicht leider nicht für eine eigenständige Rekonstruktion des Klimas im Weinviertel aus. Dennoch konnten die wesentlichen Informationen aus den unterschiedlichen Quellen über Wein und Trockenheit in ein relativ einheitliches EXCEL-System übertragen werden und stehen somit für zukünftige Untersuchungen zur Verfügung.

Besonders in der Weiserjahanalyse (siehe Kapitel 6) können die historischen Quellen als wertvolle Vergleichsmöglichkeit und Ergänzung zu den Informationen aus den Jahrringen dienen, die in weitere Publikationen auch Eingang finden werden.



2.2 Klimadaten

Zur Analyse von Zusammenhängen zwischen Jahrringbreite und klimatischen Verhältnissen werden Daten der ZAMG verwendet – Daten auf Tagesbasis von den aktuellen Wetterstationen (zurückreichend bis max. 1948) und des Modells INCA (Integrated Nowcasting through Comprehensive Analysis, verfügbar ab 2003). Mit dem INCA-Datenset (HAIDEN et al. 2009) liefert die ZAMG Daten über vergangene und aktuelle Wetterbedingungen auf stündlicher Basis für ganz Österreich mit einer räumlichen Auflösung von 1 km für die Parameter Niederschlag, Temperatur, Feuchte, Solarstrahlung und Wind (Geschwindigkeit, Richtung). Für weiter zurückreichende Analysen stehen HISTALP-Daten auf Monatsbasis zur Verfügung (www.zamg.ac.at/histalp, EFTHYMIADIS 2006).

Eine Übersicht über die verwendeten Daten und Stationen geben die Tabellen 2.01 – 2.04.

Tabelle 2.01: ZAMG-Stationsdaten (Tagesdaten)

Station (Zeitraum)	Messgrößen
Großenzersdorf (ab 1948)	Temperaturminium
Laa/Thaya (ab 1952)	Temperaturmaximum
Oberleis (ab 1948 bis 1997)	Temperatur von 07:00, 14:00, 19:00
Poysdorf (ab 1965)	Taupunktstemperatur
Wien Hohe Warte (ab 1948)	rel. Luftfeuchtigkeit von 07:00, 14:00, 19:00 Tagesniederschlag

Wo verfügbar, wurden homogenisierte Daten verwendet.

Tabelle 2.02: INCA-Daten (Tagesdaten)

Probenstandort	Messgrößen
Baumgarten an der March (BAU)	Temperaturminium
Eichhorn (EIC)	Temperaturmaximum
Enzersdorf im Thale (ENZ)	Temperatur von 07:00, 14:00, 19:00
Großenzersdorf (GrEN)	Taupunktstemperatur
Staatzer Felsen (STZ)	rel. Luftfeuchtigkeit von 07:00, 14:00, 19:00
Straßhof an der Nordbahn (STN)	Tagesniederschlag potenzielle Evapotranspiration



Tabelle 2.03: ZAMG-Stationsdaten (Monatsdaten)

Station (Zeitraum)	Messgrößen
Großenzersdorf (ab 1936)	Monatsmitteltemperatur
Laa/Thaya (ab 1952)	Monatsniederschlagssumme

Tabelle 2.04: HISTALP-Daten

Station	Messgrößen (Monatsdaten)
Wien Hohe Warte (ab 1775)	Mitteltemperatur und Luftdruck
Wien Hohe Warte (ab 1837)	Dampfdruck
Wien Hohe Warte (ab 1841)	Niederschlagssumme
Wien Hohe Warte (ab 1842)	Bewölkung
Wien Hohe Warte (ab 1862)	relative Feuchte
Wien Hohe Warte (ab 1881)	Sonnenscheindauer
Retz (ab 1895)	Niederschlagssumme
Retz (ab 1896)	Mitteltemperatur
Brno (ab 1805)	Niederschlagssumme
Brno (ab 1848)	Mitteltemperatur

2.3 Zukunftsszenarien

Tabelle 2.05: Klimaszenarien aus dem EU-Projekt ENSEMBLES (Tages- und Monatsdaten)

Modelle, Zeitraum 1951-2100	Stationen	Größen
Aladin:	Retz	Tagesdaten:
CNRM: Centre National de Recherches Météorologiques http://www.cnrm.meteo.fr	Laa/Thaya	Temperaturminimum
RegCM3:	Großenzersdorf	Temperaturmaximum
ICTP: International Centre for Theoretical Physics http://www.ictp.it	Wien Hohe Warte	Tagesniederschlag
REMO:		Monatsdaten:
MPI: Max Plank-Institut für Meteorologie http://www.mpimet.mpg.de		Monatsmitteltemperatur
		Monatsniederschlagssumme

Für Analysen der zukünftigen Entwicklung des Klimas wurde auf drei regionale Klimamodelle aus dem EU-Projekt ENSEMBLES (www.ensembles-eu.org) zurückgegriffen. Für diese Modelle stehen simulierte Tagesdaten für ein mittleres Emissionsszenario zur Verfügung, die statistisch ausgewertet wurden (Tabelle 2.05).

3. Dendrochronologie

Definition

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), Seite 91

3.1 Grundlagen und Methoden

3.1.1 Sekundäres Dickenwachstum

Voraussetzung für die Verwendbarkeit von Jahrringen als Datierungswerkzeug bzw. als Proxy für die Klimarekonstruktion ist das sekundäre Dickenwachstum – die Anlage eines in unseren Breiten normalerweise jährlichen Mantels an Holzzellen, die sich klar von jenen des vorhergehenden und nachfolgenden Jahres unterscheiden lassen und so als Jahrringe im Holz sichtbar werden (siehe Abbildung 3.01).



Abbildung 3.01: Schwarzkiefern-Probe aus Gänserndorf, gescannter, vergrößerter Ausschnitt

Ein Jahrring besteht jeweils aus einem hellen (weniger dichten) „Streifen“ Frühholz, das in der Vegetationsperiode zuerst gebildet wird und einem dunklen (dichteren) „Streifen“ Spätholz, das durch Verdickung der Zellwände ab dem Sommer bis zum Ende der Vegetationsperiode entsteht.



Die Breite der Jahrringe ist von unterschiedlichen Einflussgrößen abhängig. Diese lassen sich in der Gleichung des aggregierten Baumwachstums nach COOK (1990) zusammenfassen (siehe Formel 3.01).

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

R	ring width (earlywood or latewood width)
t	year of ring formation
A	age trend
C	climate
D	disturbance
E	error

Formel 3.01: Aggregiertes Baumwachstum nach COOK (1990)

Für die Dendroklimatologie sind der Alterstrend (age trend) und das Klima die wesentlichen Parameter der Gleichung.

Der Alterstrend ist nicht zuletzt durch die Geometrie des Baumes zu erklären. Selbst wenn alle anderen Faktoren konstant sind, nimmt die Jahrringbreite mit zunehmendem Baumalter ab, da sich sein Umfang jedes Jahr vergrößert und für einen gleichbleibend breiten Jahrring jedes Jahr zusätzliche Zellen gebildet werden müssten.

Der jährliche Witterungsverlauf bestimmt den für das Wachstum limitierenden Faktor. Ist dieser limitierende Faktor über viele Jahre hinweg derselbe (z.B. die Wasserverfügbarkeit), kann genau dieser limitierende Faktor mit Hilfe von Jahrringchronologien rekonstruiert werden. Dem liegt die Annahme zu Grunde, dass in der Vergangenheit die Breite der Jahrringe auf die gleiche Art und Weise von den Umweltfaktoren abhängig waren wie sie es heute sind (= Uniformitätsprinzip, FRITTS 1976).

3.1.2 Crossdating = Synchronisation

Da Bäume, die zeitgleich in einer Region wachsen, sehr ähnlichen Witterungsbedingungen ausgesetzt sind, sind ihre Jahrringverläufe auch sehr ähnlich. Darauf beruht das Prinzip des Crossdatings. Das Crossdating ist die zentrale Methode der Dendrochronologie. 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 (= Synchronisation).

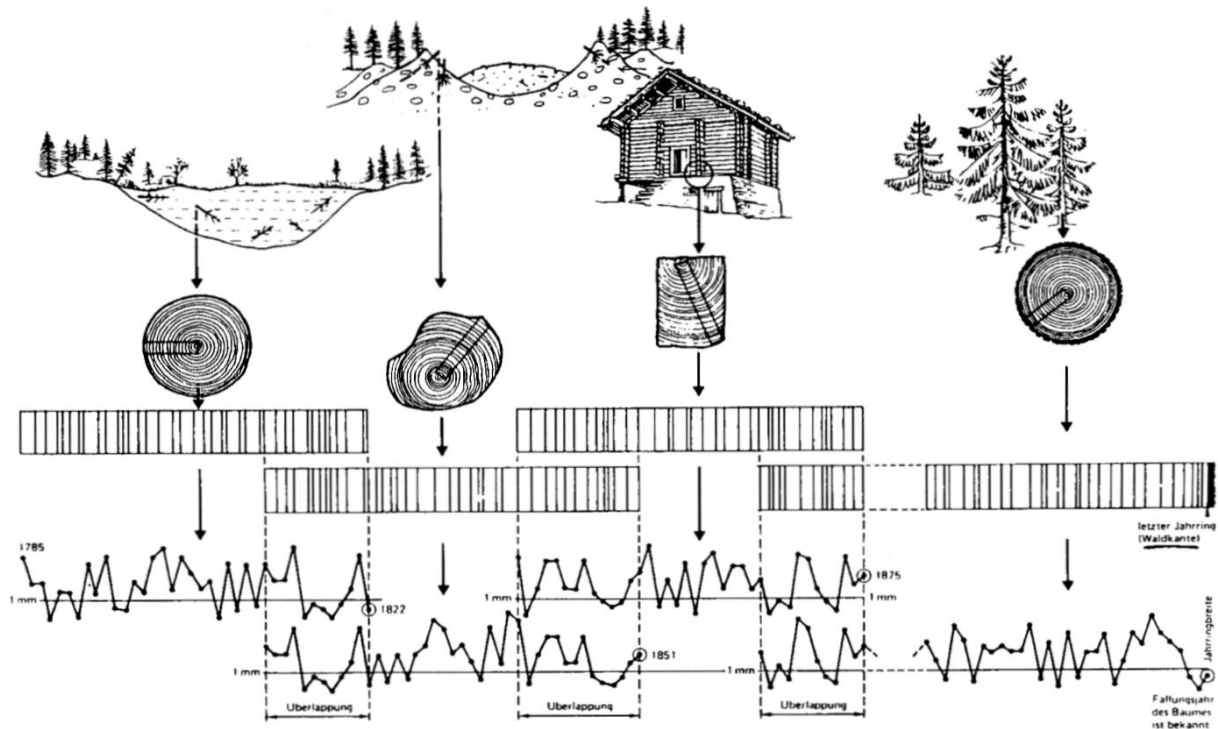


Abbildung 3.02: Prinzip des Crossdatings
aus: SCHWEINGRUBER (1983), Seite 85

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. Überlappen die Kurve des Bauholzes und der lebenden Bäume um mindestens 30 Jahre und kann man sie cross-daten, ist das Bauholz datiert und man kann damit die Chronologie verlängern (Abb. 3.02).

3.1.3 Standardisierung = Indexieren = Detrending

Der Alterstrend ist bei der Datierung, aber v. a. für die Verwendung von Jahrringen als Klima-Proxy, ein Störsignal, das aus den Zeitreihen entfernt werden muss. 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 denselben Mittelwert zu normieren, damit langsamer und schneller wachsende Bäume in gleichem Maß gewichtet werden. Jeder Messwert wird entweder 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).

Die Indexierung ist eines der zentralen Probleme der Dendrochronologie. Durch die Elimination des Alterstrends wird immer auch ein Teil der Information aus den Zeitreihen entfernt. Es gibt zahlreiche verschiedene Methoden, um zu Glättungsfunktionen zu kommen und jede hat ihre spezifischen Vor- und Nachteile (z.B. SPEER 2010).

Im Rahmen des Projekts wurden alle Jahrringserien auf je zwei unterschiedliche Arten mit dem Programm ARSTAN (HOLMES 1994) indexiert:

- Glättungskurve negative Exponentialfunktion, Regressionsgerade mit negativer Steigung oder horizontale Linie durch den Mittelwert der jeweiligen Probe (Abb. 3.03)
- Glättungskurve Cubic Smoothing Spline mit einer Länge von 30 Jahren (Abb. 3.04)

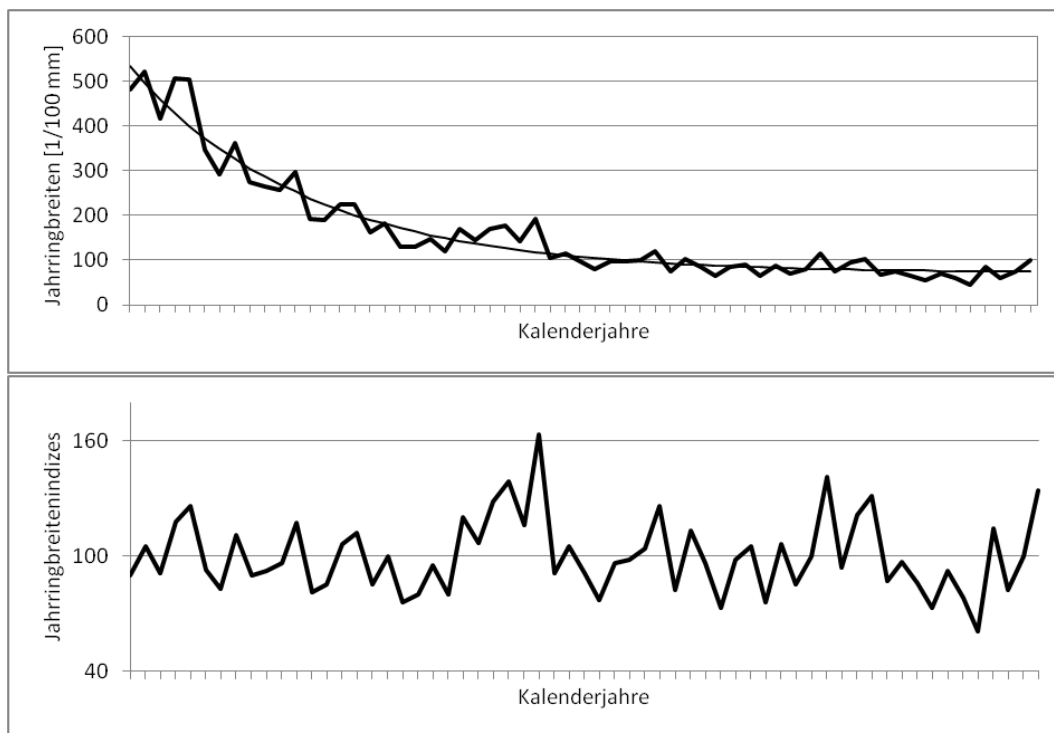


Abbildung 3.03: Detrending am Beispiel einer Kiefernprobe (AlwPS02a)
oben Messwerte und negative Exponentialfunktion, unten Indexwerte

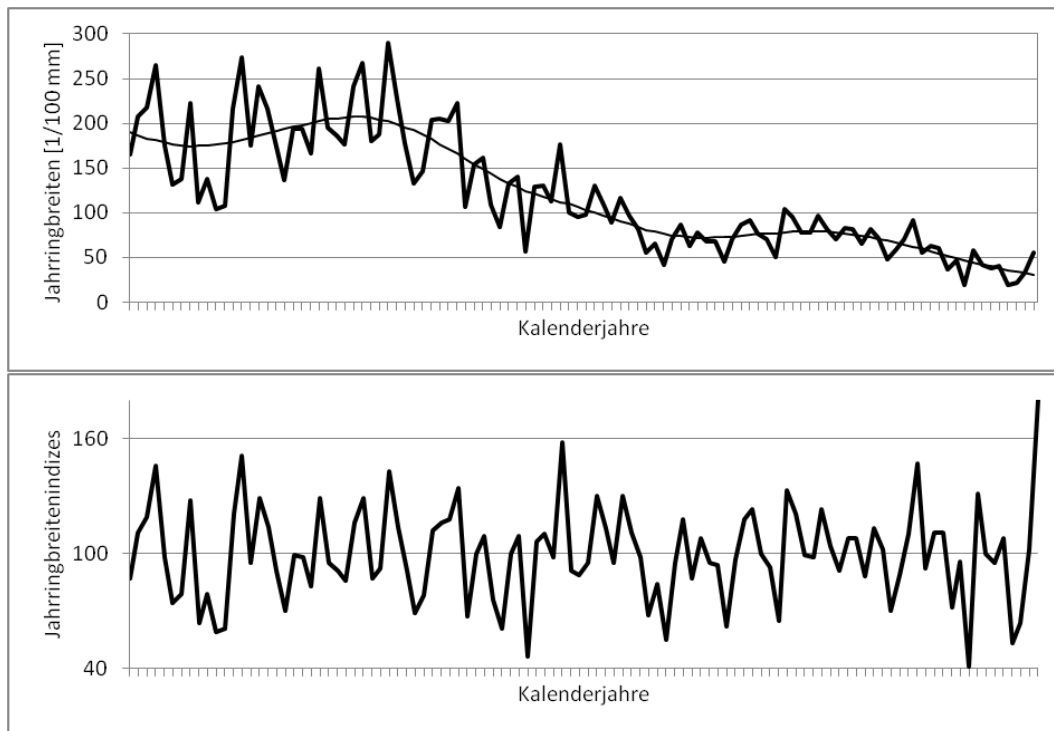


Abbildung 3.04: Detrending am Beispiel einer Kiefernprobe (AmePS06a)
oben Messwerte und Cubic Smoothing Spline – 30 Jahre, unten Indexwerte

3.2 Standorte

Im Rahmen des Projekts wurden nicht nur viele bereits im Dendrochronologie-Labor der BOKU vorhandene Proben aufgearbeitet, sondern auch zahlreiche neue Standorte beprobt. Eine Zusammenschau aller Probennahmestellen im Weinviertel findet sich in Abbildung 3.05. Bei der Probennahme an einigen Waldstandorten waren auch die SchülerInnen des BORG und der LFS sowie Studierende der Geographie von der Universität Wien und Studenten der Forstwirtschaft der BOKU beteiligt.

Insgesamt wurden im Rahmen des Projekts mehr als 2.100 Holzproben von über 100 Waldstandorten, historischen Gebäuden und archäologischen Fundstätten bearbeitet. Eichen (*Quercus robur*, *Q. petraea*, und *Q. cerris*), Kiefern (*Pinus nigra* und *P. sylvestris*), Fichten (*Picea abies*), Tannen (*Abies alba*) und vereinzelt auch Lärchen (*Larix decidua*) sowie ein paar Ulmen (*Ulmus spp.*), Eschen (*Fraxinus excelsior*) und Pappeln (*Populus spp.*) wurden bestimmt.

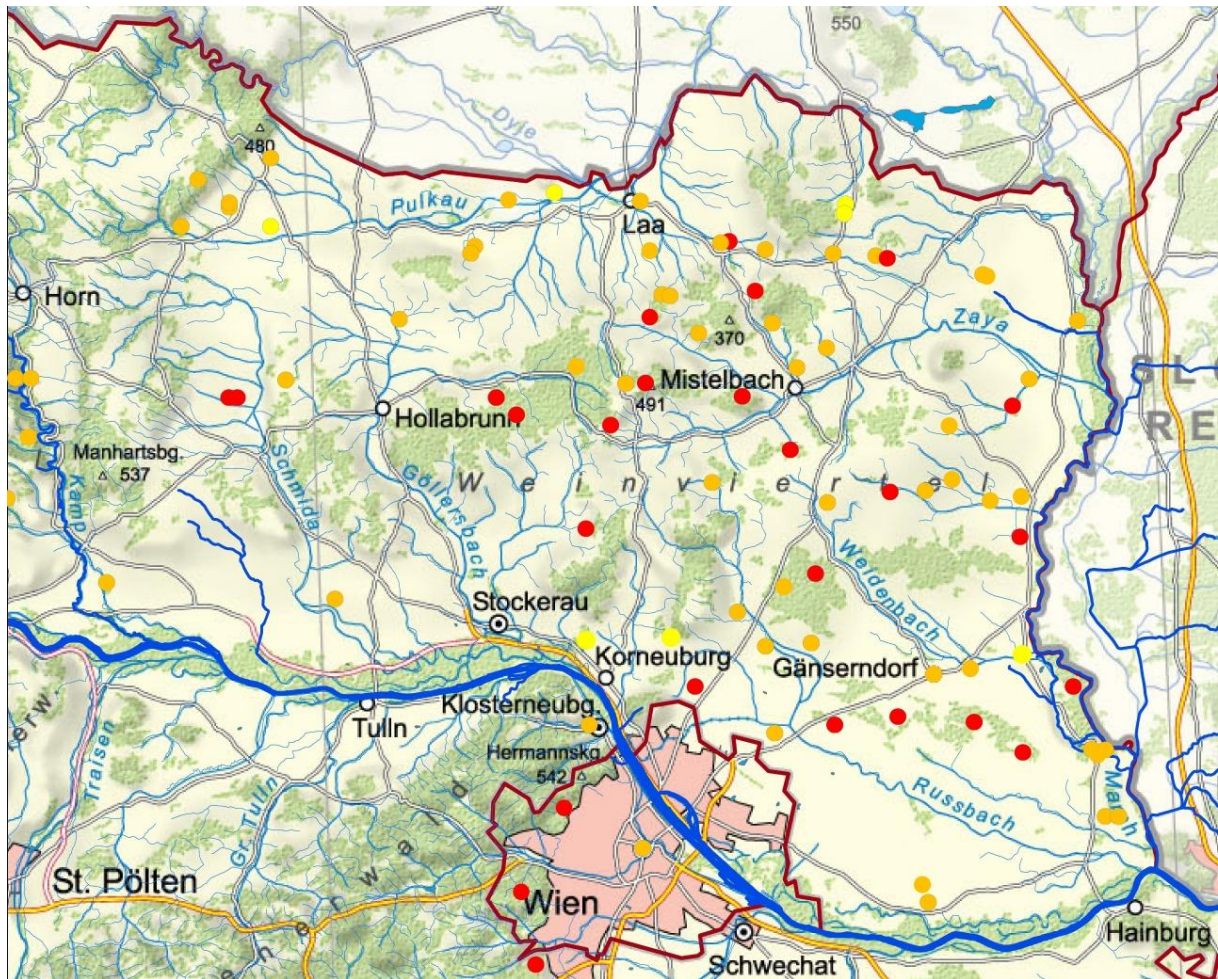


Abbildung 3.05: Probenstandorte – Gesamtübersicht
archäologische Fundstätte Gebäude Waldstandort

3.3 Datierungsergebnisse

Bei allen Proben wurden nach der Bestimmung der Holzart Früh- und Spätholz- sowie Jahrringbreiten gemessen. Die Zeitreihen wurden synchronisiert und, soweit möglich, an Hand der Jahrringbreite datiert. Auch bei diesen Arbeitsschritten waren die SchülerInnen im Rahmen von mehreren Workshops eingebunden.

Zur Datierung wurden zu Beginn des Projekts noch die bereits vorhandenen Chronologien der Arbeitsgruppe Dendrochronologie (GEIHOFFER et al. 2005), im Verlauf der Bearbeitung auch schon die provisorischen neuen Weinviertel-Chronologien verwendet. Insgesamt

konnten etwa 80% aller Proben datiert werden. Die datierten Proben decken einen Zeitraum von mehr als 1.000 Jahren (953 bis 2011) ab.

Für alle Objekte und Waldstandorte, die eigens für das Projekt bearbeitet worden sind, wurden den BesitzerInnen Ergebnisberichte zugesandt.

3.4 Dendro-Provenancing: Die Herkunft der historischen Hölzer

Wenn man klimatologische Aussagen über eine Region – in diesem Fall Aussagen über den Niederschlag im Weinviertel – treffen möchte, muss man sicherstellen, dass die Holzproben auch aus dieser Region stammen. Dies wirkt bei lebenden Bäumen durch die Standortauswahl auf den ersten Blick recht einfach. Jedoch ist auch hier zu überprüfen, ob die Bäume – wenn ja, in welchem Ausmaß – das gemeinsame Signal (z.B. Niederschlag) zeigen. Dies wird bei der Bildung der Chronologien überprüft.

Durch die deutliche pannonische Prägung des Klimas sind die Jahrringbreitenverläufe im Weinviertel sehr ähnlich (siehe Abb. 3.06), da an der überwiegenden Zahl der Standorte die Verfügbarkeit von Wasser den das Wachstum limitierenden Faktor darstellt.

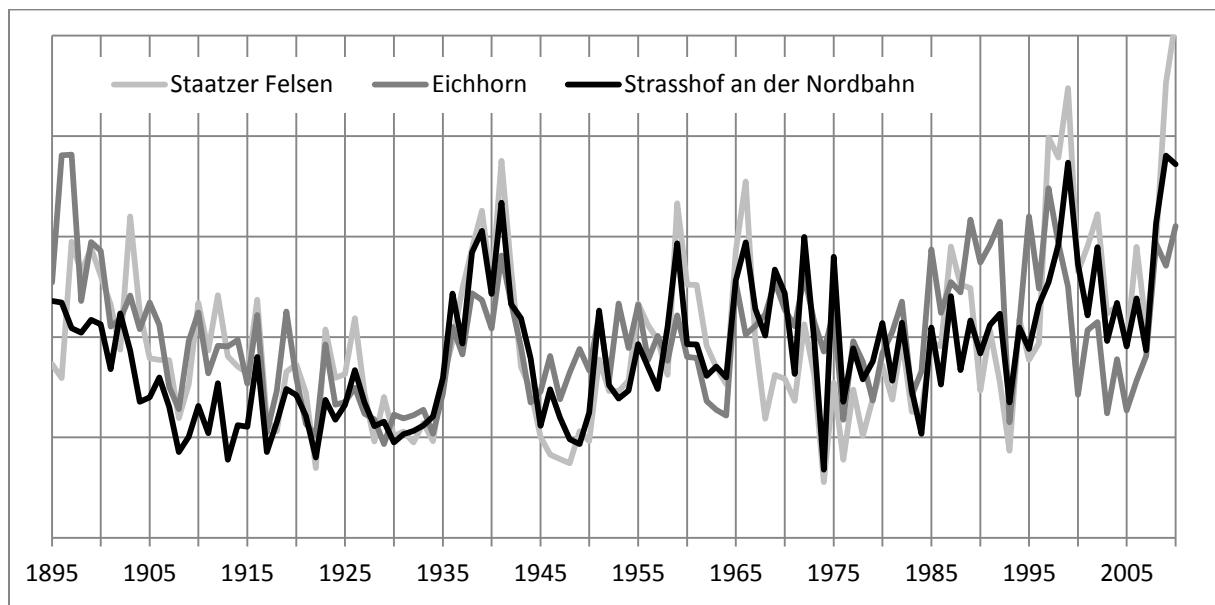


Abbildung 3.06: Jahrringbreitenchronologien von drei Schwarzkiefern-Standorten im Weinviertel

Um die Chronologien zu verlängern, wurde auch historisches Holz analysiert und verwendet. Bei verbautem Holz ist die exakte Herkunft der Bäume nicht bekannt. Daher muss überprüft werden, ob die Bäume aus dem Weinviertel stammen.

Abgesehen von den nördlichen, östlichen und südlichen Begrenzungen des Weinviertels durch die Flüsse Thaya, March und Donau gibt es keine großen Gewässer in der Region. Daher wurde ursprünglich die Hypothese aufgestellt, dass das verbaute Holz lokal ist.

Holz wurde in der Vergangenheit immer im Wasser transportiert (NEWEKLOWSKY 1952, GRABNER et al. 2004). Der Transport in kleinen Bächen erfolgte lose, als einzelne Stämme – die sogenannte Trift. In größeren Gewässern (z.B. Steyr, Enns, Donau) erfolgte dies in Form von Flößen (NEWEKLOWSKY 1952). Hierfür ist es notwendig, die Flöße zu binden. Dies geschieht mit sogenannten Flößerkeilen (siehe Abb. 3.07).

Flößerkeile dienten als Hilfsmittel für die Verbindung der einzelnen Stämme. Es gibt verschiedene Möglichkeiten, die Stämme aneinander zu befestigen, um ein stabiles Floß zu erhalten. Bei einer Variante (siehe Abb. 3.08) werden Holzseile aus Ästen von Fichten, Tannen, Weiden oder Pappeln, sog. Wieden, mit Holzkeilen in die längs nacheinander angeordneten Rundhölzer geschlagen und so mit den Quersposten (Wegspangen) verbunden.



Abbildung 3.07: Beispiele für eine Form von Flößerkeilen aus dem Objekt Bockfließ
Das zur Nummerierung verwendete Klebeband ist 2 cm breit.

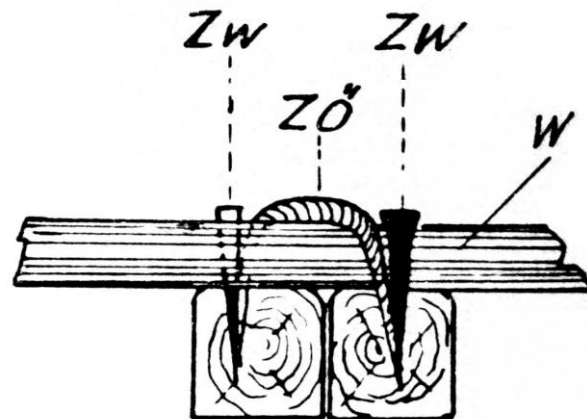


Abbildung 3.08: Verbindung der Wegspange mit den Stämmen
Zw = Zwickel (Keil), Zö = Zöpfel (Wiede), W = Wegspange
aus: NEWEKLOWSKY 1952

Die Tatsache, dass in manchen Objekten solche Keile vorhanden sind, beweist, dass das Holz über das Wasser transportiert worden sein muss.

Flößerkeile wurden in folgenden Objekten gefunden:

- Altlichtenwarth (Alw)
- Bockfließ (Bfl)
- Fallbach Kirche (Fal)
- Hohenau an der March Kirche (Hoa)
- Marchegg Kirche (Mgk)
- ein Stadel im Museumsdorf Niedersulz aus Großinzersdorf (Msd)
- Pillichsdorf Kirche (Pil)
- Weikendorf Kirche (Wei)
- Wolkersdorf Schloss (Wol)
- Wullersdorf Kirche (Wul)

Die ursprüngliche Hypothese, wonach das im Weinviertel verbaute Holz aus der Region stammt, musste also verworfen werden.

Flößerkeile können bei der Probennahme auch übersehen werden und für die Chronologien sollten auch Daten von Gebäuden verwendet werden, die bereits vor Beginn der Projektlaufzeit beprobt und nicht auf Flößerkeile hin untersucht worden sind. Daher musste ein zusätzlicher Schritt der Überprüfung gesetzt werden –mit Hilfe des *Dendro-Provenancings*.

Unter *Dendro-Provenancing* versteht man die Herkunftsbestimmung von Holz an Hand von Jahrringdaten. Auf dieselbe Weise wie bei der Altersbestimmung macht man sich zunutze, dass Bäume in ihren Jahrringen unter anderem Klimainformationen „abspeichern“. Da das Klima regional unterschiedliche Ausprägungen aufweist, kann man mit der Hilfe von verschiedenen Lokalchronologien Hölzern entsprechende Herkünfte zuweisen. ECKSTEIN und WROBEL (2007) und EISSING und DITTMAR (2011) befassten sich mit der Entwicklung und der Geschichte von Dendro-Provenienz. Sie kamen zu dem Schluss, dass das dichte europaweite Netzwerk an Chronologien, welches in erster Linie zur Datierung erstellt wurde, für den Zweck der Herkunftsbestimmung auf Grund von anderen relevanten Kriterien neu zusammengefügt werden müsste.

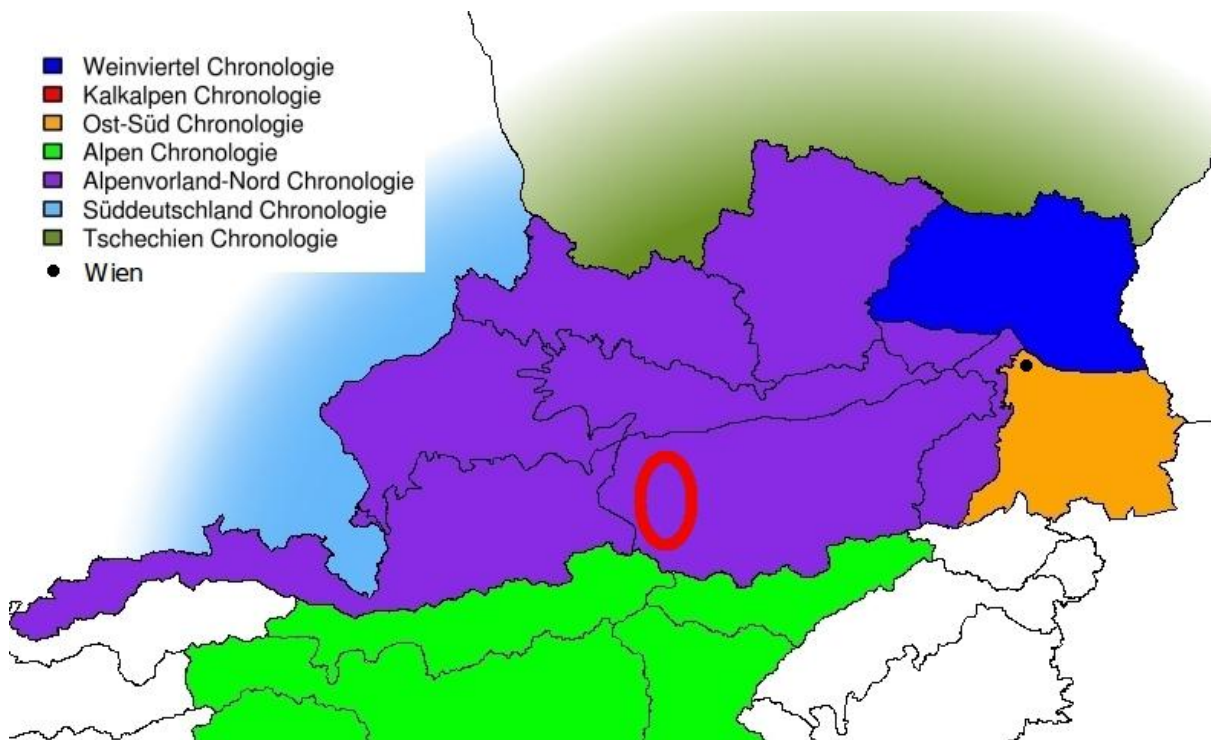


Abbildung 3.09 : Die unterschiedlichen Herkunftsgebiete und die zugehörigen Chronologien

roter Kreis = Kalkalpen-Chronologie

aus: WÄCHTER 2012, Seite 11

Durch die Probenanzahl (lebende Bäume und historisches Material) war es dennoch möglich, Chronologien mit ausschließlich Weinviertler Herkunft zusammenzustellen. Zuerst wurden provisorische Chronologien aus den lebenden Bäumen erstellt. Die jüngsten bereits zuvor datierten historischen Hölzer wurden nun nochmals sowohl gegen die provisorische Chronologie der lebenden Bäume als auch gegen andere Chronologien datiert.



Hierbei kamen vor allem Chronologien aus dem nördlichen Alpenvorland, den Kalkalpen, dem Wiener Becken, den Alpen, Süddeutschland und Tschechien zum Einsatz (Abb. 3.09).

Zeigen die Ergebnisse, dass die Proben aus dem Weinviertel stammen (Tabelle 3.01), werden sie in die Weinviertelchronologie aufgenommen. So wird eine neue Version der Chronologie errechnet, die um die historischen Proben erweitert und damit verlängert wird. Nun werden die nächstälteren Objekte überprüft und ggf. integriert. Dies macht die Überprüfung der noch älteren Objekte möglich usw. In vielen Schritten wurden die Proben, deren Herkunft eindeutig im Weinviertel lag, sukzessive in die provisorische Chronologie aufgenommen. Waren die Ergebnisse nicht eindeutig oder die Proben eindeutig aus einer anderen Region, wurden diese nicht in die Weinviertel-Chronologie aufgenommen.

Die folgenden Beispiele sollen die Vorgangsweise und die Ergebnisse erläutern (Tab. 3.01).

Tabelle 3.01: Beispiele für Datierung und Dendro-Provenancung

Glk = Gleichläufigkeit [%], tvH = t-Wert nach HOLLSTEIN, tvBP = t-Wert nach BAILLIE und PILCHER)

Probe	Datierung	Referenz	Überlappung	Glk	tvH	tvBP
Bockfließ – mit Flößerkeilen						
BflAA21a	1849	nördl. Alpenvorland	89 Jahre	75	9,2	9,0
	1849	Süddeutschland	89 Jahre	70	6,4	6,4
	1849	Weinviertel	89 Jahre	60	3,3	4,0
Schulhaus Mistelbach – ohne Flößerkeile						
MlfPA01a	1948	Weinviertel	62 Jahre	78	8,3	6,7
	---	nördl. Alpenvorland		---	---	---
Gaweinstal – ohne Flößerkeile						
GawPS04a	1678	Weinviertel	51 Jahre	77	8,8	10,7
	1678	nördl. Alpenvorland	51 Jahre	67	2,8	2,8

Die Probe BflAA21a aus Bockfließ (Bfl) aus Tannenholz (AA) datiert sicher auf der Chronologie aus dem nördlichen Alpenvorland. Dies ist vor allem an den sehr hohen t-Werten zu sehen (tvH und tvBP). Als Richtwert für eine sichere Datierung wird im Dendrochronologie-Labor der BOKU normalerweise ein Wert von min. 4,0 angesehen. Die t-Werte sind auch bei der Süddeutschen Tannenchronologie hoch. Jedoch sind sie gegen die Weinviertelkurve sehr niedrig (nicht mehr signifikant). D.h., der Baum, der zur Herstellung des Balkens in Bockfließ genutzt wurde, ist mit hoher Sicherheit nicht im Weinviertel gewachsen – dies sagen sowohl die Flößerkeile als auch die Ergebnisse des Provenancings. Die Herkunft dürfte im Einzugsgebiet Enns-Steyr-Donau liegen.



Probe MlfPA01a aus Fichte (PA) aus dem alten Schulhaus der Landwirtschaftlichen Fachschule in Mistelbach (Mlf) datiert sicher auf der Weinviertelchronologie und gar nicht auf der Chronologie des nördlichen Alpenvorlandes. D.h., der Baum, der zur Herstellung des Balkens in Mistelbach genutzt wurde, ist mit hoher Sicherheit im Weinviertel gewachsen.

Probe GawPS04a aus Kiefer (PS) aus Gaweinstal (Gaw) datiert sicher auf der Weinviertelchronologie und sehr schwach auf der Chronologie des nördlichen Alpenvorlandes. D.h., der Baum, der zur Herstellung des Balkens in Gaweinstal genutzt wurde, ist mit hoher Sicherheit im Weinviertel gewachsen.

Die Untersuchungen haben ergeben, dass Eiche und Kiefer aus der Region stammen. Bei diesen Holzarten konnten weder Flößerkeile festgestellt werden, noch lässt das Dendro-Provenancing auf einen anderen Herkunftsort schließen. Fichte und Tanne sind jedoch nicht immer aus der Region. Das trifft auch auf Gebäude zu, bei denen mehrere Holzarten verwendet worden sind. Bei der Probennahme konnte man außerdem den Eindruck gewinnen, dass oft lediglich Holz mit bestimmten Dimensionen oder Längen Flößerkeile aufwies. Offenbar wurde also nur das Konstruktionsmaterial weiter transportiert, das zur Errichtungszeit des Gebäudes lokal nicht verfügbar war.

3.5 Chronologien

Tabelle 3.02: Probenmaterial in den Chronologien

Code	Ort		Probenanzahl	
			Eiche	Kiefer
Alw	Altlichtenwarth	Jagdhütte		7
Ame	Ameis	Pfarrkirche	1	10
Bau	Baumgarten an der March	Waldstandort	26	
Bfl	Bockfließ	Bauernhaus	3	
Dsd	Drösiedl	Schloss		6
Dwg	Deutsch Wagram	Waldstandort	25	
Ebt	Ebenthal	Waldstandort		26
Eic	Eichhorn	Waldstandort	27	21
Enz	Enzersfeld	archäologische Stätte	5	
Ern	Ernstbrunn	Waldstandorte	40	21
Gar	Gars am Kamp	Gebäude	5	
Gaw	Gaweinstal	Wohnhaus	1	4
Gkg	Gars am Kamp	Kirche	4	
Gnd	Gänserndorf	Waldstandort		22



Gww	Glasweiner Wald	Waldstandort	22	
HoA	Hohenau an der March	Pfarrkirche	1	4
Hoc	Hochleithenwald	Waldstandort	30	
Hod	Hörersdorf	Waldstandort		26
Htd	Hüttendorf	Waldstandort		30
Kle	Klement	Gebäude		2
KnB	Klosterneuburg	Stiftskirche	6	
Kwk	Walterskirchen	Kirche		3
Lat	Laa an der Thaya	Stadtpfarrkirche	3	2
Lod	Loosdorf und Umgebung	alte Eichen	7	
Lzt	Lainzer Tiergarten	Waldstandort	3	
Mgh	Marchegg	ehem. Gasthaus		10
Mkf	Markhof	Waldstandort		23
Msd	Niedersulz	Museumsdorf	9	9
Nex	Nexing	Waldstandort		17
Noa	Baustelle Nordautobahn	archäologische Stätte	31	
Oad	Orth an der Donau	Schloss	14	
Obw	Oberweiden	Waldstandort		23
Paa	Paasdorf	Waldstandort	29	
Pah	Passauer Hof	archäologische Stätte	13	
Pbg	Praunsberg	Waldstandort	24	
Pil	Pillichsdorf	Pfarrkirche	11	
Pof	Poysdorf	Pfarrkirche	18	10
Pom	Pottenstein	Kirche	1	
Pum	Pulkau	Kirche		9
Ret	Retz	Znaimertor	2	2
Sey	Seyring	Waldstandort	26	
Sga	Grafenegg	Schloss	3	5
Sho	Hof	Schloss		2
Sid	Sitzendorf an der Schmida	Pfarrkirche		9
Sih	Siebenhirten	Hofstadl	5	
Sik	Schiltern	Pfarrkirche	7	
Smg	Marchegg	Schloss		16
Srs	Schrattenthal	Schlosskapelle	1	
Ssd	Stetteldorf	Schloss	14	5
Sta	Staatz	Musikerheim	1	
Stf	Staatzer Felsen	Waldstandort		23
Stn	Straßhof an der Nordbahn	Waldstandort		25
Waa	Waitzendorf	Kirche	12	17
Wst	Wien	Stephansdom	33	
Wul	Wullersdorf	Pfarrhof, Kirche		15
Summe			463	404

Im Verlauf der Bearbeitung mussten zahlreiche Proben aus der Untersuchung ausgeschieden werden. Etwa 20% konnten nicht datiert bzw. synchronisiert werden. Auf Grund der Holzherkunft wurden alle Tannen und Fichten ausgeschlossen, da die einheimischen Proben für eine durchgehende Chronologie nicht ausreichten.

Im Endeffekt konnten aus 463 Eichen und 404 Kiefern je eine Chronologie für Gesamtjahr-ringbreite (rw) und Spätholzbreite (lw) in den jeweils zwei in Kapitel 3.3 beschriebenen Indexierungsvarianten negative Exponentialfunktion o. Ä. (00) und 30-Jahre-Spline (30) erstellt werden. Tabelle 3.02 und Abbildung 3.10 zeigen die verbliebenen Standorte, von denen Proben für die Chronologien verwendet worden sind.

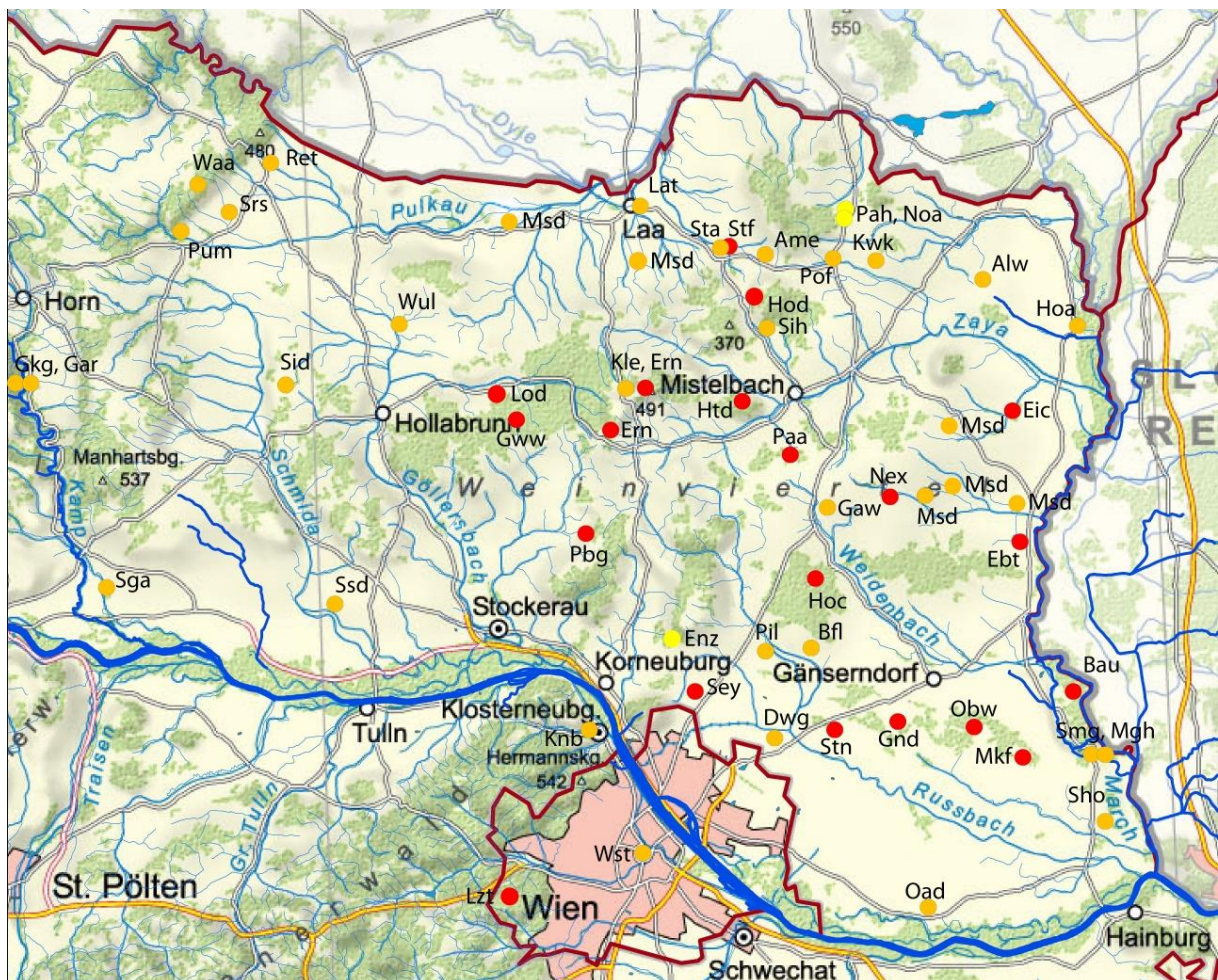


Abbildung 3.10: Probenstandorte – Proben für Chronologien

archäologische Fundstätte Gebäude Waldstandort



Die Abbildungen 3.11 und 3.12 zeigen die Eichen- und Kiefernchronologien für Jahrring- und Spätholzbreite in der Indexierungsvariante 00.

Die Eichenchronologien decken den Zeitraum von 953 bis 2011 ab. Allerdings sinkt die Belegungsdichte (= Anzahl der Bäume, aus denen die Chronologie im jeweiligen Kalenderjahr besteht) mehrmals unter 10 – von 953 bis 1007, 1187 bis 1236, drei Mal im 15. Jh. (1403 bis 1405, 1453 bis 1467, 1474 bis 1478) und von 1736 bis 1768, was für eine Rekonstruktion des Klimas problematisch werden könnte, da die Repräsentativität hier in Frage gestellt werden muss. Für den frühesten Zeitraum ist das kein großes Problem, da man die Zeitreihe dort abschneiden kann. Problematischer sind die Zeitfenster „innerhalb“ der Chronologie.

Die Kiefernchronologien sind bis zum Jahr 1573 ausreichend belegt. Davor macht sich die geringe Probenanzahl durch relativ große „Ausschläge“ der Indexwerte nach oben und unten bemerkbar. Dieser Teil der Chronologie ist höchstwahrscheinlich für Klimarekonstruktionen nicht verwendbar.

In der Dendroklimatologie gilt das Expressed Population Signal (EPS) als Richtwert für die Güte einer Chronologie. Ab einem Wert von 0,85 werden Jahrringchronologien als stabil genug für eine Klimarekonstruktion eingestuft (z.B. SPEER 2010). Die Berechnung des EPS muss vor einer Klimarekonstruktion jedenfalls noch durchgeführt werden.

Auffällig ist, dass die Variabilität des Spätholzes sowohl bei Eiche als auch bei Kiefer größer ist als jene der Gesamtjahrringbreite. Bei der Eiche als ringporigem Laubholz kann das daran liegen, dass die Frühholzzellen, die der Wasserversorgung der Blätter dienen, recht groß sind und mehr oder weniger unabhängig von der Versorgungssituation gebildet werden müssen, bevor der Baum im Frühjahr austreiben kann. Daher ist vom Spätholz eine höhere Klimaabhängigkeit zu erwarten.

Auffällig bei allen vier Chronologien ist eine Zeit mit unterdurchschnittlichem Zuwachs vor 1800, die zumindest bei der Kiefer nichts mit zu geringer Belegungsdichte zu tun haben kann. Generell stimmt der Verlauf der Chronologien überein (Tabelle 3.03).

Tabelle 3.03: Gleichläufigkeit (Glk) und t-Werte (tvBP, TvH) für Kiefern- vs. Eichen-Chronologien 1769 bis 2011

	QSlw00			QSlw30			QSrw00			QSrw30		
	Glk	tvBP	tvH	Glk	tvBP	tvH	Glk	tvBP	tvH	Glk	tvBP	tvH
PSlw00	66	8,4	8,1	65	8,5	8,1	67	8,6	8,1	68	8,6	8,1
PSlw30	68	8,7	8,5	66	8,7	8,4	69	8,8	8,4	69	8,8	8,3
PSrw00	69	9,4	9,7	67	9,5	9,8	68	10,1	10,1	70	10,5	10,6
PSrw30	68	9,5	10,1	67	9,5	10,2	67	10,1	10,6	69	10,4	10,8

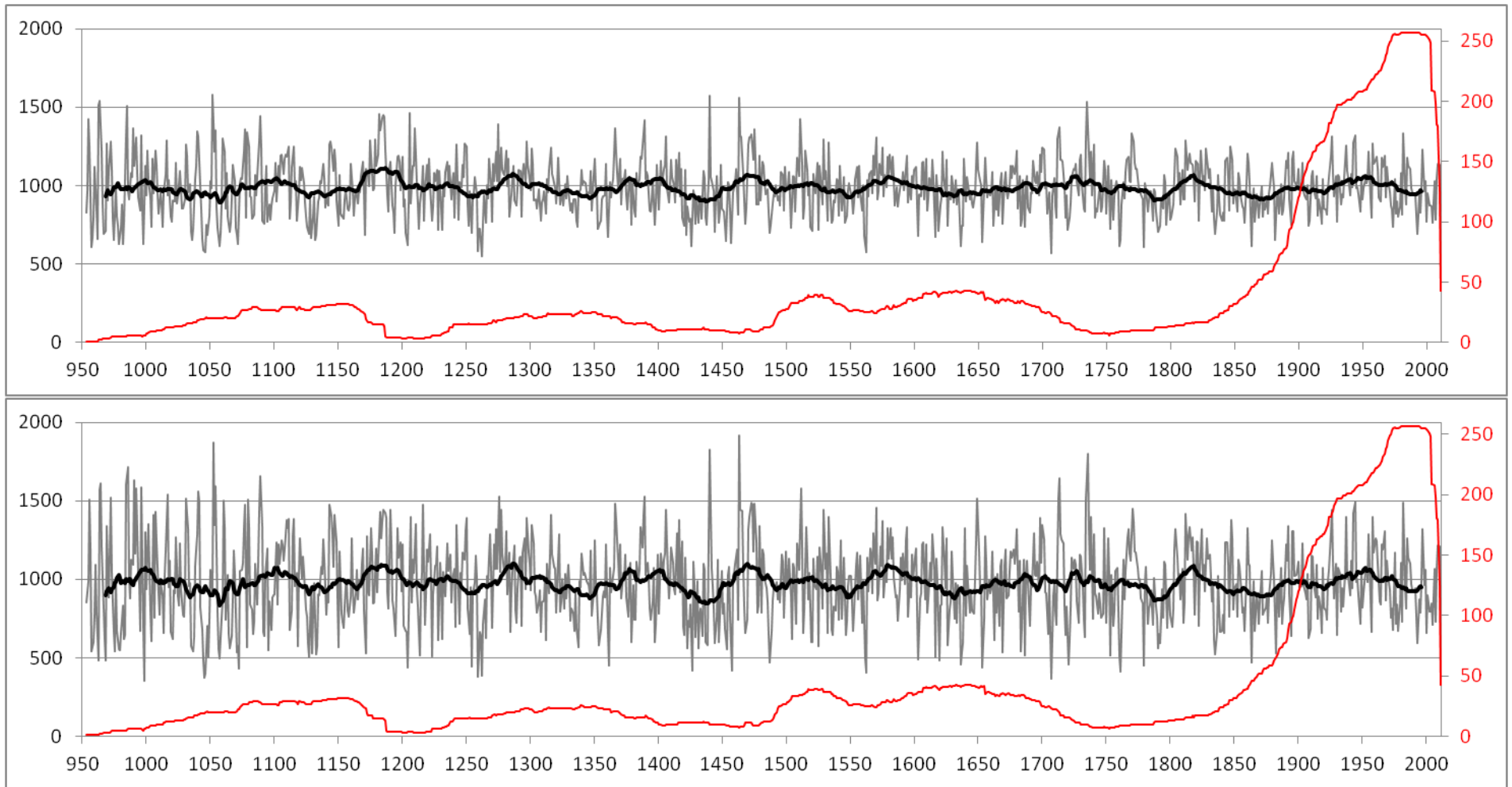


Abbildung 3.11: Eichen-Chronologie (oben Jahrringbreite, unten Spätholzbreite)

Chronologie Indexierungsvariante 00

31-jähriges gleitendes Mittel der Chronologie

Belegungsdichte (Bäume pro Kalenderjahr)

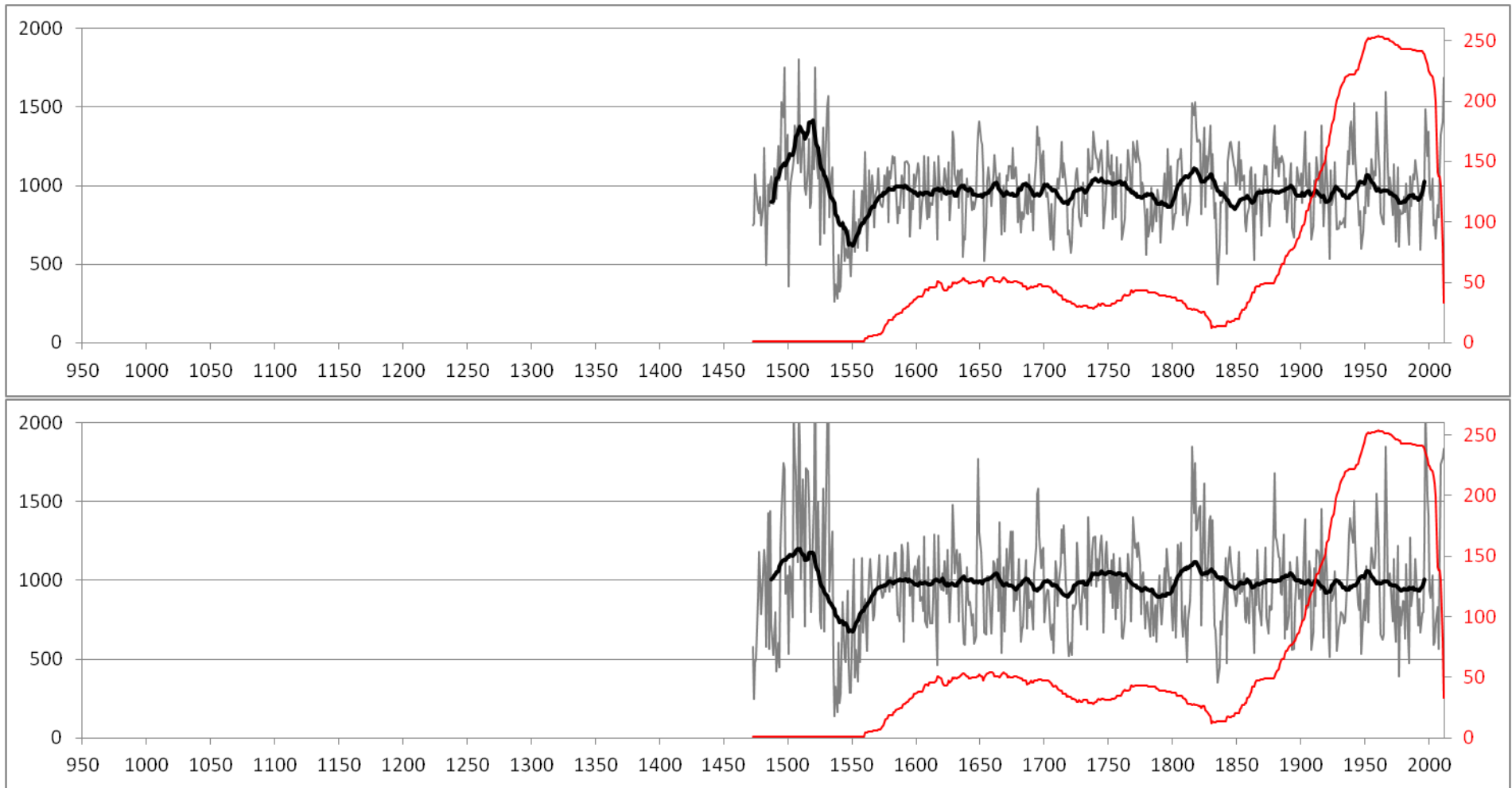


Abbildung 3.12: Kiefern-Chronologie (oben Jahrringbreite, unten Spätholzbreite)

Chronologie Indexierungsvariante 00

31-jähriges gleitendes Mittel der Chronologie

Belegungsdichte (Bäume pro Kalenderjahr)



4. Methoden zur Beschreibung von Trockenheit

Mit dem Thema Trockenheit befassen sich viele Fachdisziplinen. Dementsprechend vielfältig sind auch die methodischen Ansätze, mit denen man aus wissenschaftlichem Interesse und/oder praktischer Notwendigkeit nach Möglichkeiten suchte, den Wasserhaushalt zu quantifizieren.

In der sehr umfangreichen Literatur zum Thema Aridität/Humidität lässt sich eine Reihe von Ansätzen finden, mit denen das Zusammenspiel von Wasser- und Energiehaushalt ausgedrückt wird. Als verknüpfender Prozess steht die Verdunstung im Zentrum derartiger Überlegungen. Diese jedoch quantitativ zu erfassen, ist eine Herausforderung. Das führte in den frühen Versuchen, trockene Gebiete oder Monate von feuchten abzugrenzen, zu diversen Näherungslösungen. Die Möglichkeiten dazu reichen von simplen Quotienten zwischen Temperatur (des Jahres oder Monats) und Niederschlag (des Jahres oder Monats) bis hin zu sehr ausgefeilten Überlegungen, wie das der von PALMER entwickelte Trockenheitsindex (PALMER 1965) ausdrückt. Mit all diesen Ansätzen wünschte man sich eine Maßzahl als räumliches und zeitliches Abgrenzungskriterium für Trockenheit

4.1 Trockenperioden

Der einfachste Zugang zur Analyse von Trockenheit ist das Auszählen von Tagen ohne bzw. mit bloßen Spuren von Niederschlag. Demgemäß steckt in der Angabe der trockenen Tage und der Länge einer Folge, die als trockene Tage bezeichnet werden, sog. Trockenperioden, ein Schwellwertproblem. Sehr ausführlich hat sich z.B. NOBILIS (1983, 1985) dem Thema Trockenperioden in Österreich gewidmet.

Für die Untersuchungen in diesem Projekt wurde die Wahrscheinlichkeit des Auftretens von Trockentagen analysiert. Als Trockentag wird ein Tag, an dem es zumindest vier aufeinander folgende Tage vorher keinen Niederschlag ≥ 1 mm gegeben hat, definiert. Erfahrungsgemäß sinkt bei einem Zeitraum von fünf Tagen ohne Niederschlag der Bodenwassergehalt bereit so stark, dass dies in der obersten Bodenschicht bereits deutliche Auswirkungen auf das Wachstum von Pflanzen haben kann. Ein Trockentag ist somit ein Tag innerhalb einer Trockenperiode, jedoch zählen die Tage 1-4 aus einer Trockenperiode noch nicht als Trockentage. Die Wahrscheinlichkeit des Auftretens eines Trockentages ergibt sich durch die Zahl, wie oft an einem bestimmten Tag im Jahr (z.B. am 29. Jänner) in der untersuchten Periode (z.B.

1951-1981) ein Trockentag auftritt, geteilt durch die Anzahl der Jahre der Periode. Tritt z.B. in der Periode 1951-1980 am 29. Jänner neun Mal ein Trockentag auf, somit ergibt sich eine Wahrscheinlichkeit von $9/30$, das entspricht rund 30% Wahrscheinlichkeit für das Auftreten eines Trockentages am 29. Jänner. Dieser Wert wurde über 15 Tage gemittelt und in den folgenden Abbildungen (4.01 und 4.02) dargestellt.

Für die Stationen Wien Hohe Warte (W), Retz (R), Großenzersdorf (G) und Laa an der Thaya (L) wurde die Wahrscheinlichkeit des Auftretens von Trockentagen für die Vergangenheit von einer Schülerin des BORG im Rahmen ihres Praktikums an der BOKU (siehe Kapitel 8) untersucht.

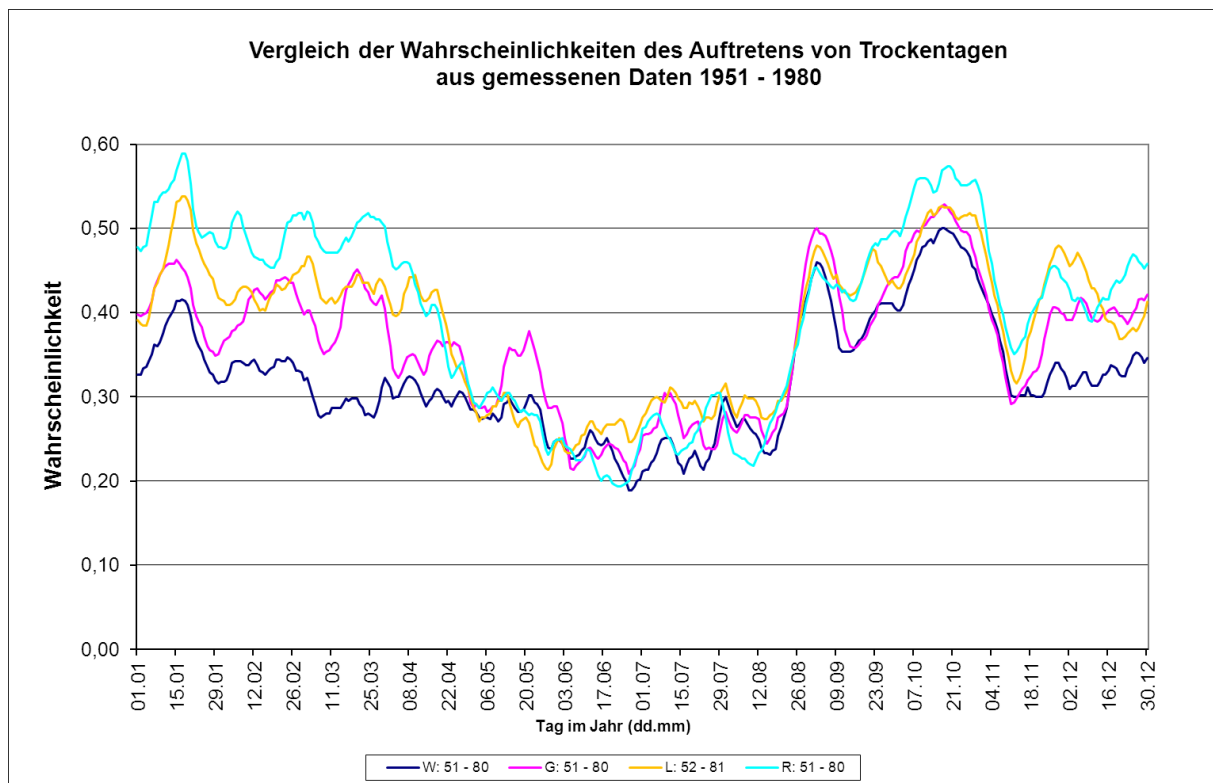


Abbildung 4.01: Wahrscheinlichkeit des Auftretens von Trockentagen an den Stationen Wien Hohe Warte (W), Großenzersdorf (G), Laa/Thaya (L) und Retz (R) für die Periode 1951-80
Die unterschiedliche Wahl der 30 Jahresperioden ergibt sich aus der Verfügbarkeit der Daten.

Ein Vergleich der Stationen Wien Hohe Warte, Großenzersdorf, Laa/Thaya und Retz anhand der gemessenen Daten für die Perioden 1951-1980 und 1980-2009 zeigt einen ähnlichen Verlauf aller vier Stationen. Die einzige markante Abweichung ist, dass der Winter in Wien weniger trocken ist als an den anderen drei Stationen. Auch hier zeigt sich, dass das Weinviertel eine sehr homogene Klimaregion ist.



Die meisten Trockentage treten im Herbst auf. Während 1951-1980 auch der September zu den sehr trockenen Zeiten zählt, zeigt sich dies in der Periode 1980-2009 nicht mehr.

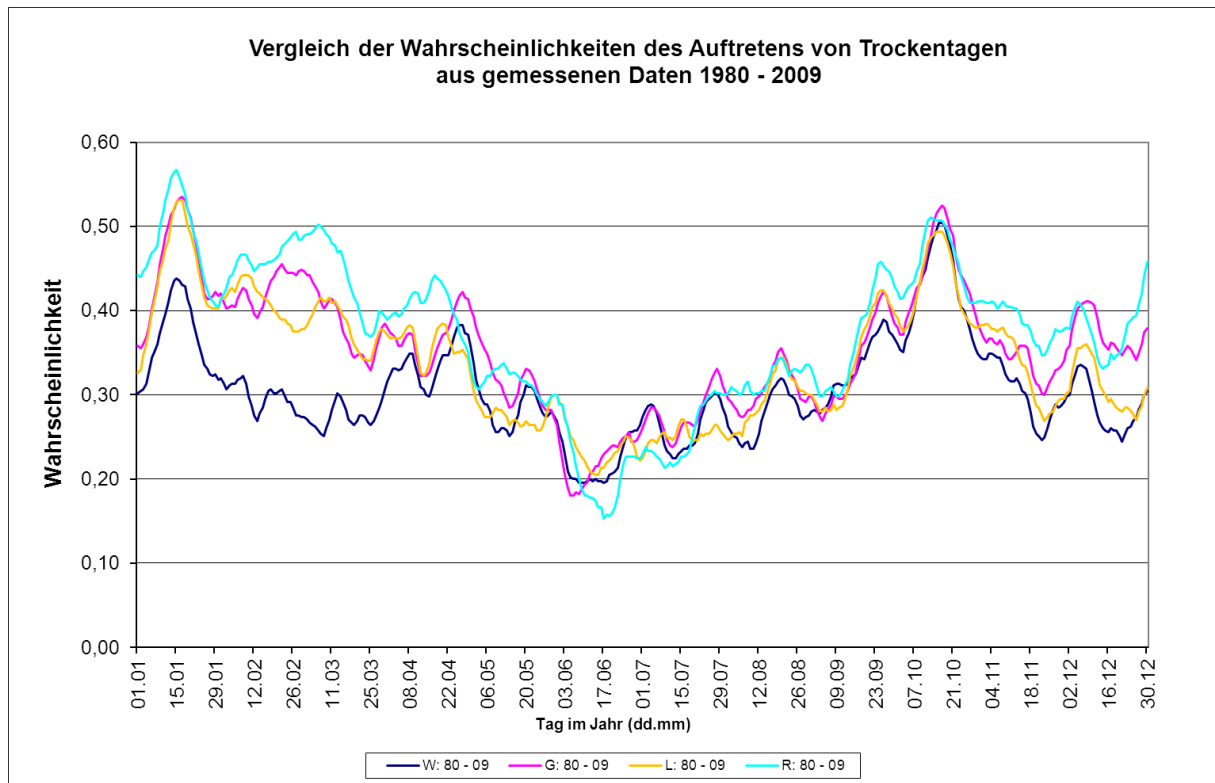


Abbildung 4.02: Wahrscheinlichkeit des Auftretens von Trockentagen an den Stationen Wien Hohe Warte (W), Großenzersdorf (G), Laa/Thaya (L) und Retz (R) für die Periode 1980-2009

4.2 Klimatische Wasserbilanz

Die klimatische Wasserbilanz (KWB) ist die Differenz zwischen dem Niederschlag (N) und der potenziellen Evapotranspiration (PET). Sie stellt eine Maßzahl für das (für Pflanzen) verfügbare Wasser dar und lässt sich demnach ebenfalls für die Abgrenzung von trockenen bzw. feuchten Gebieten und Zeiträumen heranziehen. Ist die klimatische Wasserbilanz positiv, herrscht ein Überangebot an Wasser; ist sie negativ, herrscht Wassermangel.

Unter Evapotranspiration versteht man die Summe aus der Evaporation (Verdunstung von Boden- oder Wasseroberflächen) und der Transpiration (aktive Verdunstung von Pflanzen). Die Evapotranspiration hängt neben meteorologischen Größen (Temperatur, Strahlung, Luftfeuchtigkeit, Wind, Luftdruck) auch von Boden- und Pflanzeigenschaften (Bodenfeuchte,



Pflanzenfeuchte, Verdunstungswiderstand) ab. Die potenzielle Evapotranspiration ist eine „klimatologische Hilfskonstruktion“, bei der man die Annahme einer unendlichen Wasserverfügbarkeit macht, um die Einflüsse von Boden und Pflanze auszuschließen. Beide Größen, die man in Beziehung zueinander setzt, sind demnach nur von meteorologischen Größen abhängig. Die daraus errechnete Wasserbilanz wird deshalb auch als *klimatische Wasserbilanz* bezeichnet.

$$KWB = N - PET$$

KWB klimatische Wasserbilanz

N Niederschlagssumme [mm]

PET potenzielle Evapotranspiration [mm]

Formel 4.01: Klimatische Wasserbilanz

Es sind also im Lauf der wissenschaftlichen Analyse des Problems und durch praktische Anforderungen getrieben eine Vielfalt an Wegen beschritten worden, um aus meteorologischen Standardbeobachtungen die PET zu berechnen. Der potentielle Nutzer trifft auf eine schier endlose Zahl an Berechnungspfaden, Entwicklungen, Anpassungen und Korrekturgliedern. Je näher ein Ansatz an der Physik der zugrundeliegenden Prozesse ansetzt, desto aufwändiger stellt sich meist die Berechnung dar. Demgemäß sind auch in der vorliegenden Untersuchung mehrere Wege, die PET zu berechnen und daraus eine KWB zu bestimmen, beschritten worden.

4.3 Potenzielle Evapotranspiration

4.3.1 Methode von THORNTHWAITE

Eine Methode zur Schätzung der potenziellen Verdunstung ist die Methode nach THORNTHWAITE (PET-TH). In seinem Ansatz (THORNTHWAITE 1948, THORNTHWAITE und MATHER 1955) hat er nebst Angaben über die Tageslänge bloß die Monatsmitteltemperatur zur Berechnung herangezogen.



$$PET = 16 (L/12) * (N/30) * (10T_{\alpha}/I)^{\alpha}$$

$$\alpha = (6,75 * 10^{-7})I^3 - (7,71 * 10^{-5})/I^2 + (1,792 * 10^{-2})I + 0,49239$$

$$I = \sum_{i=1}^{12} (T_{\alpha i}/5)^{1,514}$$

PET geschätzte potenzielle Evapotranspiration [mm/Monat]

T_{α} Monatsmitteltemperatur

N Anzahl der Tage des Monats

L mittlere Tageslänge

I Hitzeindex mit 12 Monatsmitteltemperaturen $T_{\alpha i}$ der Referenzperiode

Formel 4.02: THORNTHWAITE-Gleichung für die Schätzung der PET

Quelle: http://en.wikipedia.org/wiki/Potential_evaporation#Thornthwaite_equation_.281948.29, August 2012

4.3.2 Gleichung von TURC

TURC (1961) hat eine Formel entwickelt, in der neben der Temperatur die Globalstrahlung als Messgröße benötigt wird.

$$PET_{Turc} = 0,0031 * C * (RG + 209) * (T/(T + 15))$$

$$C = 1 + ((50 - U)/70) \text{ bei } U < 50\%$$

$$C = 1 \text{ bei } U > 50\%$$

$$RG = R_0 * 0,19 + 0,55 * (S/S_0)$$

U Tagesmittel der Lufttemperatur in %

RG Globalstrahlung in J/cm^2

R_0 extraterrestrische Strahlung in J/cm^2

S Sonnenscheindauer des Tages in h

S_0 astronomisch mögliche Sonnenscheindauer in h

T Tagesmittel der Lufttemperatur in $^{\circ}C$

Formel 4.03: Potenzielle Evapotranspiration nach TURC (1961)

4.3.3 Gleichung von PENMAN-MONTEITH

Der Ansatz von PENMAN (1948) ist die wohl bekannteste und physikalisch betrachtet die den Vorgang der Verdunstung am besten beschreibende Möglichkeit, die PET zu berechnen. Es



gibt viele Abarten und Anpassungen. In der Literatur findet man sie zumeist als PENMAN-MONTEITH-Formel (z.B. JENSEN 1990). In den INCA-Daten (Kapitel 2.2) wurde die PET nach der PENMAN-MONTEITH-Formel, die von der FAO (Food and Agriculture Organization of the United Nations) standardmäßig verwendet und z.B. von FORMAYER (2001) beschrieben wird, berechnet.

$$PET = (\lambda \cdot \Delta \cdot (R_n - G) + \gamma \cdot \rho \cdot c_p \cdot s_d / r_a) / (\Delta + \gamma(1 - r_s / r_a))$$

PET	Evapotranspiration [mm/Zeiteinheit]
λ	Verdunstungsenergie [J/kg]
Δ	Steigung der Sättigungsdampfdruckkurve [kPa/°C]
R_n	Strahlungsbilanz [J/Zeiteinheit]
G	Bodenwärmefluss [J/Zeiteinheit]
γ	Psychrometerkonstante [kPa/°C]
ρ	Dichte der Luft [g/m ³]
c_p	Spezifische Wärme der Luft bei konstantem Druck [J/g]
r_a	aerodynamischer Widerstand [s/m]
r_s	stomataler oder Bestandeswiderstand [s/m]

Formel 4.04: Gleichung für die potenzielle Evapotranspiration nach PENMAN-MONTEITH

Schätzung der PET mittels Sättigungsdefizit

Die INCA-Daten (Kapitel 2.2) stehen erst ab 2003 zur Verfügung. Für weiter zurückreichende Datenreihen stehen die notwendigen Parameter für die Berechnung der PET nach PENMAN-MONTEITH meist nicht zur Verfügung. Daher wurde als Schätzung für die potenzielle Verdunstung das Sättigungsdefizit verwendet.

Das Verfahren zur Schätzung der PET mittels Sättigungsdefizit wurde ursprünglich von FORMAYER (2001) entwickelt und beschrieben. Das Sättigungsdefizit ist Teil der PENMAN-MONTEITH-Gleichung. Die anderen in dieser Gleichung vorkommenden meteorologischen Größen lassen sich über eine nichtlineare Beziehung unter den meteorologischen Verhältnissen im Osten Österreichs auf das Sättigungsdefizit beziehen. Das Sättigungsdefizit als Differenz zwischen Sättigungsdampfdruck und dem aktuellen Dampfdruck kann aus der Temperatur und der relativen Luftfeuchtigkeit berechnet werden.

Temperatur und relative Luftfeuchtigkeit werden bei meteorologischen Stationen standardmäßig gemessen und stehen im Weinviertel bis 1948 zurück auf Tagesbasis zur Verfügung.



$$es(T) = 0,6108 \cdot (17,27 \cdot T / (T + 237,3))$$

$$de = es(T) \cdot RF / 100$$

T	Temperatur [°C]
de	Sättigungsdefizit [Pa]
es	Sättigungsdampfdruck [Pa]
RF	relative Feuchte [%]

Formel 4.05: Berechnung des Sättigungsdefizits

Im Rahmen der für das Projekt verfassten Bachelorarbeit (MAURER et al. 2012) wurde für die Standorte Baumgarten an der March, Eichhorn, Enzersdorf im Thale, Großenzersdorf, den Staatzer Felsen und Straßhof an der Nordbahn aus den INCA-Daten jeweils das tägliche mittlere Sättigungsdefizit berechnet und mit der PET in Beziehung gesetzt. Für alle Standorte ergaben sich Polynomfunktionen 4. Grades als beste Anpassung.

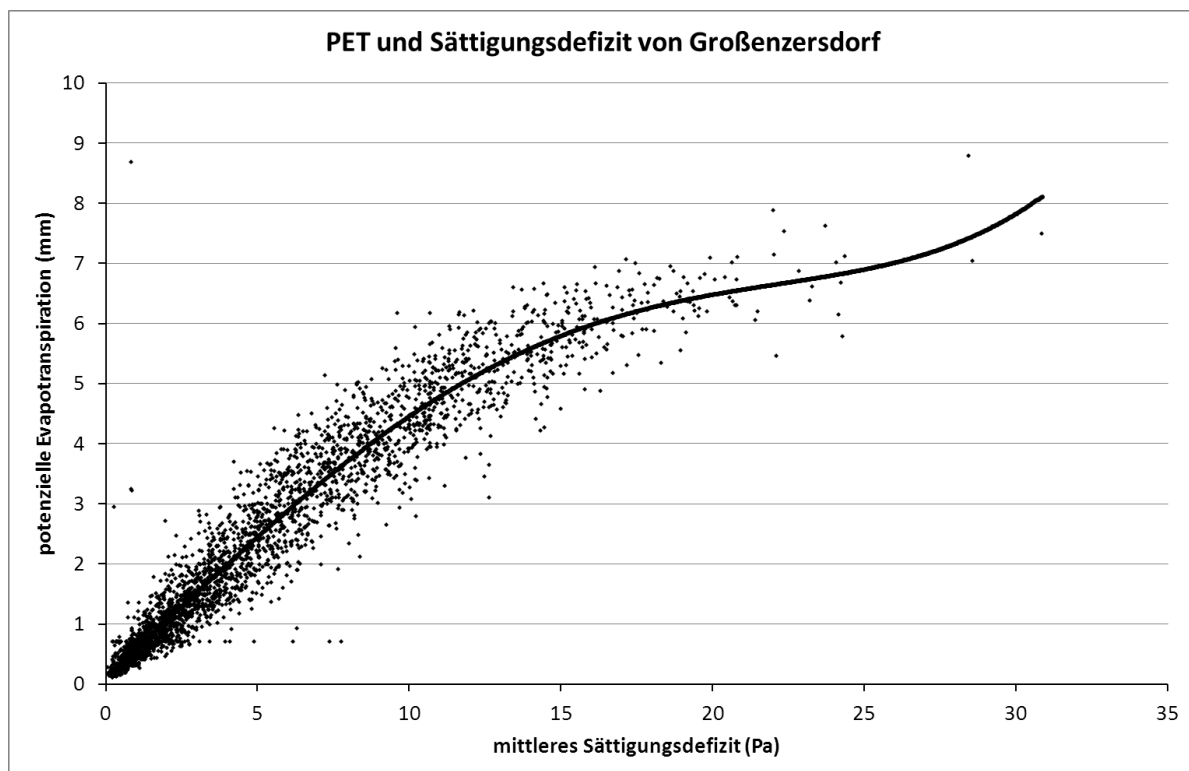


Abbildung 4.03: Zusammenhang zwischen Sättigungsdefizit (aus Stationsdaten) und potenzieller Evapotranspiration (PET, aus INCA-Daten) für Großenzersdorf



Eine typische Formel für das Weinviertel (siehe auch Abbl 4.03):

$$\text{PET-SD} = 2,576 \cdot 10^{-5} \cdot \text{de}^4 - 1,242 \cdot 10^{-3} \cdot \text{de}^3 + 7,7487 \cdot 10^{-3} \cdot \text{de}^2 + 4,535 \cdot 10^{-1} \cdot \text{de} + 1,29 \cdot 10^{-1}$$

PET-SD PET berechnet aus dem Sättigungsdefizit [mm/Tag]

de mittleres Sättigungsdefizit [Pa]

Formel 4.06: Anpassung der PET mittels Polynomfunktion 4. Grades

4.3.4 Vergleich von verschiedenen PET-Berechnungen

Sowohl die PET nach PENMAN-MONTEITH und THORNTHWAITE als auch die Schätzung der PET mittels Sättigung (PET-SD) wurden untereinander verglichen. Da die THORNTHWAITE-Methode die PET im Winter unterschätzt (siehe Abb. 4.04, rote Kurve), besteht die Notwendigkeit, PET-TH zu korrigieren.

Aufgrund variabler Schneebedeckung (Schnee verringert wegen erhöhter Reflexion die verfügbare Strahlungsenergie) und Verdunstungswiderständen, die bei niedrigen Temperaturen nicht voll anwendbar sind, sind im Winter die Schätzungen für PET generell mit größeren Fehlern behaftet. Allerdings spielt im Winter die Evapotranspiration auch eine eher untergeordnete Rolle.

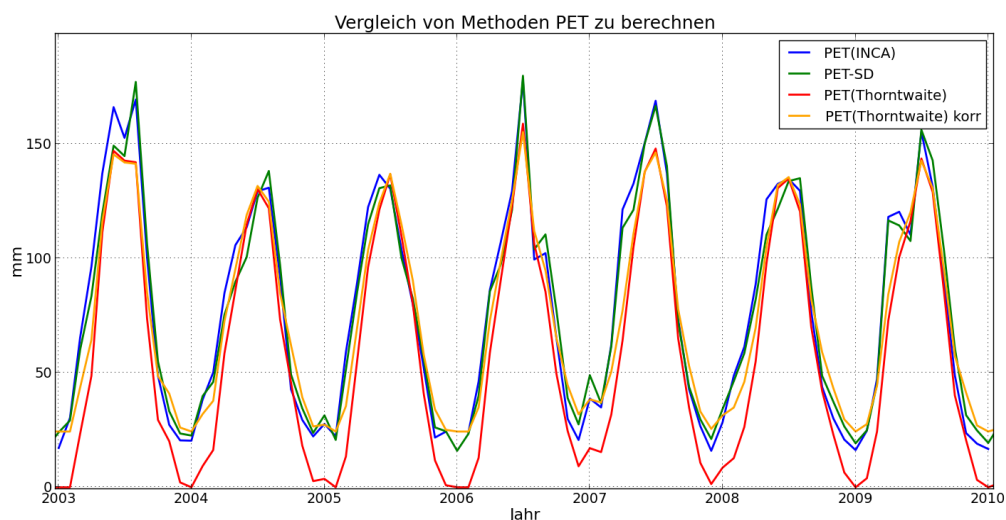


Abbildung 4.04: Vergleich der Methoden zur Berechnung der potenziellen Evapotranspiration



Da PET-SD von Großenzersdorf eine lange Zeitreihe ist, (1948 – 2012) und eine gute Korrelation zur PET (INCA) aufweist, wurde die Monatssumme benutzt, um eine lineare Regression mit PET-TH von Großenzersdorf zu berechnen. Die Koeffizienten der linearen Regression wurden als Korrekturfaktoren für PET-TH benutzt (Formel 4.07).

$$\text{PET-TH}_{\text{corr}} = 0.82 \cdot \text{PET-TH} + 24,33$$

Formel 4.07: Korrektur von PET-TH auf Grund unterschätzter Winter-Evapotranspiration

PET-SD und PET-TH weisen einen root-mean-square-error (RMSE) von 22,1 auf, PET-SD und PET-TH_corr hingegen einen RMSE von nur 14,3. Mit dieser Korrektur zeigen nun alle drei Varianten für die PET-Berechnung sehr ähnliche Verläufe, sodass bei Verwendung der einfacheren Berechnungsformen (PET-SD und PET-TH) für die Vergleiche mit Messdaten vor 1948 sehr gute Ergebnisse erzielt werden können.

Das Weinviertel ist eine sehr einheitliche Klimazone und die Temperaturen zwischen einzelnen Standorten unterscheiden sich kaum. Für die Analyse der Trockenheit sind aber Niederschlag und Verdunstung ausschlaggebend.

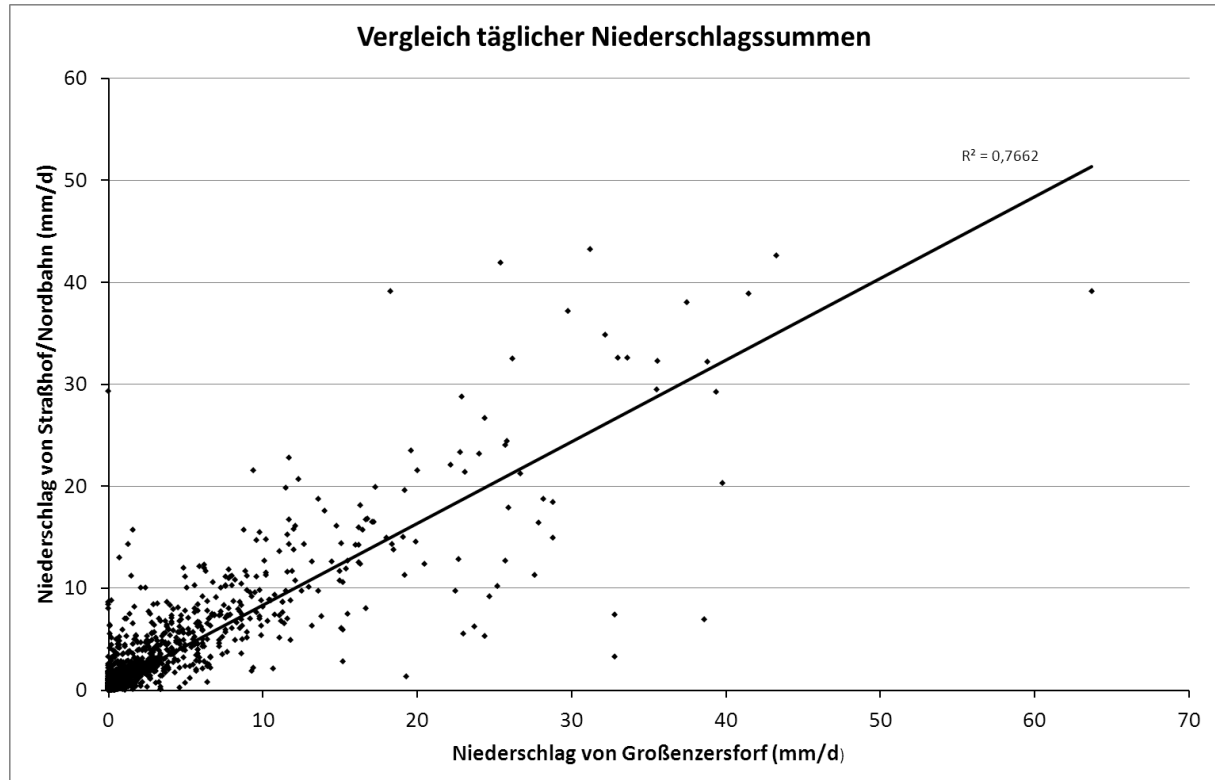


Abbildung 4.05: Vergleich der Tagesniederschläge zwischen Straßhof an der Nordbahn und Großenzersdorf auf Basis der INCA-Daten



Der Vergleich der PET-Werte der Standorte Baumgarten an der March, Eichhorn, Enzersdorf im Thale, Staatzer Felsen und Straßhof an der Nordbahn jeweils mit Großenzersdorf, weil diese Station die längste durchgehende Zeitreihe im Weinviertel besitzt, ergibt wegen der einheitlichen klimatischen Situation im Weinviertel hohe Korrelationen ($R^2 \geq 0,95$). Der Niederschlag korreliert bei Betrachtung der Tageswerte nicht so stark ($R^2 = 0,56-0,77$) (siehe auch Abb. 4.05), jedoch ist die Niederschlagssumme über den Zeitraum der INCA-Daten innerhalb der Messgenauigkeit des Niederschlags ident und somit kann Großenzersdorf als repräsentative Messstation für das Weinviertel verwendet werden.

4.3.5 Klimatische Wasserbilanz für das Weinviertel

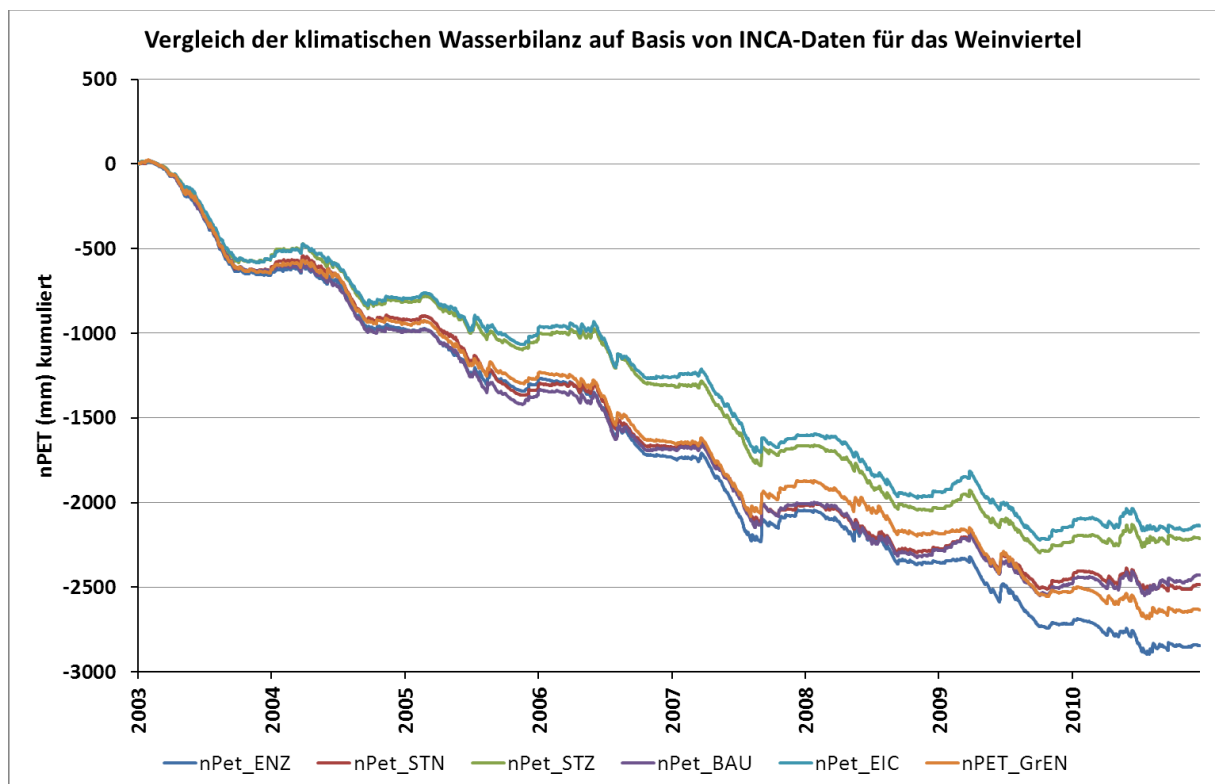


Abbildung 4.06: Vergleich der kumulierten klimatischen Wasserbilanz (nPet = KWB) auf Basis von INCA-Daten im Weinviertel für die Standorte Baumgarten an der March (BAU), Eichhorn (EIC), Enzersdorf im Thale (ENZ), Großenzersdorf (GrEN), Staatzer Felsen (STZ) und Straßhof an der Nordbahn (STN) im Zeitraum 2003 bis 2010

Die kumulierte klimatische Wasserbilanz (aus INCA-Daten) für die Standorte Baumgarten an der March, Eichhorn, Enzersdorf im Thale, Großenzersdorf, Staatzer Felsen und Straßhof an der Nordbahn für den Zeitraum 2003 bis 2010 ist in Abb. 4.06 dargestellt. Man erkennt, dass der Verlauf der KWB für alle Standorte in allen Jahren negativ und sehr ähnlich ist. Es zeigt sich somit auch in diesen Daten, dass das Weinviertel eine sehr trockene Region ist und be-



reits zu den semiariden Klimazonen zählt. Dies bestätigt zusätzlich, dass die Daten von Großenzersdorf als repräsentativ für das Weinviertel betrachtet werden können.

4.4 Weitere Trockenheitsindizes

4.4.1 Standardized Precipitation Index (SPI)

Der sehr komplizierte Berechnungsalgorithmus des wohl bekanntesten Trockenheitsindex des sog. PDSI (PALMER 1965) (Kapitel 4.4.4) war immer wieder Anlass, nach einfacheren Lösungen für das Problem Trockenheit zu suchen. Mit dem SPI (McKEE et al. 1993) ist man der Suche nach einem möglichst einfachen und leicht durchschaubaren Kriterium einen Schritt näher gekommen. Es handelt sich um eine auf einen Bezugszeitraum standardisierte Niederschlagsabweichung, bei der das Zeitfenster variabel gestaltet werden kann. Dieser Index ist in vielen vergleichenden Studien mit anderen Trockenheitsindizes erfolgreich getestet worden (z.B. PALTINEANU et al. 2007, PALTINEANU et.al. 2009, LIVADA und ASSIMAKOPOULOS 2007, KHAN et al. 2008).

$$\text{SPI} = (x_i - x_m) / s$$

x_i	Monatsniederschlag
x_m	durchschnittlicher Monatsniederschlag
s	Standardabweichung

Formel 4.08: Standardized Precipitation Index

4.4.2 DeMARTONNE-Index

Auch dieser ursprünglich als Abgrenzungskriterium für aride Gebiete entwickelte Wert von DeMARTONNE (1926) wird nach wie vor verwendet (z.B. CUFAR et al. 2008). Er ist einfach zu berechnen und ein Beispiel dafür, dass Indizes generell oft eine Mischung verschiedener Einheiten beinhalten können. Schließlich wurden Sie aus praktischen Erwägungen entwickelt und man versucht damit, praktische Probleme zu lösen. Im Zähler steht der Niederschlag, im Nenner die Temperatur, beide Größen auf Monatsbasis:



$$I_{ar} = P / (T + 10)$$

P Niederschlag in mm

T Temperatur in °C

Formel 4.09: DeMARTONNE-Index

4.4.3 SAHIN-Index

Im Kapitel 4.3.3 wird auf die Schätzung der PET aus dem Sättigungsdefizit hingewiesen (FORMAYER 2001). Ein ähnliches Maß lässt sich auch durch den Quotienten von Monatsniederschlag und spezifischer Feuchtigkeit „erfinden“. Dieser von SAHIN (2012) verwendete Ansatz eignet sich ebenfalls als Kriterium für Trockenheit unter den Klimabedingungen des Weinviertels, wie die im nachfolgenden Kapitel 5 dargestellten Ergebnisse der Analysen zeigen.

4.4.4 PALMER Drought-Indizes

Der von PALMER (PALMER 1965, PALMER 1968) entwickelte Trockenheitsindikator (PALMER Drought Severity Index, PDSI) enthält zusätzlich zu den atmosphärischen Komponenten der Wasserbilanzgleichung den Boden als Speicherglied. Die Berücksichtigung eines Speichers unterscheidet ihn von allen anderen in dieser Studie herangezogenen Indikatoren. Zahllose Studien ziehen den PDSI auch für klimatologische Studien heran (z.B. Van der SCHRIER 2007, BÜNTGEN 2011). Langfristige Dürre ist kumulativ, da die Intensität der Trockenheit auch von der Trockenheit der Vormonate abhängt. Da sich aber Wetterlagen von Trockenperioden zu Feuchteperioden schnell ändern können, reagiert auch der PDSI relativ rasch.

Der PALMER Z-Index ist ähnlich dem PDSI, nur misst er kurzfristigere Dürre auf Monatsbasis. Beide Indizes setzen normale Bedingungen bei Null an. Feuchter als normal entspricht einem positiven Wert, trockener einem negativen.

Für dieses Projekt hat Mirek TRNKA PDSI und Z-Index auf Basis von HISTALP-Daten (tlw. ab 1841) und Szenario-Daten (1950 – 2100) berechnet. Es wurden die Standorte Wien (Hohe Warte), Großenzersdorf, Retz und Laa an der Thaya sowie drei unterschiedliche Bodenspeicherspeicher (pflanzenverfügbares Bodenwasser von 70, 120 und 170 mm) berücksichtigt (TRNKA et al. 2009)



5. Dendroklimatologie

5.1 Nutzung von Jahrringchronologien aus dem Weinviertel als Proxies für Trockenheit in der Vegetationsperiode

Studien, die sich der Abschätzung des Niederschlags aus Jahrringen mittels Regressionsbeziehungen widmen (z.B. BRAZDIL et al. 2002, GRIGGS et al. 2007), sind in Mitteleuropa eher selten. Vergleiche der Ergebnisse unterschiedlicher Studien sind nicht immer möglich, weil die analysierten Baumarten und Zeitfenster – sowohl das rekonstruierte Zeitfenster innerhalb der Vegetationsperiode als auch der insgesamt zur Kalibration herangezogene Zeitraum in Kalenderjahren – nicht übereinstimmen. In vielen Fällen ist es auch der Untersuchungsraum, auf den sich die jeweiligen Ergebnisse beziehen, der Vergleiche erschwert.

Der jährliche Zuwachs stellt eine Art Integral aller das Wachstum fördernden Bedingungen dar. Die Klimainformationen stellen nur einen Teil dieses Integrals dar. Dass dieser Anteil in verschiedenen Chronologien unterschiedlich groß ist, hat seine Wurzel in den Unterschieden in den Bedingungen, die den jährlichen Zuwachs steuern. Demgemäß enthalten Jahrringchronologien nicht bloß Informationen über den Zeitverlauf des Klimas in einem Zeitfenster, sondern immer auch einen Raumbezug.

Aus der Sicht der Klimatologie ist es eine klassische Herangehensweise, den Raum auf Basis verfügbarer Klimaelemente in Klassen möglichst einheitlicher Charakteristika zu unterteilen. Für das Klima des Weinviertels sind Trockenheit bzw. Trockenperioden charakteristisch (HARLFINGER und KNEES 1999, NAGL 1981). Die dort lebenden Bäume sind an die Trockenheit angepasst, sodass man erwarten darf, Abweichungen von einem „Normalzustand“ in den Jahrringen wiederzufinden. Auf Basis von Zusammenhängen zwischen den Zeitreihen der Jahrringe und den aus Klimaelementen berechneten Ariditätsindizes oder klimatischen Wasserbilanzen (siehe auch Kapitel 4) lassen sich dann, abhängig von der Güte dieser Zusammenhänge, Aussagen über Trockenheit im Weinviertel in der Vergangenheit machen.



5.2 Klima-Wachstums-Beziehungen zwischen ausgewählten Klimaelementen und Trockenheitsindizes und den Jahrringchronologien

5.2.1 Methoden der Berechnung

Die berechneten Trockenheitsindizes (siehe Kapitel 4) wurden alle auf den Mittelwert des Zeitfensters 1951-80 bezogen und mit der in diesem Zeitraum berechneten Standardabweichung normiert.

Der Zusammenhang zwischen den mit unterschiedlichen Methoden standardisierten Jahrringchronologien, den Klimavariablen und den Trockenheitsindizes ist mit einer Korrelations- bzw. linearen und multiplen linearen Regressionsanalyse jeweils für den Zeitraum 1881 bis 2010 ermittelt worden.

5.2.2 Klima-Wachstums-Beziehungen – Ergebnisse und Diskussion

Es zeigte sich ein enger Zusammenhang mit den klimatischen Gegebenheiten der Sommermonate. Bei ähnlichen Untersuchungen (STRUMIA 1999, WIMMER et al. 1999, KARANITSCH 2010) ist eine deutliche Abhängigkeit des Wachstums, bes. der Kiefer, vom Niederschlag im Zeitfenster von April bis Juli (tlw. auch August) nachgewiesen worden. Die Untersuchungen mit SchülerInnen mit Daten eines einzelnen Schwarzkiefernstandorts in Gänserndorf haben die höchsten Korrelationswerte zwischen dem Spätholzbreitenindex und der Niederschlagssumme des Zeitraums Juni-Juli ergeben.

Zieht man die im Rahmen des Projekts erstellen Chronologien heran, sieht man, dass im Weinviertel der Niederschlag in den Monaten Juni bis August den klimatisch gesteuerten Anteil des Zuwachses dominiert. Es zeigt sich aber auch ein deutlicher Unterschied zwischen den beiden Baumarten Kiefer und Eiche in der Bedeutung, die das Klima auf den Zuwachs ausübt.

Die in den Tabellen 5.01 und 5.02 dargestellten Ergebnisse beziehen sich alle auf homogenisierte Daten der Klimastation Hohe Warte. Von dieser Station liegt die größte Zahl an sehr langen Zeitreihen vor und zudem ist der Zusammenhang mit den Chronologien sowohl der Kiefer als auch der Eiche vergleichsweise besser, als das mit den Daten von Retz oder Brünn der Fall ist.



Tabelle 5.01: Ergebnisse der linearen Regressionsanalyse

R² für Temperatur, Niederschlag und Wasserbilanzen sowie ausgewählte Trockenheitsindizes (Summen oder Mittelwerte der Monate Juni, Juli, August) als unabhängige Variablen, Chronologien als abhängige Variable, Zeitraum 1881 bis 2010

	Kiefer Jahrringbreite		Kiefer Spätholz		Eiche Jahrringbreite		Eiche Spätholz	
	Spline	n. Exp.	Spline	n. Exp.	Spline	n. Exp.	Spline	n. Exp.
Temperatur	n. sig.	n. sig.	n. sig.	n. sig.	n. sig.	n. sig.	n. sig.	n. sig.
Niederschlag	0,2906	0,2934	0,4380	0,4312	0,1027	0,0903	0,1096	0,1037
WB Thornthwaite	0,2843	0,2805	0,4298	0,3932	0,0898	0,0867	0,0970	0,0996
WB Turc	0,2937	0,2874	0,4375	0,3898	0,1049	0,1167	0,1122	0,1274
Sahin	0,2833	0,2758	0,4244	0,3976	0,0935	0,0872	0,0999	0,0985
SPI	0,2903	0,2930	0,4376	0,4307	0,1026	0,0901	0,1095	0,1036
DeMartonne	0,2825	0,2825	0,4278	0,4086	0,0999	0,0895	0,1075	0,1040
PDSI 70 mm	0,2880	0,2919	0,2590	0,2356	0,0990	0,0898	0,1057	0,1028
PDSI 120 mm	0,2987	0,3041	0,2824	0,2618	0,0965	0,0845	0,1028	0,0969
PDSI 170 mm	0,3182	0,3289	0,3034	0,2871	0,1118	0,0970	0,1214	0,1138

Tabelle 5.02: Ergebnisse der multiplen linearen Regressionsanalyse

R² für Temperatur, Niederschlag und Wasserbilanzen sowie ausgewählte Trockenheitsindizes (Juni, Juli, August) als unabhängige Variablen, Chronologien als abhängige Variable, Zeitraum 1881 bis 2010

	Kiefer Jahrringbreite		Kiefer Spätholz		Eiche Jahrringbreite		Eiche Spätholz	
	Spline	n. Exp.	Spline	n. Exp.	Spline	n. Exp.	Spline	n. Exp.
Temperatur	n. sig.	n. sig.	n. sig.	n. sig.	n. sig.	n. sig.	n. sig.	n. sig.
Niederschlag	0,3242	0,3234	0,4783	0,4722	0,1057	0,0869	0,1259	0,1152
WB Thornthwaite	0,3095	0,3056	0,4618	0,4393	0,1008	0,0843	0,1215	0,1134
WB Turc	0,3072	0,2991	0,4368	0,3910	0,1064	0,1009	0,1239	0,1266
Sahin	0,2595	0,2533	0,4109	0,3901	0,0753	0,0633	0,0966	0,0909
SPI*	0,3242	0,3234	0,4783	0,4722	0,1057	0,0869	0,1259	0,1152
DeMartonne	0,3174	0,3146	0,4716	0,4551	0,1034	0,0863	0,1240	0,1151
PDSI 70 mm	0,3509	0,3550	0,4207	0,3957	0,1026	0,0735	0,0885	0,0868
PDSI 120 mm	0,3758	0,3780	0,4541	0,4259	0,0803	0,0705	0,0861	0,0819
PDSI 170 mm	0,3843	0,3907	0,4539	0,4287	0,0928	0,0782	0,1019	0,0943

* Beim SPI wurde die auf den angegebenen Bezugszeitraum bezogene Abweichung des Monatsniederschlags für die Einzelmonate Juni bis August herangezogen.

Die Ergebnisse der Korrelationsrechnung (Tabellen 5.01 und 5.02) zeigen die Bedeutung, die der Wasserhaushalt für das Wachstum der Kiefer hat. Verschiedene Arten, die PET zu berechnen, wirken sich ebenso wenig wirklich gravierend auf die Güte der Zusammenhänge aus wie vollkommen unterschiedliche Wege, den Niederschlag in diversen Zusammenhängen mit anderen Größen als Maßzahlen für die Trockenheit in den Sommermonaten heranzuziehen. Der PDSI zeigt sich nur bei der Ringbreite den anderen Indikatoren leicht überlegen. Beim Spätholz liegen die allermeisten Indikatoren gleichauf. Bedeutsam ist auch, dass die Art der Altersbereinigung einen gewissen Einfluss auf die Güte des Zusammenhangs anzeigt: Die Chronologien, die aus mit einem Spline indexierten Proben bestehen, weisen beim Spätholz einen besseren Zusammenhang mit den Indikatoren auf. Bei der Ringbreite gibt es diesen Unterschied nicht.

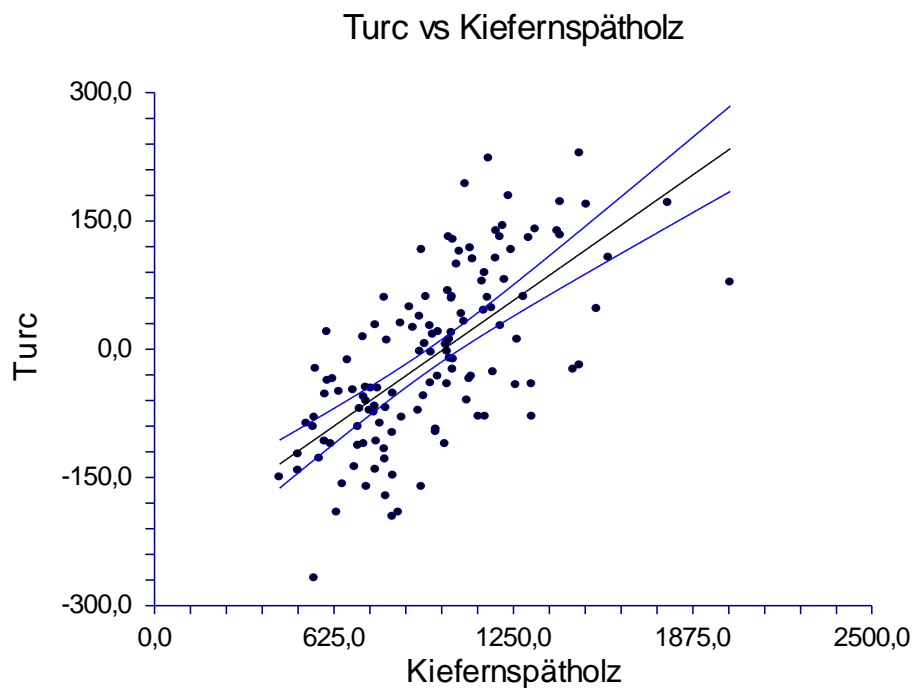


Abbildung 5.01: Lineare Regression Index nach TURC – Chronologie Kiefernspätholz
Zeitraum 1881 bis 2010

Die Übereinstimmung der verwendeten Berechnungsarten, um die Trockenheit im hier betrachteten Zeitfenster der Sommermonate aufzudecken, erfüllt die Erwartungen. In den Indizes bzw. Berechnungen der potenziellen Evapotranspiration stecken verschiedenste Klimavariablen (siehe Kapitel 4). Dennoch stimmen sie größtenteils überein. Die sehr gute Übereinstimmung des Wachstums mit den diversen Indizes ist deutlich am Bsp. der Kiefern-Spät-holzbreitenchronologie und der auf den Zeitraum 1951-80 standardisierten Wasserbilanz, in



der die PET nach TURC berechnet wurde, zu sehen (Abb. 5.01 und 5.02). Der Korrelationskoeffizient beträgt 0,6610 und damit liegt der erklärte Varianzanteil bei etwa 43,7%. Die höchsten erzielten erklärten Varianzen liegen mit knapp 48% nicht weit vom nach HUGHES (2002) mit Jahrringen als Klimaproxy maximal erreichbaren Wert von 60% entfernt.

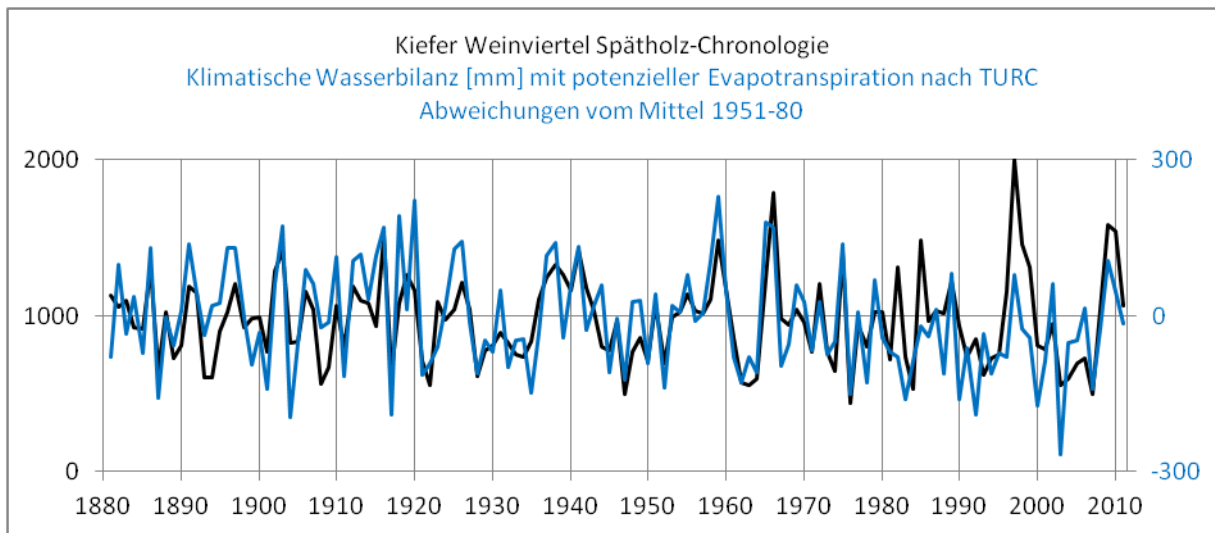


Abbildung 5.02: Spätholz-Chronologie der Kiefer und TURC Index (Abweichungen vom Mittel 1951-80) für den Zeitraum 1881 bis 2011

Die Idee, Jahrringe geeigneter Baumarten heranzuziehen, um die Trockenheit im Weinviertel in einem gewissen Zeitfenster des Jahres zu erkunden, führte im Rahmen dieser Untersuchung vor Augen, welches Potenzial in Universitäts-Schulkooperationen liegt. Es zeigte sich, wie sehr der jährliche Zuwachs der Kiefer durch die Trockenheit des hier herrschenden Klimas gesteuert wird. Überraschenderweise scheinen die Eichen dem zu widersprechen. Tatsache ist aber, dass die Auswahl der Standorte für die Anpflanzung der Eichen bereits die Trockenheit des Raumes berücksichtigt, indem eben eher feuchte Standorte dafür herangezogen werden. Einmal mehr zeigt sich hierin die Wichtigkeit der richtigen Standortwahl in der Dendroklimatologie. Auch in einem klimatisch an sich trockenem Gebiet gibt es durch die Boden- bzw. Grundwasserverhältnisse Feuchtstandorte. Demgemäß zeigen die zwei Baumarten, die in dieser Untersuchung herangezogen wurden, die Wichtigkeit der genauen Standortanalyse auf.

Tatsächlich sind v. a. in der Eichenchronologie nicht nur Bäume von Trockenstandorten enthalten. Die erklärte Varianz ließe sich durch den Ausschluss (zu) feuchter Standorte noch verbessern. Allerdings muss im Hinblick der Verwendung der Chronologien zu Rekonstruktionszwecken auch darauf hingewiesen werden, dass die Standortbedingungen der historischen und archäologischen Hölzer nicht bekannt ist. Es ist unwahrscheinlich, dass für Bauholz in



der Vergangenheit bevorzugt Eichen von Trockenstandorten herangezogen worden ist. Eine Einschränkung der Auswahl der lebenden Bäume auf die trockensten Standorte könnte daher zu einer Überschätzung der erklärten Varianz der Rekonstruktion führen und somit eine nicht vorhandene Präzision „vortäuschen“.

Der erste Versuch einer Niederschlagsrekonstruktion mit einer vorläufigen Version der Chronologien wurde bereits bei der Projektabschlussveranstaltung am 16. April vorgestellt. Ein Fachaufsatz in einer wissenschaftlichen Zeitschrift ist im Moment in Vorbereitung.

6. Weiserjahanalyse

6.1 Weiserjahre an einzelnen Standorten

MAURER et al. (2012) gingen im Rahmen ihrer Bachelorarbeit der Frage nach, welche meteorologischen Einflussfaktoren unter Berücksichtigung von Bodenwasserspeicherkapazität und Baumart zu einem schmalen Jahrring bzw. einer kleinen Spätholzbreite führen.

Dazu erfolgte zunächst an ausgewählten Waldstandorten von Kiefer und Eiche (siehe Tabelle 6.01) eine Weiserjahanalyse.

Tabelle 6.01: Probenstandorte für Weiserjahanalyse
Koordinaten und Höhe aus Google Earth, 16. Jänner 2012

Standort	Code	Koordinaten		Höhe	Baumart
		Nord	Ost		
Straßhof an der Nordbahn	Stn	48° 19' 08"	16° 37' 23"	167 m	Schwarzkiefer <i>Pinus nigra</i>
Baumgarten an der March	Bau	48° 18' 53"	16° 53' 08"	143 m	Eiche <i>Quercus robur</i> und <i>Q. petraea</i>
Eichhorn	Eic	48° 32' 43"	16° 50' 01"	190 m	Eiche <i>Q. robur</i> und <i>Q. petraea</i> Schwarzkiefer <i>P. nigra</i>
Staatzer Felsen	Stf	48° 40' 36"	16° 29' 23"	282 m	Schwarzkiefer <i>P. nigra</i>
Enzersdorf im Thale	Ent	48° 33' 47"	16° 13' 48"	297 m	Waldkiefer <i>Pinus sylvestris</i>
Hochleithenwald	Hoc	48° 24' 54"	16° 35' 41"	256 m	Eiche <i>Q. robur</i> und <i>Q. cerris</i>



Weiserjahre oder auch Zeigerjahre sind „zeitgleiche Ereignisjahre, z.B. auffallende Jahrringe, fehlende Jahrringe, Reaktionsholz, traumatische Zonen, die bei vielen Individuen innerhalb einer Untersuchungseinheit auftreten.“ (KAENNEL und SCHWEINGRUBER 1995, Seite 259)






In der Bachelor-Arbeit (MAURER et al. 2012) wurden Weiserjahre für die Periode 1948 bis 2011 wie folgt definiert: Den Indexwerten für Jahrring- und Spätholzbreite (Indexierungsvariante 00, siehe Kapitel 3.1) der Einzelbäume an jedem Standort wird für jedes Kalenderjahr ein Rang zugeordnet (kleinster Wert einer Zeitreihe = Rang 1). Aus den Rängen aller Bäume eines Standorts wird für jedes Jahr der Median berechnet. Ein sehr kleiner Median bedeutet sehr geringe Zuwächse für viele Bäume und somit ein Weiserjahr. Grafisch veranschaulicht ist das in den Abbildungen 6.01 und 6.02. Die Farbmarkierung entspricht dem Betrag des Rangs im jeweiligen Kalenderjahr (siehe Legende). Taucht also in einer Zeile viel rot auf, handelt es sich um ein Weiserjahr. Die Unterschiede zwischen den Baumarten und den Standorten lassen sich so auf einen Blick erfassen.

Besonders häufig sind Weiserjahre in den 1970er-Jahren. Der Unterschied zwischen den Baumarten wird besonders deutlich am Standort Eichhorn (Eic), wo sowohl Eiche als auch Kiefer vorkommen.

Erste klimatische Auswertungen – Vergleiche von Weiser- mit durchschnittlichen Jahren wurden ebenfalls im Rahmen der Bachelor-Arbeit durchgeführt. Die Ergebnisse lassen darauf schließen, dass die Wasserverfügbarkeit der entscheidende Faktor für das Auftreten eines Weiserjahres ist.

In einem weiteren Schritt wurden die fertigen Weinviertel-Chronologien (Kapitel 3.5) herangezogen, um die Ergebnisse von den Standorten auf regionaler Ebene zu überprüfen.

Legende zu den Abbildungen 6.01 und 6.02

	< 10%
	10 – 25%
	> 25 – < 75%
	75 – 90%
	> 90%



	BauQS	HocQP	EicQS	EicPN	EntPS	StfPN	StnPN
1948							
1949							
1950							
1951							
1952							
1953							
1954							
1955							
1956							
1957							
1958							
1959							
1960							
1961							
1962							
1963							
1964							
1965							
1966							
1967							
1968							
1969							
1970							
1971							
1972							
1973							
1974							
1975							
1976							
1977							
1978							
1979							
1980							
1981							
1982							
1983							
1984							
1985							
1986							
1987							
1988							
1989							
1990							
1991							
1992							
1993							
1994							
1995							
1996							
1997							
1998							
1999							
2000							
2001							
2002							
2003							
2004							
2005							
2006							
2007							
2008							
2009							
2010							
2011							

Abbildung 6.01: Ergebnistabelle Weiserjahanalyse Jahrringbreite
nach MAURER et al. 2012



	BauQS	HocQP	EicQS	EicPN	EntPS	StfPN	StnPN
1948							
1949							
1950							
1951							
1952							
1953							
1954							
1955							
1956							
1957							
1958							
1959							
1960							
1961							
1962							
1963							
1964							
1965							
1966							
1967							
1968							
1969							
1970							
1971							
1972							
1973							
1974							
1975							
1976							
1977							
1978							
1979							
1980							
1981							
1982							
1983							
1984							
1985							
1986							
1987							
1988							
1989							
1990							
1991							
1992							
1993							
1994							
1995							
1996							
1997							
1998							
1999							
2000							
2001							
2002							
2003							
2004							
2005							
2006							
2007							
2008							
2009							
2010							
2011							

Abbildung 6.02: Ergebnistabelle Weiserjahranalyse Spätholzbreite
nach MAURER et al. 2012

6.2 Weiserjahre auf regionaler Ebene

Um die Chronologien klimatisch auszuwerten, wurden sie zunächst gegen verschiedene Trockenheitsmaße geplottet. Als Klimadaten wurde die HISTALP-Zeitreihe von Wien Hohe Warte verwendet. Hier liegen Daten von 1841 – 2009 vor. Zeigerjahre sind für diese Analyse als jene Jahre definiert, in denen der jeweilige Index (Jahringbreite bzw. Spätholzbreite, Indexierungsvariante 30 – siehe Kapitel 3.1) der Chronologien von Eiche und Kiefer kleiner oder gleich 750 – also 75% vom Mittelwert 1000 – ist. Die Abbildungen 6.03 und 6.04 stellen den Zusammenhang zwischen Indexwert der Chronologien, dem PDSI (Bodenspeicher 120 mm) und der Abweichung von der mittleren akkumulierten klimatischen Wasserbilanz der Referenzperiode 1971 – 2000 dar. Für die akkumulierte klimatische Wasserbilanz werden die nPET-Werte von September bis Oktober des nächsten Jahres aufsummiert. Die potenzielle Verdunstung wurde dabei mit der korrigierten THORNTHWAITE-Methode (Kapitel 4.3.4) abgeschätzt. Die Weiserjahre sind in den Abbildungen mit einem Symbol markiert. Der Verlauf des PDSI ähnelt dem Verlauf der Indexwerte. In der untersten Kurve der Abbildungen ist für jedes Jahr der Verlauf vom September des Vorjahres bis Oktober des jeweiligen Jahres als eigene Kurve dargestellt. In den Weiserjahren ist die Abweichung der akkumulierten KWB vom Mittel bzw. die Anomalie im Frühjahr fast immer negativ.

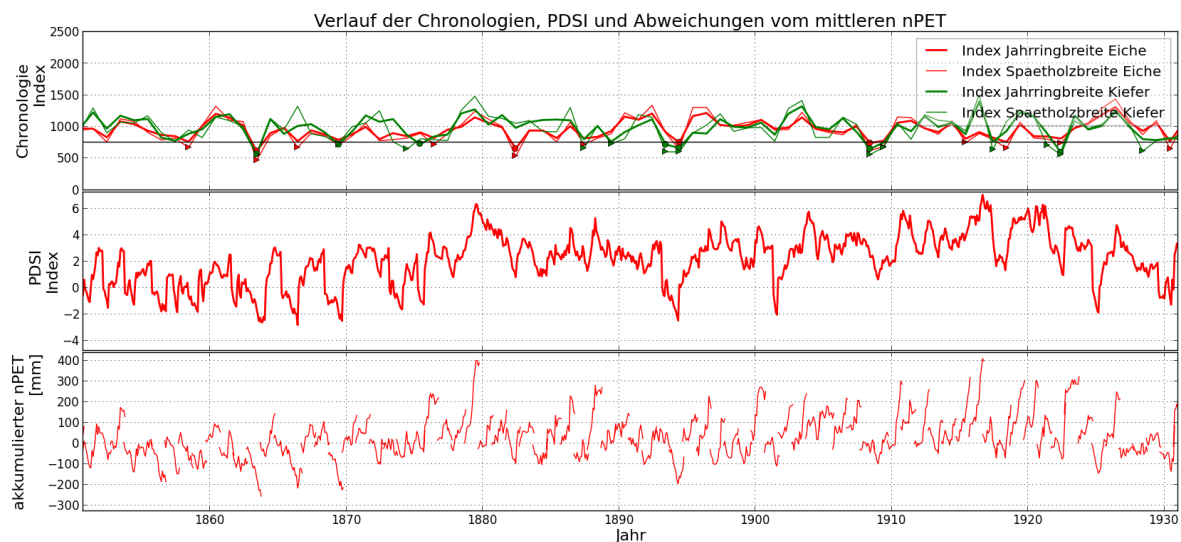


Abbildung 6.03: Chronologie Eiche und Kiefer (oben), PDSI (Mitte), Anomalie akkumulierte nPET (unten) 1850 – 1930

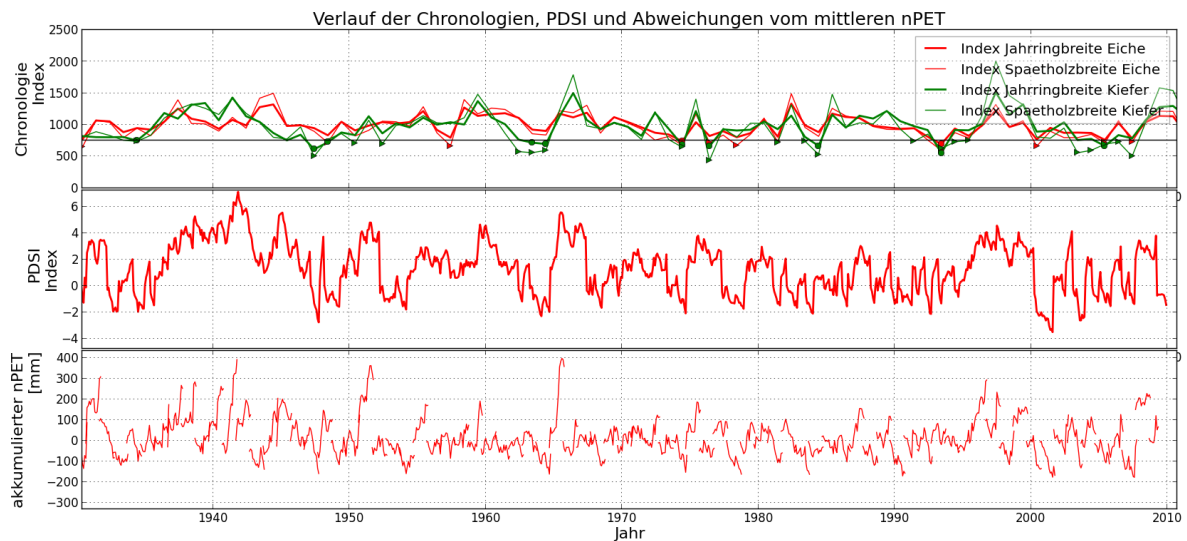


Abbildung 6.04: Chronologie Eiche und Kiefer (oben), PDSI (Mitte), Anomalie akkumulierte nPET (unten) 1930 – 2010

6.2.1 Weiserjahre Jahrringbreite

Als nächster Schritt wurden die Monatsmittel von klimatischer Wasserbilanz, Z-Index und PDSI der Zeigerjahre mit den Monatsmitteln der Klimanormalperiode 1971 – 2000 miteinander verglichen. Die Monatsmittel wurden jeweils von September des Vorjahres bis Oktober des Zeigerjahres gebildet.

Für Eichen stehen zur statistischen Analyse der Jahrringbreite seit 1841 25 Zeigerjahre zur Verfügung, für Kiefern sind es 35. Der Vergleich zwischen dem mittleren Verlauf der KWB von 1971 – 2000 und dem der Zeigerjahre deutet auf einen starken Zusammenhang mit dem verfügbaren Wasser hin. Für schmale Jahrringe bei der Kiefer sind in erster Linie geringe Niederschläge von März bis August verantwortlich. Der Niederschlag im Winter ist im Mittel überdurchschnittlich, der Boden zu Beginn der Vegetationsperiode also feucht. Bei der Eiche gehen Zeigerjahren im Mittel ein trockener Herbst und Winter voraus und es herrscht bis Juni ein trockenes Regime. Erhöhte Verdunstung spielt sowohl bei der Kiefer als auch der Eiche eine untergeordnete Rolle. Die Abbildung 6.05 zeigt, dass Differenzen zwischen der mittleren nPET (1971-2000) und dem mittleren nPET in den Zeigerjahren zum größten Teil durch Differenzen im Niederschlag bedingt werden.

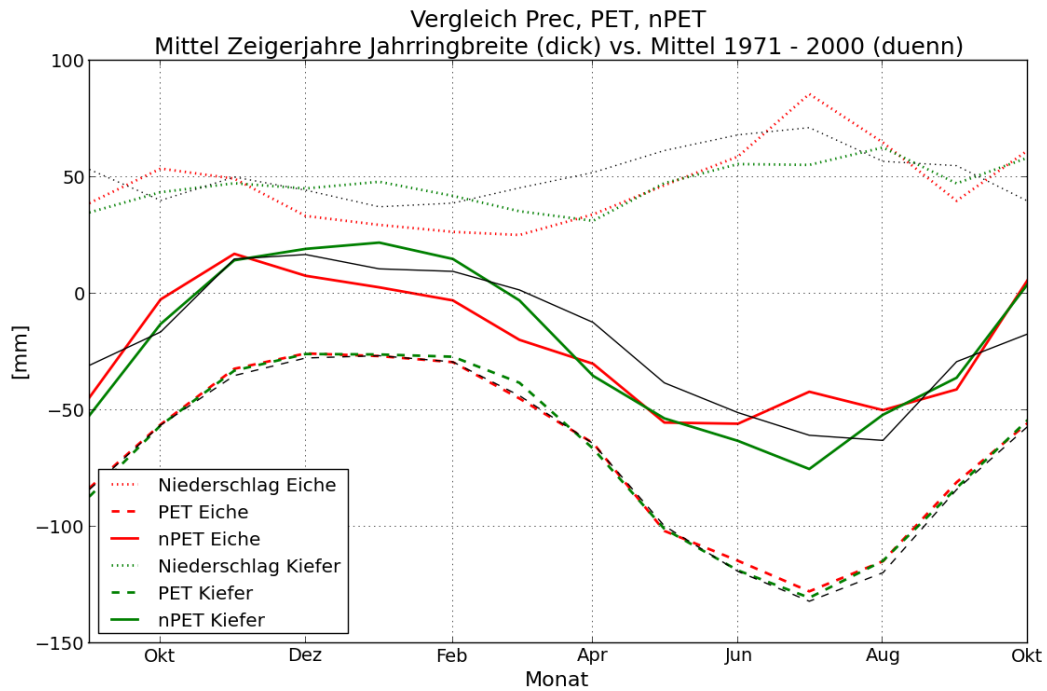


Abbildung 6.05: Vergleich Monatsmittel von Niederschlag, PET und nPET für Zeigerjahre der Jahrringbreite und Periode 1971 – 2000, Wien Hohe Warte

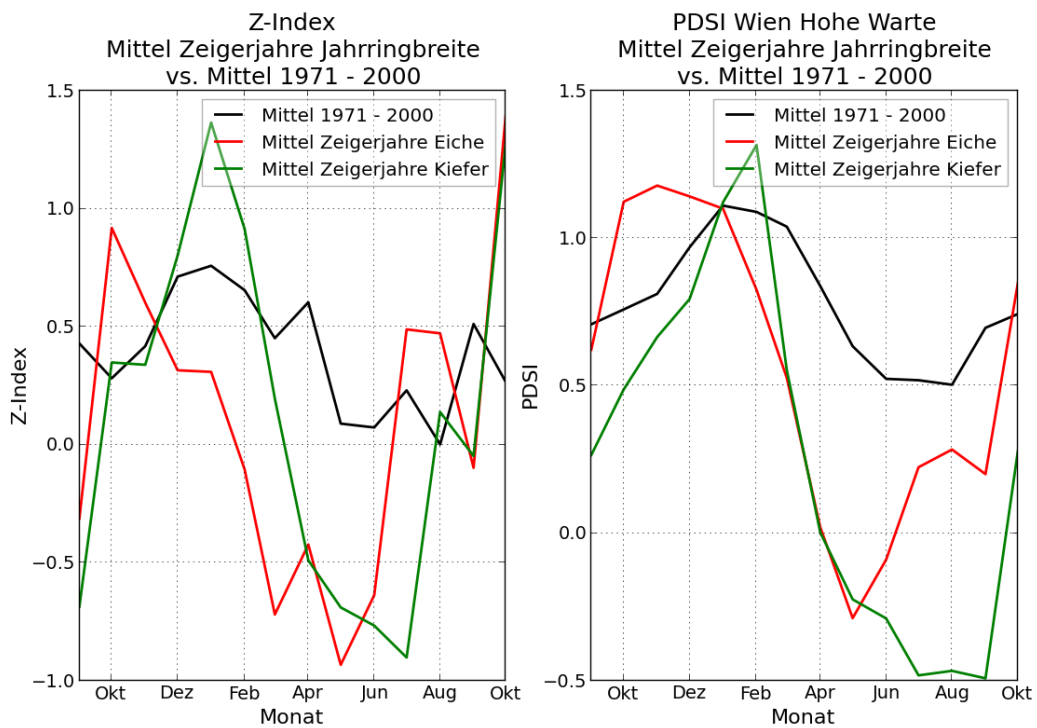


Abbildung 6.06: Vergleich Monatsmittel von Z-Index und PDSI (Bodenwasserspeicher 120 mm) für Zeigerjahre der Jahrringbreite und Periode 1971 – 2000; Wien Hohe Warte

Die Auswertungen der mittleren Zeigerjahre für Jahrringbreite für den PDSI und Z-Index zeigen ein ähnliches Bild wie für nPET (Abb. 6.06). Der Z-Index unterscheidet sich vom PDSI durch höhere Schwankungen und schnellere Änderung, da er eine Reaktionszeit von einem Monat hat und der PDSI auf Dürre- und Feuchteperioden von mehreren Monaten reagiert. Aber auch hier folgen bei der Kiefer in Jahren mit geringer Jahrringbreite ein unterdurchschnittlich trockener Frühling und Sommer (März bis August) einem feuchten Winter. Bei der Eiche beginnt die Trockenheit bereits im Spätherbst und endet im Frühsommer.

6.2.2 Weiserjahre Spätholzbreite

Die Anzahl der Weiserjahre für Spätholz beträgt bei der Kiefer 18, bei der Eiche nur sechs. Jahre mit geringer Spätholzbreite zeigen bei der klimatischen Wasserbilanz sowohl bei Kiefer als auch Eiche im Durchschnitt einen normalen Jahresverlauf im Herbst- und Winterniederschlag (Abb. 6.07). Bei der Eiche herrscht in den Zeigerjahren für Spätholzbreite im Juni ein nPET-Defizit von ca. 20 mm gegenüber der Periode 1971-2000. Der Juli ist normal und der August sogar überdurchschnittlich feucht. Bei der Kiefer gibt es im Mittel im Juni ein Defizit von ca. 15 mm und von 30 mm im Juli; der restliche Jahresverlauf ist normal feucht.

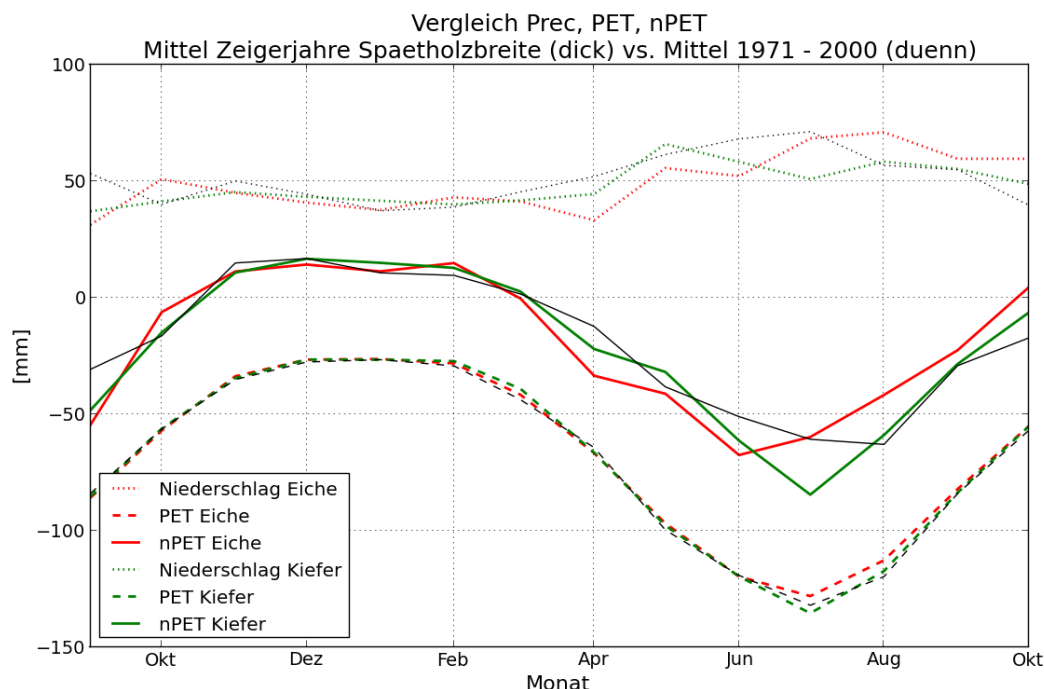


Abbildung 6.07: Vergleich Monatsmittel von Niederschlag, PET und nPET für Zeigerjahre der Spätholzbreite und Periode 1971 - 2000; Wien Hohe Warte

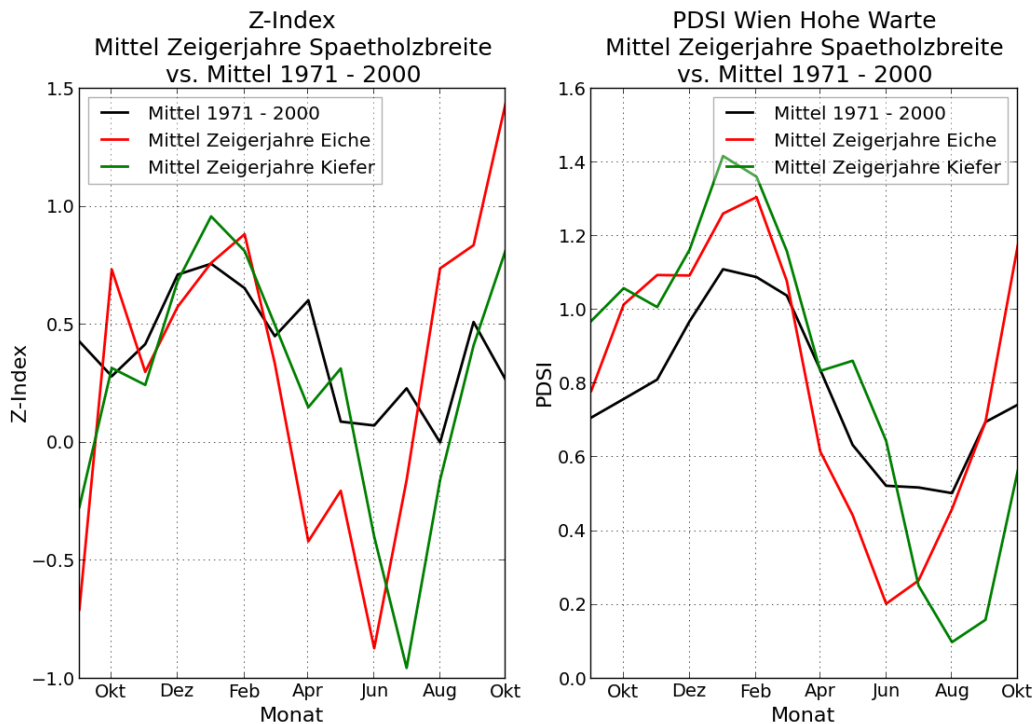


Abbildung 6.08: Vergleich Monatsmittel von Z-Index und PDSI (Bodenwasserspeicher 120 mm) für Zeigerjahre der Spätholzbreite und Periode 1971 – 2000; Wien Hohe Warte

Der Z-Index zeigt in den Zeigerjahren auch ein Minimum bei der Eiche im Juni und bei der Kiefer im Juli (Abb. 6.08). Der PDSI ist um ein Monat verschoben, weil er langsamer reagiert. Der Niederschlag im Sommer ist also relevant für die Entwicklung des Spätholzes.

Die geringere Anzahl an Weiserjahren der Eiche im Vergleich zur Kiefer weist darauf hin, dass die Eiche unter denselben klimatischen Bedingungen mit geringeren Zuwachseinbußen reagiert. Das liegt wie schon im Kapitel 5.2 angedeutet, sowohl an den Standorten, an denen lebende Eichen beprobt wurden, als auch an der anderen Physiologie der Eiche. Generell ist die Eiche nicht so klimasensitiv wie die Kiefer.

6.3 Weiserjahre und Trockentage

Ähnlich wie für die klimatische Wasserbilanz und den PDSI wurde auf Basis der Wahrscheinlichkeit des Auftretens von Trockentagen (Definition der Trockentage Kapitel 4.1) untersucht, ob sich bei den Weiserjahren der Kiefer andere Verläufe der Trockenperioden zeigen als im langjährigen Mittel. Ab 1948 treten bei der Kiefer (Indexierungsvariante 30 bei Be-



trachtung der Jahrringbreiten acht Weiserjahre auf (definiert als Chronologie-Index ≤ 750). Für das Spätholz traten in derselben Zeit 19 Weiserjahre auf (siehe Tab 6.02).

Tabelle 6.02: Weiserjahre der Kiefernchronologien ab 1948 (Jahrringbreite = rw, Spätholz = lw)

	1948	1950	1952	1962	1963	1964	1974	1976	1981	1983	1984	1991	1993	1994	1995	2003	2004	2005	2006	2007
PSrw																				
PSlw																				

Für die Weiserjahre der Jahrringbreiten (Abb. 6.09) folgen nach einem feuchteren Jänner drei auffällige Häufungen der Trockentage von Ende Februar bis in den Mai. Auch in den Sommermonaten treten dabei im Juli mehr Trockentage auf als im Mittel. Diese Trockenperioden können zu Wassermangel und somit zu einer Einschränkung der Photosyntheseleistung des Baumes führen.

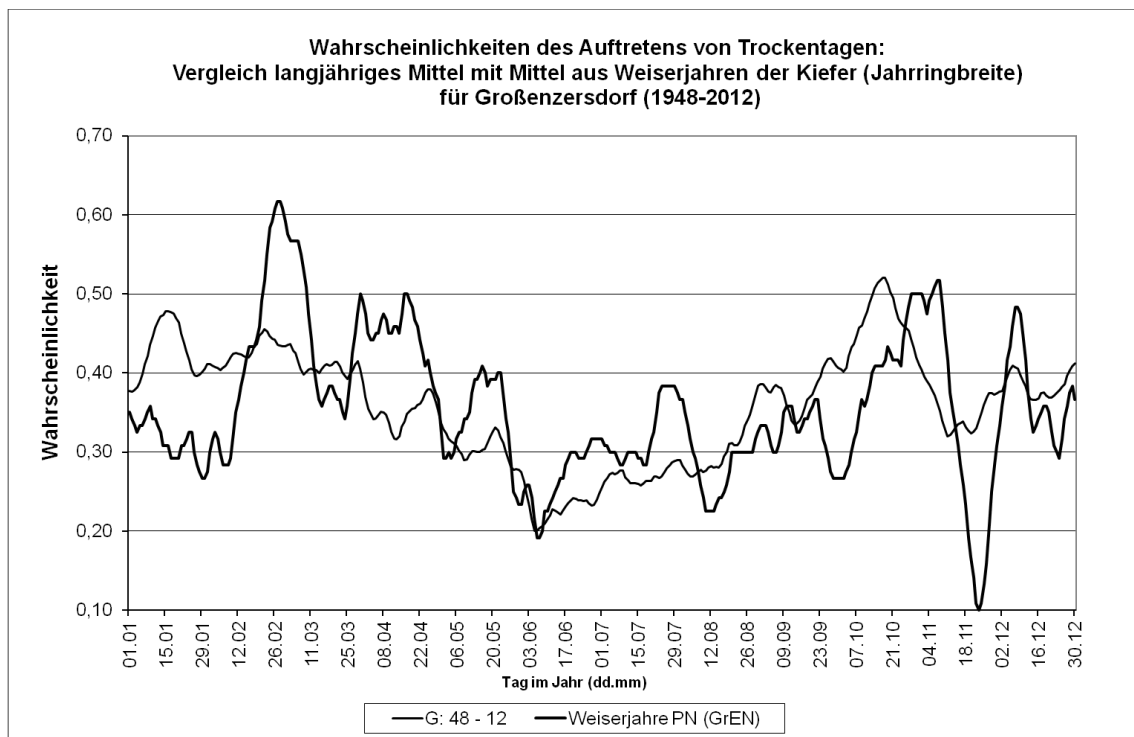


Abbildung 6.09: Vergleich der Trockentage in den gemittelten Weiserjahren für die Kiefer (Jahrringbreite) mit dem langjährigen Mittel von Großenzersdorf (1948-2012)

Die Weiserjahre für das Spätholz zeigen nicht so starke Signale (Abb. 6.10). Auffallend ist die Häufung der Tockentage im Juli. Zu dieser Zeit bildet der Baum normalerweise schon Spät-

holzzellen und daher ist die Wasserversorgung dieses Monats hier auch von zentraler Bedeutung (siehe auch Kapitel 5). Vergleicht man die beiden Abbildungen, sieht man auch, dass in Spätholz-Weiserjahren die Wahrscheinlichkeit für Trockenperioden im Juli höher ist als in Jahrringbreiten-Weiserjahren, die Monate davor spielen offenbar keine so große Rolle.

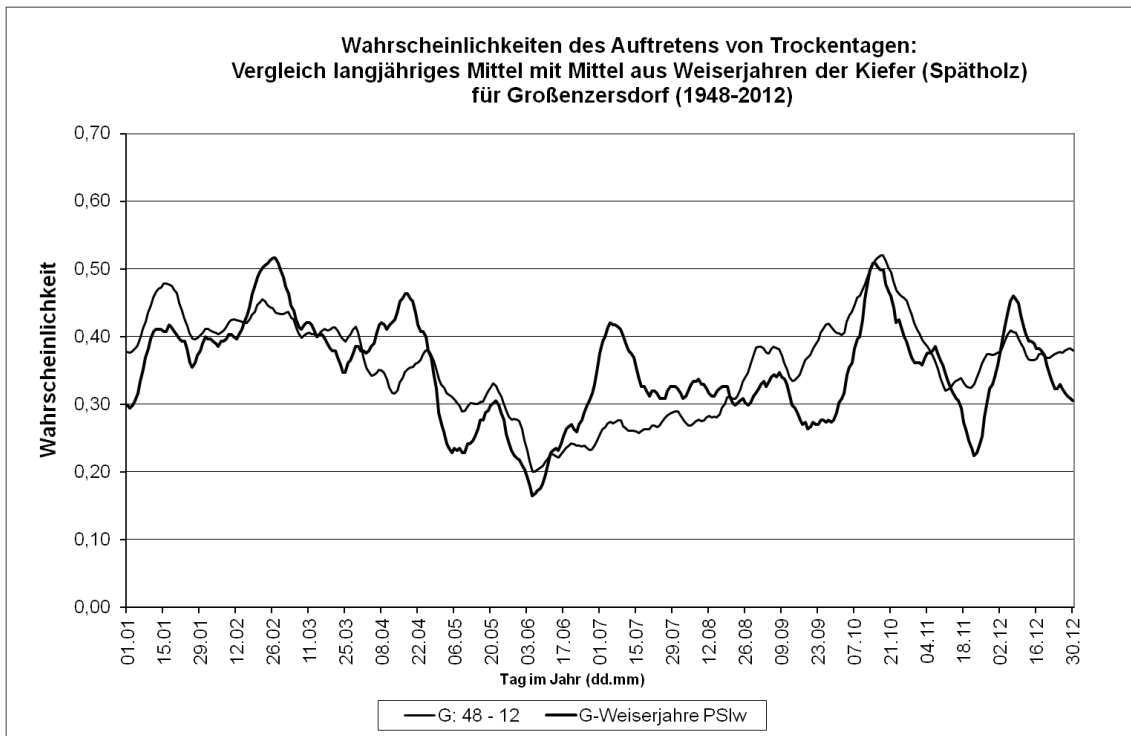


Abbildung 6.10: Vergleich der Trockentage in den gemittelten Weiserjahren für die Kiefer (Spätholz) mit dem langjährigen Mittel von Großenzersdorf (1948-2012)

Interessant ist der auffallend feuchtere September in den Weiserjahren verglichen mit dem Durchschnitt. Ein feuchter September kann sich eigentlich schon noch positiv auf den Zuwachs des Baumes auswirken. Das scheint in Weiserjahren aber nicht die mangelnde Wasserversorgung der Monate davor zu kompensieren.

7. Meteorologische Messungen

Für die meteorologischen Daten der Wetterstation in der LFS Mistelbach wurde ein Computerprogramm zur Übertragung der Daten übers Internet erstellt und die aktuellen Mess-



daten während der Projektlaufzeit auf der Projekthomepage in Echtzeit als Informationsquelle für SchülerInnen und LehrerInnen angezeigt.

SchülerInnen beider beteiligten Schulen besuchten im Rahmen einer Exkursion die eigens für das Projekt eingerichteten Messstationen im Weingarten und die Wetterstation der LFS. Sie setzten sich dabei damit auseinander, wie meteorologische Messungen erfolgen und wie daraus z.B. Klimainformationen gewonnen werden. Weiters besuchten die SchülerInnen die Luftgütemessstation des Landes NÖ. Dort erfuhren sie von den Betreibern, welche Werte erfasst werden und wie die Einhaltung der Schadstoffgrenzwerte laut Immissionsschutzgesetz Luft mit dem Messsystem NUMBIS (www.numbis.at) überwacht wird.

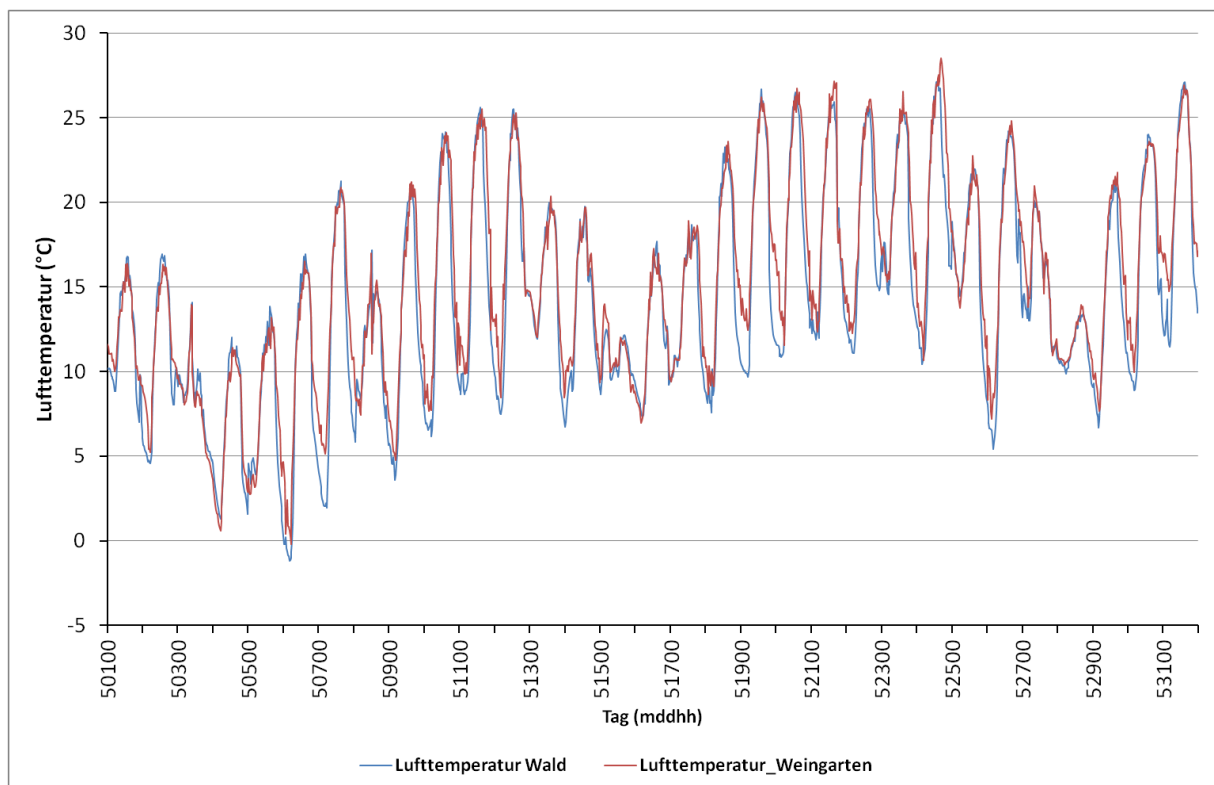


Abbildung 7.01: Messstation Wald und Weingarten: Lufttemperatur Mai 2011

Ein ursprünglicher Plan für das Projekt war die wöchentliche Dokumentation des Pflanzenwachstums (Baum, Weinstock) durch Fotos über eine Vegetationsperiode, die anschließend zu aktuellen meteorologischen Messungen in Bezug gesetzt werden sollten. Dazu wurden im Zeitraum 21. März 2011 bis 2. April 2012 im Weingarten hinter der LFS und in einem Wald in Hüttendorf meteorologische Messungen durchgeführt. Die Messsensoren sammelten jeweils die halbstündlichen Werte der Luft- und Bodentemperatur sowie der relativen Luftfeuchtigkeit und des Bodenwassergehalts. Leider kamen die Pflanzenbeobachtungen durch Schüler-



Innen nicht zustande. Erste Messdaten wurden mit den SchülerInnen jedoch im Rahmen der o. g. Exkursion diskutiert und werden hier exemplarisch für den Mai 2011 dargestellt, da sie in die weiteren Auswertungen nicht einbezogen wurden.

Mit den SchülerInnen wurde z.B. besprochen, dass die Lufttemperatur an den beiden Messorten kaum Unterschiede zeigt (Abb. 7.01), die Bodentemperatur jedoch im Weingarten deutlich größere Tagesschwankungen hat als im Wald (Abb. 7.02).

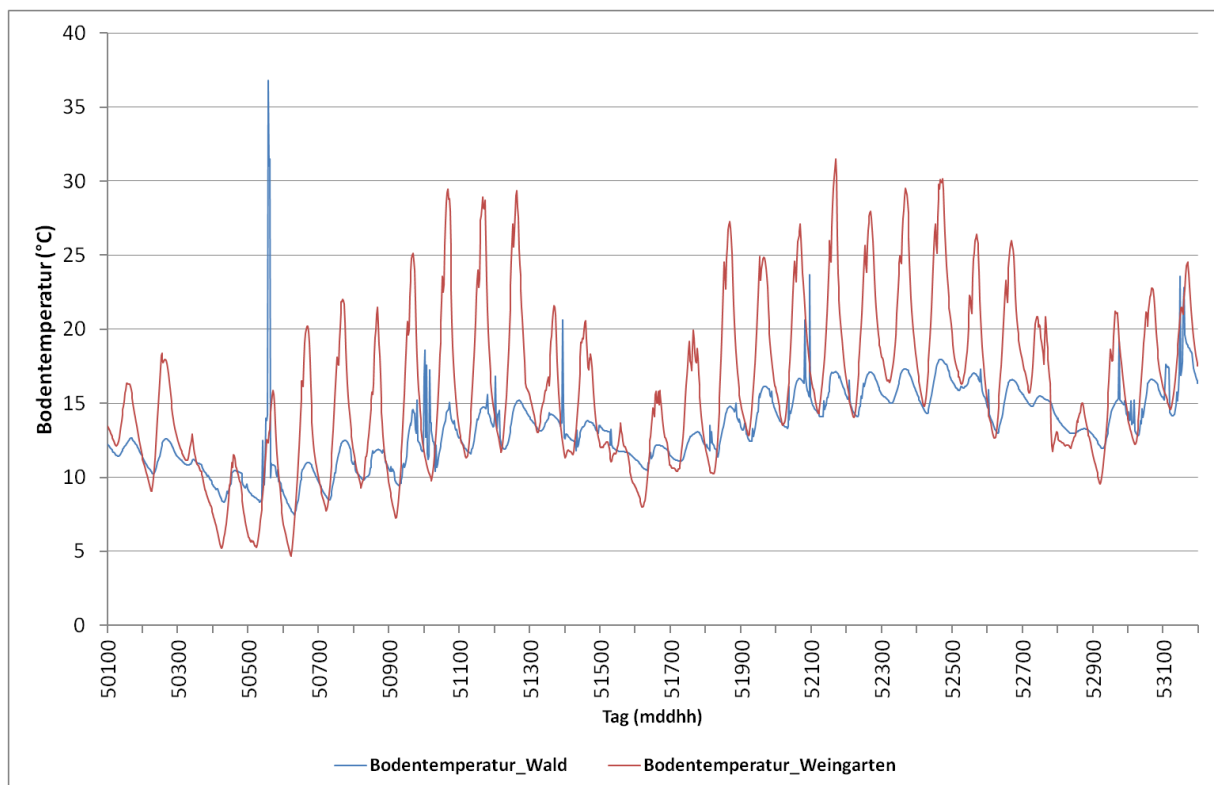


Abbildung 7.02: Messstation Wald und Weingarten: Bodentemperatur Mai 2011

Aus Abb. 7.03 kann man erkennen, dass der Bodenwassergehalt nicht bei jedem registrierten Niederschlag automatisch ansteigen muss. Dies kann damit zusammenhängen, dass der Niederschlag zu gering ist und vom Blätterdach im Wald zurückgehalten wird, oder es kann auch ein lokaler Niederschlag sein, der nur an einem der beiden Orte auftritt (z.B. 15. Mai), oder an keinem der beiden Messorte, jedoch an der ZAMG-Messstation in Mistelbach (z.B. 21. Mai). Intensivere oder länger andauernde Niederschläge zeigen sich jedoch an beiden Messorten in einer Steigerung des Bodenwassergehalts (z.B. 27./28. Mai).

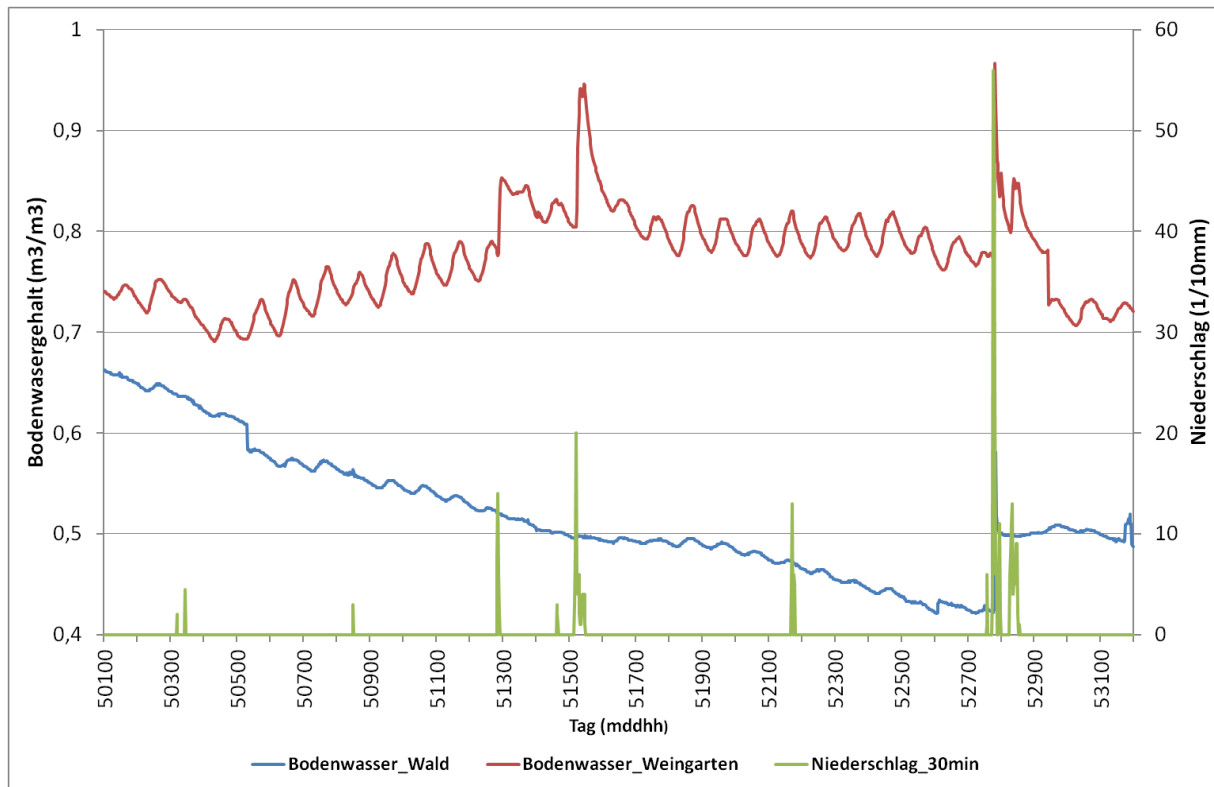


Abbildung 7.03: Messstation Wald und Weingarten: Bodenwassergehalt, Niederschlag (Daten ZAMG) Mai 2011

8. Zukunftsszenarien und Trockenheit

Die aktuelle Klimaentwicklung lässt sich nur durch die Kombination von natürlichen und anthropogenen Einflüssen auf das Klimasystem erklären. Wie sich das Klima in den verschiedenen Regionen entwickeln kann, wird versucht, mittels regionaler Klimamodelle auf Basis verschiedener Emissionsszenarien zu berechnen. Regionale Klimamodelle betrachten ähnlich wie mit einer Lupe die Auswirkungen der Ergebnisse der globalen Modelle auf der regionalen Ebene.

Im Projekt wurde einerseits das Thema *Klimawandel und Klimaszenarien* mit den SchülerInnen des BORG und der LFS Mistelbach in Workshops diskutiert. Andererseits wurden Ergebnisse regionaler Klimamodelle untersucht, um Hinweise auf die mögliche zukünftige Entwicklung des Baumwachstums zu erhalten.



8.1 SchülerInnen setzen sich mit dem Klimawandel auseinander

Im Workshop „Klimawandel und Landwirtschaft“ befassten sich die LFS-SchülerInnen mit den Auswirkungen des Klimawandels auf die Landwirtschaft und den Möglichkeiten, damit umzugehen. Die Ergebnisse wurden auf Postern dokumentiert.

Im Workshop „Klimawandel vor der Haustür“ setzten sich SchülerInnen des BORG speziell auch mit dem Thema Anpassung an den Klimawandel auseinander. Dabei ging es neben den Grundlagen insbesondere um von den SchülerInnen selbst ausgewählte Themen aus dem aktuellen Entwurf für eine Anpassungsstrategie für Österreich (KRONBERGER et al. 2010). Vier SchülerInnengruppen befassten sich dabei mit den Themen: Gesundheit, Elektrizitätswirtschaft – erneuerbare Energien, Wasserwirtschaft – Hochwasser und natürliche Ökosysteme – Wald. Die SchülerInnen interviewten Personen aus ihrem Umfeld, die mit diesen Themen beruflich befasst sind. Diese Personen waren Rettungsfahrer, Mitarbeiter eines Energieversorgungsunternehmens, Feuerwehrleute und Förster. Die Ergebnisse wurden als Poster bzw. Film dokumentiert.

Eine der SchülerInnen des BORG, Jacqueline Keintzel, absolvierte in den Sommerferien 2012 ein Praktikum an der BOKU, in dem sie u.a. drei verschiedene Klimaszenarien auf die Entwicklung der Trockenperioden für vier ausgewählte Stationen im und rund ums Weinviertel untersuchte. Ihre Analysen flossen in die Kapitel 4.1 und 6.3 ein und bilden auch die Basis für die Ergebnisse aus Kapitel 8.3.

8.2 Allgemeine Klimaentwicklung

Für die Analyse in diesem Projekt wurden aus den drei in Kapitel 2 beschriebenen Modellen fiktive mögliche Zeitreihen von verschiedenen Parametern analysiert. Die täglichen Zeitreihen der Klimamodelle lassen sich zwar nicht als konkrete Prognosen für das zukünftige Klima deuten, sie lassen jedoch eine statistische Aussage über Mittelwerte und Auftretshäufigkeiten bestimmter Phänomene und deren Veränderung zu.

Alle verwendeten Modelle zeigen einen positiven Temperaturtrend (Abb. 8.01). 2050 beträgt die Temperaturerhöhung bei allen drei Modellen rund 1,5 °C, bis zum Ende des Jahrhunderts



rund 3 °C. Dies hat Auswirkungen auf die Verdunstung. Selbst wenn sich der Niederschlag also nicht ändert, steht durch erhöhte Evapotranspiration weniger Wasser zu Verfügung.

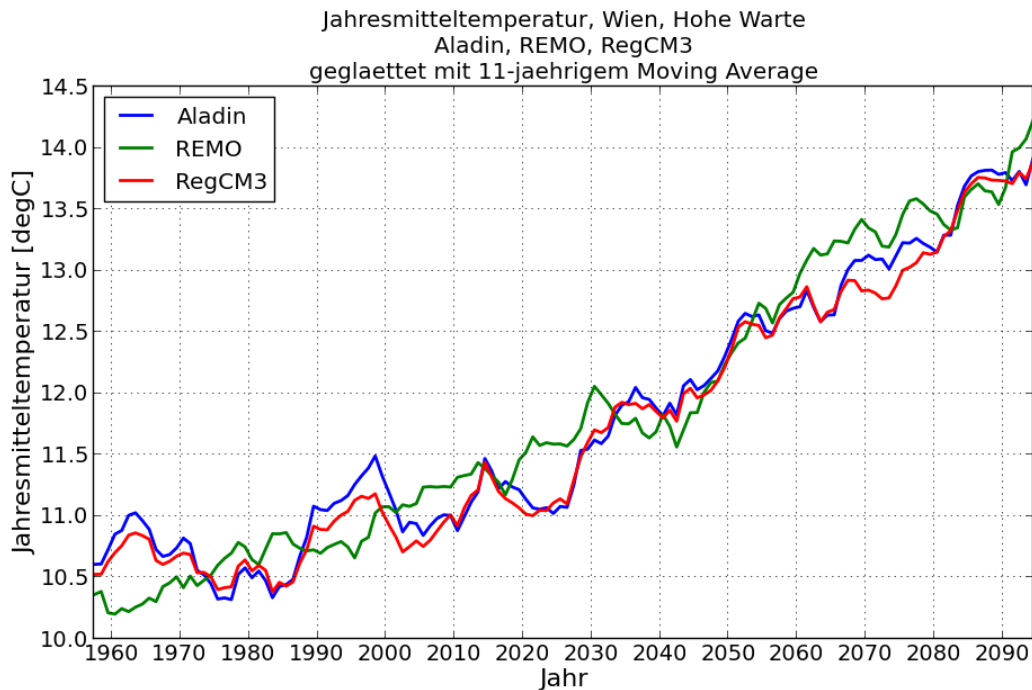


Abbildung 8.01: Entwicklung der Jahresmitteltemperatur; Modelle Aladin, REMO und RegCM3

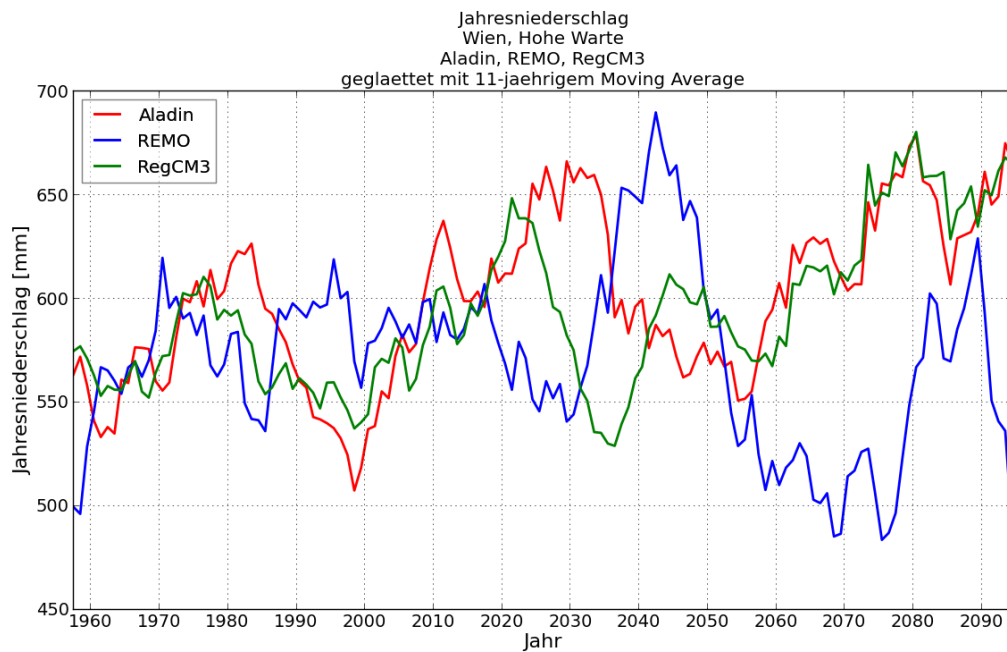


Abbildung 8.02: Entwicklung des Jahresniederschlags; Modelle Aladin, REMO und RegCM3

Während sich über die zukünftige Temperaturentwicklung schon sehr genaue Aussagen machen lassen, sind die Ergebnisse zur Entwicklung des Niederschlags mit relativ großen Unsicherheiten behaftet, weil Niederschlag räumlich und zeitlich sehr variabel ist (Abb.8.02). Klare Trends sind nicht erkennbar. Es gibt in allen Modellen feuchtere und trockenere Perioden. Die Gesamtsummen der Jahresniederschläge in Österreich wird sich voraussichtlich nur wenig ändern, die Niederschläge werden sich jedoch vom Sommer- ins Winterhalbjahr verlagern. Es zeigt sich auch eine Tendenz zu häufigeren, längeren Trockenperioden und stärkeren Starkniederschlagsereignissen, die öfter zu Hochwasser führen können.

Die Güte von Modelldaten wird immer daran überprüft, inwieweit das jeweilige Modell die Vergangenheit reproduzieren kann. Wie bereits oben erwähnt, ist der Niederschlag eine sehr variable Größe, die in den Modellen unterschiedlich berechnet wird, was sich auch als Unterschied in den Modelldaten zeigt. Dennoch geben alle drei Modelle den Verlauf der Trockentage in der Vergangenheit gut wieder (siehe Abb. 8.03), sodass auch die mögliche zukünftige Entwicklung abgeschätzt werden kann.

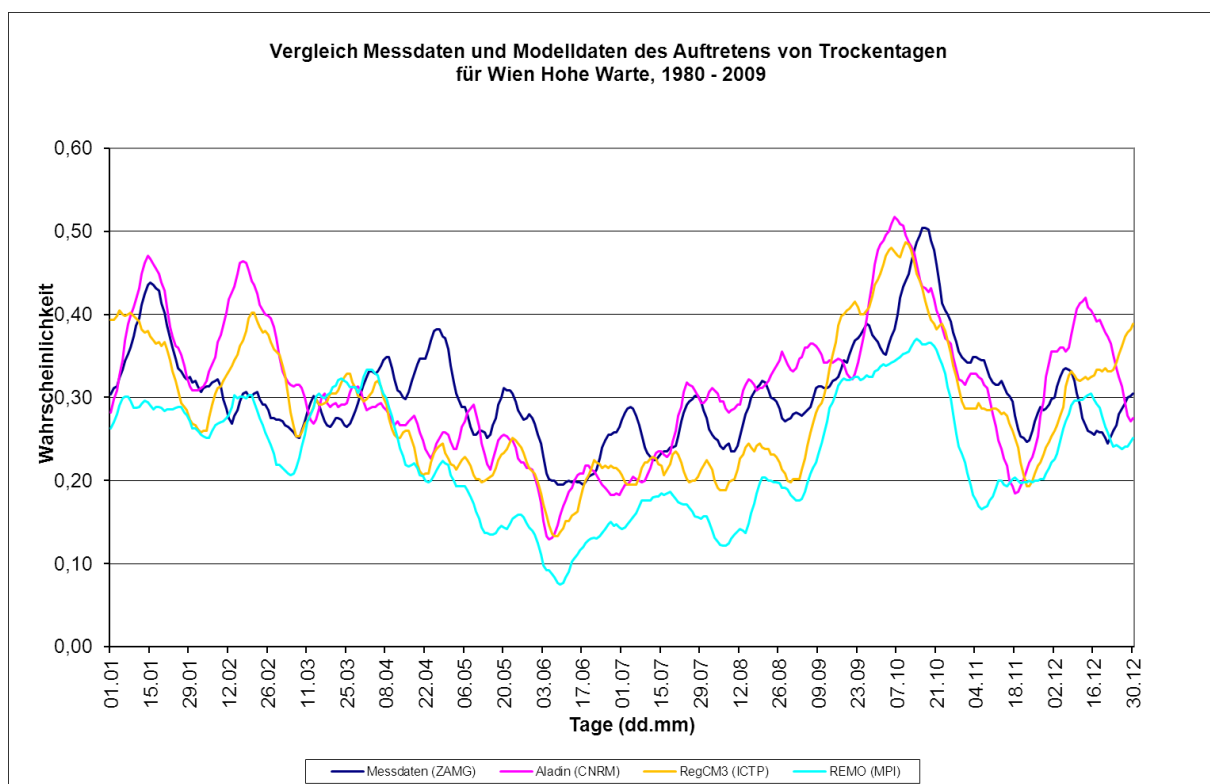


Abbildung 8.03: Vergleich Modellberechnungen und Messdaten für 1980 bis 2009 für die Modelle Aladin, RegCM3 und REMO



8.3 Analyse der Klimaszenarien

Die drei verwendeten Modelle Aladin, RegCM3 und REMO wurden auch dahingehend untersucht, wie sich die klimatische Wasserbilanz, die PALMER-Indizes und die Trockentage in Zukunft entwickeln könnten. Der Verlauf der Entwicklung wird jeweils anhand der Mittelwerte für zwei vergangene und drei zukünftige 30-Jahresperioden dargestellt.

Im derzeitigen Klima ist der limitierende Faktor für das Baumwachstum im Weinviertel die Wasserverfügbarkeit. In weiterer Folge wird daher die Entwicklung der Wasserverfügbarkeit untersucht. Eventuelle Effekte, die erhöhte Temperaturen auf das Baumwachstum haben könnten, werden in diesem Projekt nicht berücksichtigt. Für diese Analyse wäre ein eigenes Forschungsprojekt notwendig.

8.3.1 Klimatische Wasserbilanz

Im Gegensatz zum Niederschlag zeigt das Modell Aladin in der Verdunstung ein sehr deutliches Signal (Abb. 8.04). Im Sommer nimmt die PET besonders gegen Ende des Jahrhunderts drastisch zu, was in Kombination mit abnehmenden Sommerniederschlägen zu einer nPET-Reduktion von bis zu 75 mm führt. Das entspricht etwa dem heutigen maximalen mittleren Niederschlag im Juni. Aber auch im Frühjahr gäbe es deutliche Abnahmen in der Wasserbilanz. Frühjahrs- und Sommertrockenheit hätten dann Auswirkungen auf die gesamte Entwicklung des Baumes.

Das Szenario von REMO zeigt eine Erhöhung des Niederschlags im Herbst und Winter und eine leichte Reduktion im Frühsommer. Dies kompensiert bis 2040 etwa die erhöhte Evapotranspiration, mit Ausnahme des Juli (Abb. 8.05). Das mittlere Sommerhalbjahr der zweiten Hälfte des Jahrhunderts ist allerdings geprägt von einer deutlichen Reduktion in der KWB. Die Wasserbilanz im Frühling würde sich nur wenig ändern. Die Sommertrockenheit würde vor allem die Entwicklung des Spätholzes beeinträchtigen.

Die Modellergebnisse von RegCM3 deuten sogar auf eine Zunahme des Niederschlags in den Monaten Juli und September hin (Abb. 8.06). Dies kompensiert im Juli die steigende potenzielle Verdunstung, die bis zum Ende des Jahrhunderts für diesen Monat im Mittel bis zu 25 mm zunimmt. Das RegCM3 geht bis zur Mitte des Jahrhunderts im Mai und Juni von einer Abnahme in der nPET von etwa 20 mm aus. Alles in allem ist das RegCM3 im Vergleich zu Aladin und REMO ein mildes Szenario.

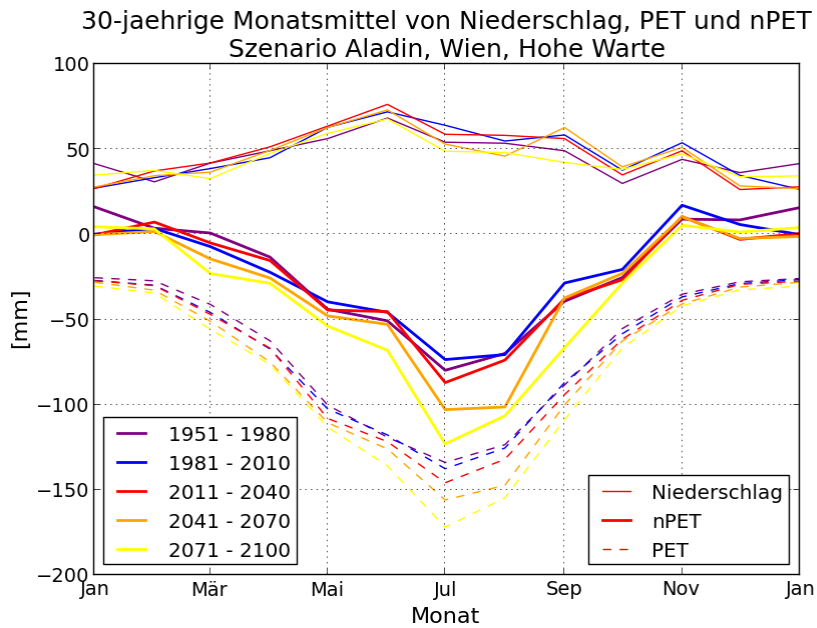


Abbildung 8.04: 30-jährige Monatsmittel von Niederschlag, PET und nPET für verschiedene Perioden; Szenario Aladin, Wien Hohe Warte

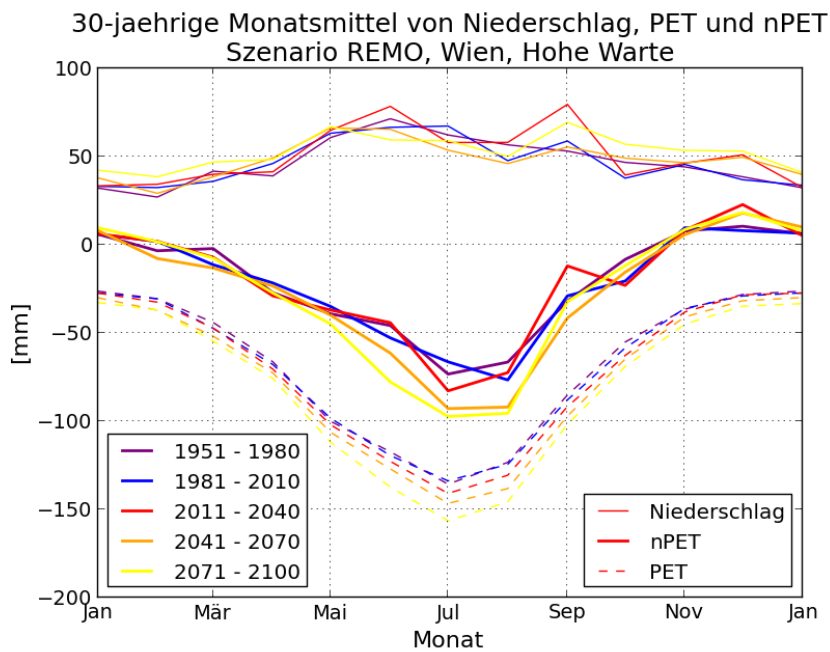


Abbildung 8.05: 30-jährige Monatsmittel von Niederschlag, PET und nPET für verschiedene Perioden; Szenario REMO, Wien Hohe Warte

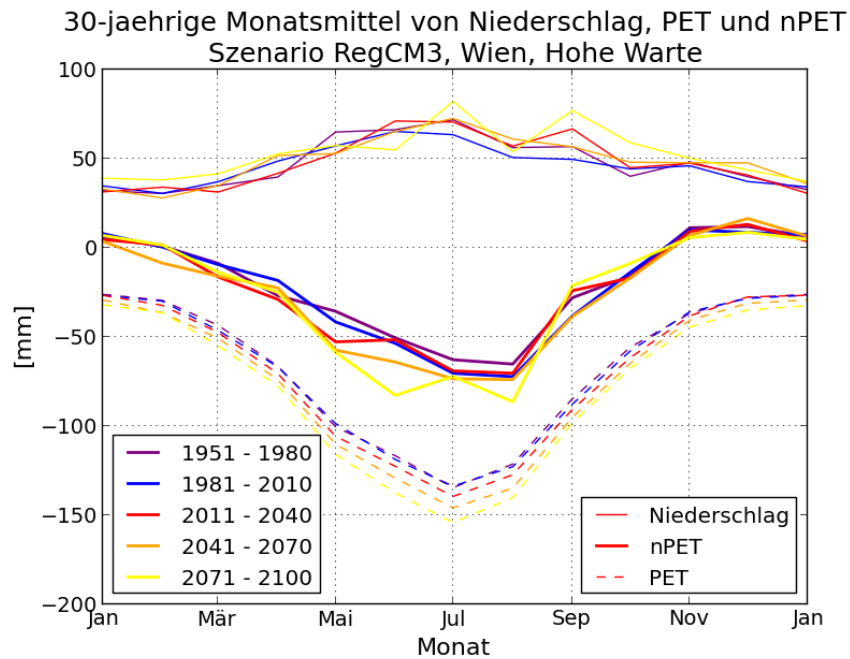


Abbildung 8.06: 30-jährige Monatsmittel von Niederschlag, PET und nPET für verschiedene Perioden; Szenario RegCM3, Wien Hohe Warte

8.3.2 PALMER-Indizes

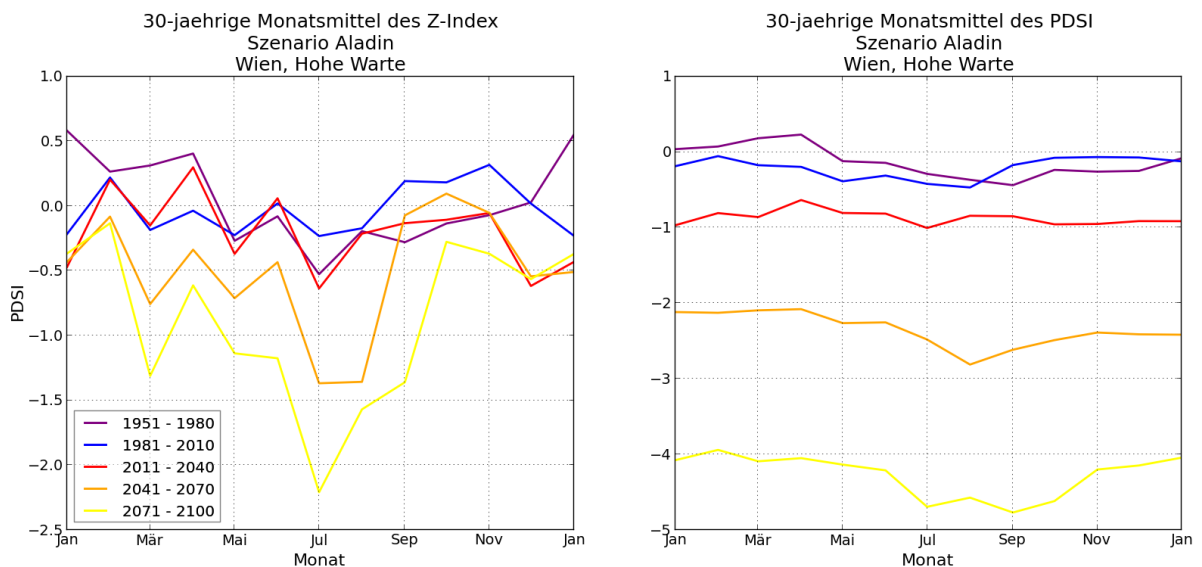


Abbildung 8.07: 30-jährige Monatsmittel von Z-Index und PDSI (Bodenwasserspeicher 120 mm) für verschiedene Perioden; Szenario REMO, Wien Hohe Warte

Die zukünftige Entwicklung des Z-Index und des PDSI stützt die Aussagen der klimatischen Wasserbilanz. In Abb. 8.07 ist exemplarisch das 30-jährige Monatsmittel des Z-Index und des



PDSI für das Modell Aladin dargestellt. Zunehmende Trockenheit ist v.a. im Sommer deutlich zu erkennen. Besonders gegen Ende des Jahrhunderts muss mit Folgen für die Vegetation gerechnet werden. Das Ausmaß ist allerdings von Modell zu Modell unterschiedlich. Aladin zeigt in dieser Hinsicht die extremste Entwicklung.

8.3.3 Trockentage

Die Auswertung der Trockentage ergibt ebenfalls deutliche Signale für das Frühjahr und den Sommer. In Abb. 8.08 ist der Verlauf der Trockentage für verschiedene Zeiträume der Vergangenheit und der Zukunft am Beispiel des Modells Aladin dargestellt. Für die zwei vergangenen Perioden (1951-1980, 1980-2009), die auf gemessenen Daten basieren, und die ersten beiden zukünftigen Perioden (2011-2040, 2036-2065) auf Basis des Modells Aladin zeigen sich abgesehen vom Sommer keine klaren Tendenzen. Für den Sommer ist besonders gegen Ende unseres Jahrhunderts (2071-2100) ein deutlicheres Signal zu sehen. Die Häufigkeit von Trockentagen weitet sich markant in den Sommer hinein aus, sodass laut Modell Aladin bereits ab Juli bis in den Oktober häufig mit Trockenheit gerechnet werden muss.

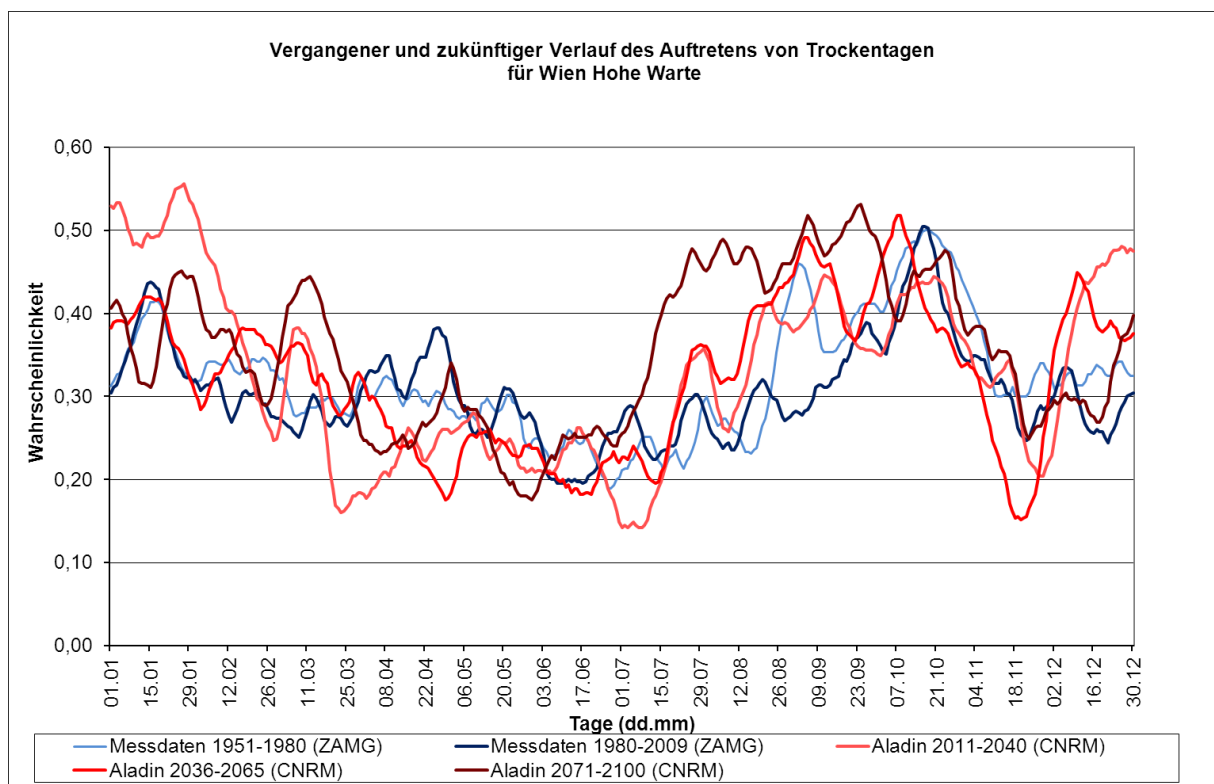


Abbildung 8.08: Vergangene und mögliche zukünftige Entwicklung der Trockentage Wien Hohe Warte, Perioden (1951-1980, 1980-2009 - gemessene Daten) und (2011-2040, 2036-2065, 2071-2100 – Modell Aladin)



8.4 Mögliche Auswirkungen auf das Baumwachstum

Wie schon in Kapitel 6 zu sehen war, unterscheiden sich die verschiedenen Parameter zur Beschreibung von Trockenheit in den Weiserjahren vom Durchschnitt. Die Modelle für die Zukunft zeigen nun ein ähnliches Bild wie in den Weiserjahren (v. a. für das Spätholz der Kiefer) – mit trockeneren Sommern könnten Spätholz-Weiserjahre häufiger werden. Ein geringerer Spätholzanteil im Holz bedeutet aber auch eine geringere Dichte und somit eine Verschlechterung der Holzqualität. Wenn aber die Jahrringbreiten auch dementsprechend schmaler werden, ändert sich der Spätholzanteil und somit die Holzqualität nicht wesentlich, der geringere Gesamtwuchs führt aber zu geringerer Holzproduktion und somit längeren Umtriebszeiten. Für den Fall, dass die Modelle die Zukunft korrekt abbilden, muss die Forstwirtschaft mit Ertragseinbußen bei der Kiefer rechnen.

9. Zusammenfassung und Ausblick

Im Rahmen des Projekts WALD-WASSER-WEINviertel haben wir uns dem Phänomen der Trockenheit in der Region auf unterschiedlichsten Wegen angenähert. Das Weinviertel als eines der wärmsten und trockensten Gebiete Österreichs eignet sich für derartige Untersuchungen hervorragend.

Die Trockenphasen der Vergangenheit sollten durch Jahrringchronologien, historische Aufzeichnungen über Wein und Wetter sowie Klimadaten untersucht werden. Aus insgesamt über 2.000 Holzproben von über 100 Waldstandorten, historischen Gebäuden und archäologischen Fundstätten wurden Jahrring- und Spätholzbreitenchronologien erarbeitet, die wesentlich länger geworden sind als die 200 Jahre, die eigentlich geplant waren. Die Eichenchronologien sind mehr als 1.000, die Kiefernchronologien mehr als 500 Jahre lang. Auch zahlreiche Tannen- und Fichten wurden dendrochronologisch datiert, fanden aber in die folgenden klimatischen Analysen keinen Eingang, weil sich herausgestellt hat, dass das im Weinviertel verbaute Holz doch nicht ausschließlich aus der Region stammt wie ursprünglich angenommen. Bei mehreren Probennahmen in Gebäuden haben wir nämlich Flößerkeile gefunden – ein sicheres Indiz dafür, dass das betreffende Element auf dem Wasserweg transportiert worden ist. Mittels Dendro-Provenancing – ein Analyse-Schritt, der zusätzlich eingeschaltet werden musste – ließ sich ermitteln, dass Eiche und Kiefer aus dem Weinviertel sind, Tanne und Fichte aber oft aus anderen Gebieten stammen.



Die dendroklimatologischen Ergebnisse zeigen, dass die Kiefer im Weinviertel wesentlich stärker auf klimatische Schwankungen reagiert als die Eiche. In ihren Jahrringen – v. a. im Spätholz – steckt also auch mehr Information über das Klima bzw. über die Sommertrockenheit der Vergangenheit. Mit einer erklärten Varianz von fast 48% in der Regressionsanalyse, relativ unabhängig vom jeweiligen Trockenheitsindex für das Zeitfenster Juni-Juli-August, liegt sie sehr gut, wenn man bedenkt, dass laut Fachliteratur mit Jahrringen als Klimaproxy maximal 60% erklärter Varianz erreichbar sind.

Die Analyse der Weiserjahre (= Jahre, in denen sehr viele Bäume einen sehr schmalen Jahrring aufweisen) ergibt dieselben Unterschiede zwischen Kiefer und Eiche wie die Dendroklimatologie. Das zeigt sich schon bei der Anzahl der Weiserjahre, die bei der Kiefer deutlich häufiger sind. Vergleicht man die meteorologischen Verhältnisse in Spätholzweiserjahren mit Durchschnittsbedingungen, ist wieder ein trockener Sommer und bei Weiserjahren der Gesamtjahrringbreite auch ein trockeneres Frühjahr auffällig.

Der Blick in die Zukunft lässt erahnen, dass auf das Weinviertel wohl wärmere, trockenere Zeiten zukommen werden. Das wird voraussichtlich Auswirkungen auf die Forstwirtschaft haben, da mit Zuwachseinbußen und ev. veränderter Holzqualität zu rechnen ist. Wenn trockene Sommer häufiger werden, nimmt eben tendenziell der Stress für die Bäume zu.

An der Rekonstruktion der Trockenheit des Weinviertels über den Zeitraum von meteorologischen Aufzeichnungen hinaus, in die auch die historischen Aufzeichnungen über Wein und Wetter eingebaut werden, die im Rahmen des Projekts aufgestöbert wurden, wird noch weitergearbeitet. Eine erste Version einer Niederschlagsrekonstruktion wurde im Rahmen der Projektabschlussveranstaltung mit den SchülerInnen im April 2012 präsentiert. Auch Details am Rande verdienen noch wissenschaftliche Aufmerksamkeit – z.B. die Tatsache, dass die Kiefernspätholzchronologie mit dem monatlichen Abfluss von Gewässern im Weinviertel korreliert und somit ev. zur Rekonstruktion von Niedrigwasser herangezogen werden kann.

Die SchülerInnen des BORG und der LFS Mistelbach waren in viele Bereiche der Forschung eingebunden. Von der Auseinandersetzung mit dem Klimawandel als Projekthintergrund, über Probennahme, Datenerhebung hin zur Auswertung und Präsentation haben sie sich in alle wesentliche Elemente wissenschaftlicher Forschung einbringen können – im Fall einer Schülerin, die zusätzlich zur Projektarbeit in der Schule in den Ferien noch ein Praktikum an der BOKU absolviert hat, sogar besonders intensiv.



Es hat sich gezeigt, dass v. a. praktische Tätigkeiten wie die Probennahme im Wald mit Begeisterung aufgenommen werden. Die Dateneingabe am Computer wurde zwar als eher langweilig empfunden, aber trotzdem als wichtiger Teil der Forschung akzeptiert. Der Bezug zur Natur vor der Haustür als Forschungsgegenstand und das Verständnis für ökologische Zusammenhänge im eigenen Umfeld sind durch die Mitarbeit am Projekt gestärkt worden.

Die Projektidee einer interdisziplinären Untersuchung der Trockenheit im Weinviertel hat sich jedenfalls bewährt und ist es sicher wert, weiter verfolgt zu werden.



Abbildungsverzeichnis

1.01	Forstliche Wuchsgebiete Österreich	7
1.02	Klimatische Wasserbilanz in Ostösterreich	8
2.01	Faksimile aus dem Tagebuch von Johann Kletzer Eintrag Montag, 9. Juni 1941	10
2.02	Faksimile aus dem Kalender von Hedwig Aberham, 9. bis 15. Mai 1983	11
2.03	Anmerkungen zum Wein im Jahr 1275 (Faksimile)	13
3.01	Schwarzkiefern-Probe aus Gänserndorf	16
3.02	Prinzip des Crossdatings	18
3.03	Detrending am Beispiel einer Kiefernprobe (AlwPS02a) negative Exponentialfunktion	19
3.04	Detrending am Beispiel einer Kiefernprobe (AmePS06a) Cubic Smoothing Spline	20
3.05	Probenstandorte – Gesamtübersicht	21
3.06	Jahrringbreitenchronologien von drei Schwarzkiefern-Standorten	22
3.07	Beispiele für eine Form von Flößerkeilen aus dem Objekt Bockfließ	23
3.08	Verbindung der Wegspange mit den Stämmen	24
3.09	Die unterschiedlichen Herkunftsgebiete und die zugehörigen Chronologien	25
3.10	Probenstandorte – Proben für Chronologien	29
3.11	Eichen-Chronologie (Jahrringbreite und Spätholzbreite)	31
3.12	Kiefern-Chronologie (Jahrringbreite und Spätholzbreite)	32
4.01	Wahrscheinlichkeit des Auftretens von Trockentagen an den Stationen Wien Hohe Warte, Großenzersdorf, Laa/Thaya und Retz für die Periode 1951-80	34
4.02	Wahrscheinlichkeit des Auftretens von Trockentagen an den Stationen Wien Hohe Warte, Großenzersdorf, Laa/Thaya und Retz für die Periode 1980-2009	35
4.03	Zusammenhang zwischen Sättigungsdefizit (aus Stationsdaten) und potenzieller Evapotranspiration (PET, aus INCA-Daten) für Großenzersdorf	39
4.04	Vergleich der Methoden zur Berechnung der potenziellen Evapotranspiration	40
4.05	Vergleich der Tagesniederschläge zwischen Straßhof an der Nordbahn und Großenzersdorf auf Basis der INCA-Daten	41
4.06	Vergleich der kumulierten klimatischen Wasserbilanz auf Basis von INCA- Daten im Weinviertel für die Standorte Baumgarten an der March, Eichhorn, Enzersdorf im Thale, Großenzersdorf, Staatzer Felsen und Straßhof an der Nordbahn im Zeitraum 2003 bis 2010	42
5.01	Lineare Regression Index nach TURC (Abweichungen vom Mittel 1951-80) – Chronologie Kiefernspätholz, Zeitraum 1881 bis 2010	48
5.02	Spätholz-Chronologie der Kiefer und klimatische Wasserbilanz mit PET nach TURC (Abweichungen vom Mittel 1951-80) für den Zeitraum 1881 bis 2011	49



6.01	Ergebnistabelle Weiserjahranalyse Jahrringbreite	52
6.02	Ergebnistabelle Weiserjahranalyse Spätholzbreite	53
6.03	Chronologie Eiche und Kiefer, PDSI, Anomalie akkumulierte nPET 1850 – 1930	54
6.04	Chronologie Eiche und Kiefer, PDSI, Anomalie akkumulierte nPET 1930 – 2010	55
6.05	Vergleich Monatsmittel von Niederschlag, PET und nPET für Zeigerjahre der Jahrringbreite und Periode 1971 – 2000, Wien Hohe Warte	56
6.06	Vergleich Monatsmittel von Z-Index und PDSI (Bodenwasserspeicher 120 mm) für Zeigerjahre der Jahrringbreite und Periode 1971 – 2000; Wien, Hohe Warte	56
6.07	Vergleich Monatsmittel von Niederschlag, PET und nPET für Zeigerjahre der Spätholzbreite und Periode 1971 - 2000; Wien Hohe Warte	57
6.08	Vergleich Monatsmittel von Z-Index und PDSI (Bodenwasserspeicher 120 mm) für Zeigerjahre der Spätholzbreite und Periode 1971 – 2000; Wien, Hohe Warte	58
6.09	Vergleich der Trockentrage in den gemittelten Weiserjahren für die Kiefer (Jahrringbreite) mit dem langjährigen Mittel von Großenzersdorf (1948-2012)	59
6.10	Vergleich der Trockentrage in den gemittelten Weiserjahren für die Kiefer (Spätholz) mit dem langjährigen Mittel von Großenzersdorf (1948-2012)	60
7.01	Messstation Wald und Weingarten: Lufttemperatur Mai 2011	61
7.02	Messstation Wald und Weingarten: Bodentemperatur Mai 2011	62
7.03	Messstation Wald und Weingarten: Bodenwassergehalt, Niederschlag (Daten ZAMG) Mai 2011	63
8.01	Entwicklung der Jahresmitteltemperatur; Modelle Aladin, REMO und RegCM3	65
8.02	Entwicklung des Jahresniederschlags; Modelle Aladin, REMO und RegCM3	65
8.03	Vergleich Modellberechnungen und Messdaten für 1980 bis 2009 für die Modelle Aladin, RegCM3 und REMO	66
8.04	30-jährige Monatsmittel von Niederschlag, PET und nPET für verschiedene Perioden; Szenario Aladin, Wien Hohe Warte	68
8.05	30-jährige Monatsmittel von Niederschlag, PET und nPET für verschiedene Perioden; Szenario REMO, Wien Hohe Warte	68
8.06	30-jährige Monatsmittel von Niederschlag, PET und nPET für verschiedene Perioden; Szenario RegCM3, Wien Hohe Warte	69
8.07	30-jährige Monatsmittel von Z-Index und PDSI (Bodenwasserspeicher 120 mm) für verschiedene Perioden; Szenario REMO, Wien Hohe Warte	69
8.08	Vergangene und mögliche zukünftige Entwicklung der Trockentage Wien Hohe Warte, Perioden (1951-1980, 1980-2009 - gemessene Daten) und (2011-2040, 2036-2065, 2071-2100 - Modell Aladin)	70



Tabellenverzeichnis

2.01	ZAMG-Stationsdaten (Tagesdaten)	14
2.02	INCA-Daten (Tagesdaten)	14
2.03	ZAMG-Stationsdaten (Monatsdaten)	15
2.04	HISTALP-Daten	15
2.05	Klimaszenarien aus dem EU-Projekt ENSEMBLES (Tages- und Monatsdaten)	15
3.01	Beispiele für Datierung und Dendro-Provenancing	26
3.02	Probenmaterial in den Chronologien	27
3.03	Gleichläufigkeit und t-Werte für alle Kiefern- vs. Eichen-Chronologien Zeitraum 1769 bis 2011	30
5.01	Ergebnisse der linearen Regressionsanalyse; R^2 für Temperatur, Niederschlag und Wasserbilanzen sowie ausgewählte Trockenheitsindizes (Summen oder Mittelwerte der Monate Juni, Juli, August) als unabhängige Variablen, Chronologien als abhängige Variable, Zeitraum 1881 bis 2010	47
5.02	Ergebnisse der multiplen linearen Regressionsanalyse; R^2 für Temperatur, Niederschlag und Wasserbilanzen sowie ausgewählte Trockenheitsindizes (Juni, Juli, August) als unabhängige Variablen, Chronologien als abhängige Variable, Zeitraum 1881 bis 2010	47
6.01	Probenstandorte für Weiserjhranalyse	50
6.02	Weiserjahre der Kiefernchronologien ab 1948 (Jahringbreite, Spätholz)	59



Formelverzeichnis

3.01	Aggregiertes Baumwachstum nach COOK (1990)	17
4.01	Klimatische Wasserbilanz	36
4.02	THORNTHWAITE-Gleichung für die Schätzung der PET	37
4.03	Potenzielle Evapotranspiration nach TURC (1961)	37
4.04	Gleichung für die potenzielle Evapotranspiration nach PENMAN-MONTEITH	38
4.05	Berechnung des Sättigungsdefizits	39
4.06	Anpassung der PET mittels Polynomfunktion 4. Grades	40
4.07	Korrektur von PET-TH auf Grund unterschätzter Winter-Evapotranspiration	41
4.08	Standardized Precipitation Index	43
4.09	DeMARTONNE-Index	44



Literaturverzeichnis

BRAZDIL R, STEPANKOVA P, KYNCL T, KYNCL J

(2002): Fir tree-ring reconstruction of March-July precipitation in Southern Moravia (Czech Republic), 1376-1996. *Climate Research*, 20, 2002: 223-239.

BÜNTGEN U, BRAZDIL R, DOBROVOLNY P, TRNKA M, KYNCL T

(2011): Five centuries of Southern Moravian drought variations revealed from living and historic tree rings. *Theor Appl Climatol* 2011, 105: 167–180.

COOK ER

(1990): A Conceptual Linear Aggregate Model for Tree Rings. In: COOK ER, KAIRIUKSTIS LA (eds.) *Methods of Dendrochronology. Applications in the Environmental Sciences*. Dordrecht, Boston, London. Kluwer Academic Publishers.

CUFAR K, DeLUIS M, ECKSTEIN D, KAJFEZ-BOGATAJ L

(2008): Reconstructing dry and wet summers in SE Slovenia from oak tree-ring series. *Int J Biometeorol* 2008, 52: 607–615.

DeMARTONNE E

(1926): Une nouvelle fonction climatologique: L' indice d'aridité. *La Meteorologie*: 449–458.

ECKSTEIN D, WROBEL S

(2007): Dendrochronological proof of origin of historic timber - retrospect and perspectives. In: HANECA K, VERHEYDEN A, BEEKMANN H, GÄRTNER H, HELLE G, SCHLESER G (eds.) *TRACE - Tree Rings in Archaeology, Climatology and Ecology, Vol. 5: Proceedings of the DENDROSYMPOSIUM*. Tervuren: 8-20.

EFTHYMIADIS D, JONES PD, BRIFFA KR, AUER I, BÖHM R, SCHÖNER W, FREI C, SCHMIDLI J

(2006): Construction of a 10-min-gridded precipitation data set for the Greater Alpine Region for 1800-2003: *J. Geophys. Res.*, 111: D01105, doi:10.1029/2005JD006120.

EISSING T, DITTMAR C

(2011): Timber transport and dendro-provenancing in Thuringia and Bavaria. In: FRAITURE P (ed.) *Tree Rings, Art, Archaeology*. Brüssel: 137-150.



FORMAYER H

(2001): Meteorologische Aspekte bei der Berechnung der verfügbaren Feldarbeitstage für die Rauhfutterernte und explizite Anwendung in Österreich. Dissertation an der Universität für Bodenkultur Wien, eingereicht im September 2001.

FRITTS HC

(1976): Tree Rings and Climate. 2001 (Nachdruck der 2. Auflage von 1976), The Blackburn Press, Caldwell. London, New York, San Francisco.

GEIHOFFER D, GRABNER M, GELHART J, WIMMER R, FUCHSBERGER H

(2005): New master chronologies from historical and archaeological timber in Eastern Austria. Konferenzbeitrag EuroDendro 2005, Viterbo.

GRABNER M, WIMMER R, WEICHENBERGER J

(2004): Reconstructing the history of log-drifting in the Reichraminger Hintergebirge, Austria. Dendrochronologia 21 (3): 131-137.

GRIGGS C, DeGAETANO A, KUNIHOLM P, NEWTON M

(2007): A regional high-frequency reconstruction of May-June precipitation in the north Aegean from oak tree rings, A.D. 1089-1989.

HAIDEN T, KANN A, PISTOTNIK G, STADLBACHER K, WITTMANN C

(2009): Integrated Nowcasting through Comprehensive Analysis (INCA) System description. ZAMG report, 60p.

http://www.zamg.ac.at/fix/INCA_system.pdf

HARLFINGER O. KNEES G

(1999): Klimahandbuch der Österreichischen Bodenschätzung Klimatographie Teil 1. Innsbruck.

HOLMES RL

(1994): Dendrochronology Program Library – Users Manual. Laboratory of Tree-Ring Research University of Arizona. Tucson.

HUGHES MK

(2002): Dendrochronology in climatology – the state of the art. In: Dendrochronologia 20/1: 95-116.



JENSEN ME, BURMAN RD, ALLEN RG (eds.)

(1990): Evapotranspiration and irrigation water requirements. ASCE Manual 70, New York, NY, 332 pp.

KAENNEL M, SCHWEINGRUBER FH (eds.) (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.

KHAN S, GRABRIEL HF, RANA T (2008): Standard precipitation index to track drought and assess impact of rainfall on watertables in irrigation areas. Irrig Drainage Syst (2008) 22: 159–177.

KILIAN W, MÜLLER F, STARLINGER F

(1994): Die forstlichen Wuchsgebiete Österreichs. Eine Naturraumgliederung nach waldökologischen Gesichtspunkten. Forstliche Bundesversuchsanstalt. Wien.
<http://bfw.ac.at/300/pdf/1027.pdf>

KRONBERGER B, MALAS M, PRUTSCH A

(2010): Policy Paper „Auf dem Weg zu einer nationalen Anpassungsstrategie“. Stand Oktober 2010, Lebensministerium.
http://www.lebensministerium.at/umwelt/klimaschutz/klimapolitik_national/anpassungsstrategie/Anpassungsstrategie.html

LIVADA I, ASSIMAKOPOULOS VD

(2007): Spatial and temporal analysis of drought in Greece using the Standardized Precipitation Index (SPI). Theor. Appl. Climatol. 89: 143–153.

MAURER M, HUMBER G, SCHNEIDER T, FELBAUMER M

(2012): Zusammenhang zwischen klimatischer Wasserbilanz und Jahrringbreite von Eiche und Kiefer im Weinviertel. Bachelorarbeit an der Universität für Bodenkultur Wien.

McKEE TB, DOESKEN NJ, KLEIST J

(1993): The relationship of drought frequency and duration to time scales. Preprints, 8th Conference on Applied Climatology: 179–184. January 17–22, Anaheim, California.

**NAGL H**

(1981): Klima- und Wasserbilanztypen Österreichs - Versuch einer regionalen Gliederung mit besonderer Berücksichtigung des außeralpinen Raumes. In: Geographischer Jahresbericht aus Österreich XL: 50-72.

NEUWIRTH F

(1981): Analyse langjähriger Messungen der potentiellen Verdunstung in Wien, gemessen mit dem Evaporimeter nach Wild und der Class-A-Wanne sowie Vergleich mit den nach den Methoden von Penman, Thornthwaite und Turc berechneten Werten. Archives for meteorology, geophysics, and bioclimatology, Series A, 1981, Volume 30, Issue 1-2: 119-133.

NEWEKLOWSKY E

(1952): Die Schifffahrt und Flößerei im Raume der oberen Donau. Oberösterreichischer Landesverlag, Linz.

NOBILIS F

(1980): Extreme Trockenperioden im Jahr in Österreich, Archives for meteorology, Geophysics, and Bioclimatology, Series B, Volume 28, Issue 3: 339-349.

NOBILIS F

(1985): Trockenperioden in Österreich, Verband der wissenschaftlichen Gesellschaften Österreichs (VWGÖ), Wien, 293 pp.

PALMER WC

(1965): Meteorological drought. Research Paper No. 45. U.S. Weather Bureau. NOAA Library and Information Services Division, Washington, D.C. 20852.

PALMER WC

(1968): Keeping track of crop moisture conditions, nationwide: The new crop moisture index. Weatherwise, 21: 156-161.

PALTINEANU C, TANSESCU N, CHITU E, MIHAILESCU IF

(2007): Relationships between the DeMartonne aridity index and water requirements of some representative crops: A case study from Romania. Int. Agrophysics, 2007, 21: 81-93.

PALTINEANU C, MIHAILESCU IF, PREFAC Z, DRAGOTA C, VASENCIUC F, CLAUDIA N

(2009): Combining the standardized precipitation index and climatic water deficit in characterizing droughts: a case study in Romania. Theor Appl Climatol (2009) 97: 219–233.



PEC L

(1994): Ortschronik Herrnbaumgarten. Herrnbaumgarten.

PENMAN HL

(1948): Natural evaporation from open water, bare soil and grass. Proc. Roy. Soc. London A. 194, 1948: 120–145.

PUNTSCHERT JK

(1894:) Denkwürdigkeiten der Stadt Retz. Zweite, vermehrte und verbesserte Auflage. Selbstverlag der Stadt Retz, Wien.

SAHIN S

(2012): An aridity index defined by precipitation and specific humidity, Journal of Hydrology 444–445: 199–208.

Van der SCHRIER G, EFTHYMIADIS D, BRIFFA KR, JONES PD

(2007): European Alpine moisture variability for 1800–2003. Int. J. Climatol. 27: 415–427.

SCHWEINGRUBER FH

(1983): Der Jahrring. Standort, Methodik, Zeit und Klima in der Dendrochronologie. Verlag Paul Haupt. Bern, Stuttgart.

SPEER JH

(2010): Fundamentals of Tree-Ring Research. The University of Arizona Press. Tucson.

STRÖMMER E

(2003): Klima-Geschichte. Methoden der Rekonstruktion und historische Perspektive. Ostösterreich 1700 bis 1830. = PILS SC (ed.): Forschungen und Beiträge zur Wiener Stadtgeschichte. Publikationsreihe des Vereins für Geschichte der Stadt Wien. Band 39. Wien.

STUBENVOLL F

(1986): Siebenhirten bei Mistelbach. Eine Geschichte des Ortes, seiner Herrschaften und seiner Pfarre. Wien.

THORNTWHAITE CW

(1948): An approach toward a rational classification of climate. Geogr. Rev., 38: 55-94.



THORNTWHAITE CW, MATHER JR

(1955): The Water Balance. Publications in Climatology, Drexel Institute of Technology, Centerton, New Jersey, Vol. VIII, No. 1.

TRNKA M, DUBROVSKY M, SVOBODA MD, SEMERADOVA D, HAYES MJ, ZALUD Z, WILHITE DA
(2009): Developing a Regional Drought Climatology for the Czech Republic for 1961-2000.
International Journal of Climatology, 29: 863-883.

TURC L

(1961): Evaluation de besoins en eau d'irrigation, ET potentielle, Ann. Agron. 12: 13-49.

WÄCHTER E

(2012): Dendro-Provenienz am Beispiel des Konstruktionsholzes der Wiener Hofburg.
Bachelorarbeit an der Universität für Bodenkultur Wien.

