

**Palynofloren und phänologische
Daten als Umweltindikatoren
- Eine Pilotstudie -**

Dissertation

zur Erlangung des Grades eines Doktors der Naturwissenschaften

der Geowissenschaftlichen Fakultät
der Eberhard-Karls-Universität Tübingen

vorgelegt von
Michael J. Blos
aus Karlsruhe

2008

Tag der mündlichen Prüfung: 12.04.2008

Dekan: Prof. Dr. Peter Grathwohl

1. Berichterstatter: Prof. Dr. Dr. h.c. Volker Mosbrugger

2. Berichterstatter: Priv.-Doz. Dr. Anita Roth-Nebelsick

Hiermit erkläre ich, **Michael Blos**, geboren am 03.03.1976, dass ich die vorliegende Arbeit ohne unerlaubte Hilfe und nur mit den in der Arbeit angegebenen Hilfsmitteln angefertigt habe.

Des Weiteren bestätige ich, dass bisher von mir noch kein Promotionsversuch an einer anderen Universität unternommen wurde.

Michael Blos

Danksagung

Die vorliegende Dissertation wurde unter der Betreuung von **Prof. Dr. Dr. hc. Volker Mosbrugger** an der Geologischen Fakultät der Universität Tübingen und am Naturmuseum und Forschungsinstitut Senckenberg in Frankfurt durchgeführt. Zuallererst möchte ich ihm für seine Anleitung sowie die wissenschaftliche und finanzielle Unterstützung danken. Insbesondere sein Vertrauen in meine Arbeit und die mir stetig gewährte Freiheit bei der Durchführung der Studie bildeten für deren Gelingen eine wichtige Grundlage.

Ein besonderer Dank gilt **Dr. Tobias Schneck** für seine Unterstützung bei all den verwaltungstechnischen Dingen sowie für die Tatsache, dass er immer ein offenes Ohr für mich, meine Anliegen und Probleme fand, auch dann, wenn ich ihn unerwartet in seinem Büro oder per Telefon überraschte. Er hatte trotz seiner vielen Arbeit immer zumindest etwas Zeit und half mir die Dinge zu erleichtern.

Ich danke zudem **Dr. Arne Micheels** für viele anregende Diskussionen, für seine scharfe jedoch immer konstruktive Kritik und die zumeist gute Laune (auch bei politischen „Auseinandersetzungen“). Des Weiteren danke ich **Dipl.-Geog. Jens Wahr** für seine Hilfe bezüglich der Geographischen Informationssysteme (GIS). **Dr. Martin Ebner** danke ich aufrichtig für die Anregungen und Diskussionen im Bereich der durchgeführten Vegetationsanalysen. Dank schulde ich zudem **Dr. Stefan Klotz**, welcher mir immer verlässlich und schnell zur Seite stand, wenn meine Kenntnisse in Excel sich dem Ende neigten.

Generell möchte ich an dieser Stelle allen meinen Kollegen an der Universität Tübingen für die gute und angenehme Arbeitsatmosphäre während der Jahre danken. Dabei geht ein ganz besonderer Dank an meine Kollegen und Freunde **Dr. Kerstin Kriegel** und **Dipl.-Geol. Alexander Hohloch**. Für die Korrektur meiner Arbeit auf Rechtschreibung und Grammatik geht ein ganz herzlicher Dank an **Christfriede Eydram M.A.** Ich danke ihr zudem für eine langjährige Freundschaft, die unzähligen Gespräche und die große Hilfsbereitschaft bei so vielen Dingen.

Weiterhin danke ich allen Personen und Institutionen, welche mir freundlicherweise die dieser Dissertation zugrunde liegenden Daten zur Verfügung stellten.

Für die Bereitstellung der Pollendatensätze danke ich **Prof. Dr. med. Karl-Christian Bergmann** und **Margarete Wilhelm** von der Stiftung Deutscher Polleninformationsdienst (PID) sowie **Dr. Siegfried Jäger** vom „European Aeroallergen Network“ (EAN). **Dr. Dietmar Rupp** danke ich für die phänologischen Daten der Staatlichen Lehr- und Versuchsanstalt für Wein- und Obstbau in Weinsberg. Dem Statistischen Landesamt Baden-Württemberg danke ich für die Bereitstellung der Weinertragsdaten, dem Deutschen Wetterdienst (DWD) für die Überlassung der Klimadaten. Ihnen danke ich zudem stellvertretend für die unzähligen Hände, die in die Generierung der Datensätze eingebunden sind.

Für die Hilfen bezüglich der Software SPSS und der statistischen Interpretationen danke ich Herrn **Andreas Kögel M.A.** (Schreier & Partner, Tübingen).

Hinsichtlich meines einjährigen Forschungsjahres am Naturmuseum und Forschungsinstitut Senckenberg schulde ich Herrn **Dr. Peter Haase**, dem Leiter der Außenstelle für Limnologie und Naturschutzforschung in Gelnhausen, so wie all meinen dortigen Kollegen einen herzlichen Dank für die freundliche Aufnahme in ihrer Arbeitsgruppe. Ich habe mich in ihrer Mitte immer sehr wohl gefühlt.

Für die Finanzierung meiner Dissertation danke ich zudem folgenden Institutionen:

Die Arbeit wurde von der Deutschen Forschungsgesellschaft (DFG) im Rahmen des Forschungsprojektes „Palynofloren als Umweltindikatoren“ gefördert. Zusätzlich wurde ein Forschungsstipendium von der Richard-Winter-Stiftung gewährt.

Ein ganz besonderer Dank gilt meinen Eltern. Ich danke ihnen für ihre Unterstützung, ihr Verständnis und ihre Liebe, auf welche ich mich immer verlassen kann.

Ihnen ist diese Arbeit gewidmet.

Inhaltsverzeichnis

Verzeichnis der Abbildungen

Verzeichnis der Tabellen

Verzeichnis der Abkürzungen

Zusammenfassung

Abstract

1 Einleitung	1
1.1 Stichwort „Globaler Wandel“: Grundlagen, Auswirkungen auf Klima und Vegetation, Bevölkerungswachstum sowie Nutzungsmöglichkeiten palynologischer und phänologischer Daten	1
1.2 Zielsetzung der Studie	6
2 Weinbau - Ein Exkurs	8
2.1 Geschichte	8
2.2 Grundlagen des Weinbaus - Klima, Boden und Lage	10
2.3 Die besondere Situation Deutschlands - mit Blick auf Baden-Württemberg - im Vergleich zu Europa	13
3 Arbeitsgebiet	16
3.1 Geographische Lage	16
3.2 Das Klima von Deutschland und Baden-Württemberg	17
3.3 Naturräumliche Diversität, Geographie und regionale Besonderheiten	22
3.4 Untersuchte Pollenstationen in Baden-Württemberg	30
4 Datengrundlage, Material und Methoden	33
4.1 Pollen	34
4.1.1 Stiftung Deutscher Polleninformationsdienst (PID) und „European Aeroallergen Network“ (EAN)	34

4.1.2	Das grundlegende Prinzip der volumetrischen Methode am Beispiel der Burkard Pollenfalle	36
4.2	Wein	40
4.2.1	Die Weinbauregion Baden	41
4.2.2	Die Weinbauregion Württemberg	42
4.2.3	Sortenwahl	42
4.2.4	Wein-/Ertragsparameter	43
4.3	Klima	44
4.4	Die Phänologie des Weines	46
4.5	Landnutzung	47
4.6	Datenanalyse - Untersuchungsmethode/Statistische Verfahren	49
4.6.1	Deskriptive Statistik und bivariate Korrelationen	49
4.6.2	Einfache lineare Regression	50
4.6.3	Multiple lineare Regression	51
4.6.4	Trend- und Andaueranalyse	51
5	Ergebnisse	53
5.1	Bewertung der Pollenstationen hinsichtlich Qualität und Vergleichbarkeit der Pollendaten	53
5.1.1	Analyse der Stationen mittels des Vergleichs der absoluten Pollensumme ausgewählter Taxa	53
5.1.2	Analyse der Stationen mittels des Vergleichs der relativen Pollensumme ausgewählter Taxa	59
5.1.3	Vergleich der Korrelationsmatrizen	64
5.2	Korrelation der Pollen- und Klimadaten	71
5.2.1	Einfache lineare Regression - Pollen- und Klimadaten	71
5.2.2	Multiple lineare Regression - Pollen- und Klimadaten	73
5.3	Korrelation der Wein- und Klimadaten	76
5.3.1	Einfache lineare Regression - Wein- und Klimadaten	76
5.3.2	Multiple lineare Regression - Wein- und Klimadaten	80
5.4	Korrelation der Pollen- und Weindaten	83
5.4.1	Einfache lineare Regression - Pollen- und Weindaten	83
5.4.2	Multiple lineare Regression - Pollen- und Weindaten	94

5.5	Phänologische Studie	105
5.5.1	Phänologie der Pollendaten des PID	105
5.5.2	Beobachtung der jährlichen Variabilität phänologischer Stadien verschiedener Weinsorten an der LVWO in Weinsberg	115
5.5.3	Phänologische Entwicklung von Wein an der an der LVWO in Weinsberg - Vegetationszyklen und -phasen für ausgewählte Sorten	121
5.5.4	Trend- und Andaueranalysen für ausgewählte Weinsorten des LVWO Datensatzes	126
5.6	Landnutzungs-/Vegetationsanalyse	134
5.6.1	Bewertung der Umgebungsvegetation der Pollenstationen	134
5.6.2	Korrelation des Pollenflugs mit der Umgebungsvegetation	141
6	Diskussion und Schlussfolgerung	151
6.1	Diskussion	151
6.1.1	Interpretation der mit den Pollen-, Klima- und Weindaten durchgeführten einfachen und multiplen linearen Regressionen	152
6.1.2	Interpretation der phänologischen Studie	156
6.1.3	Interpretation der Landnutzungs-/Vegetationsanalyse	161
6.2	Schlussfolgerung	164
7	Literaturverzeichnis	165
8	Anhang	188
	I Pollendaten (PID)	
	II Weindaten (STALA BW & LVWO)	
	III Klimadaten (DWD)	
	IV Landnutzungs-/Vegetationsdaten (CORINE)	

Die Anlagen befinden sich in Form verschiedener Dokumente auf der beiliegenden CD.

Verzeichnis der Abbildungen

- Abb. 2-1:** Darstellung der Erde in Carrée Projektion (inkl. Weinbauzonen)
- Abb. 3-1:** Die Bundesrepublik Deutschland inkl. der 16 Bundesländer -
(Baden-Württemberg ist hervorgehoben)
- Abb. 3-2:** Topographie von Baden-Württemberg
- Abb. 3-3:** Ausgewählte Klimaparameter für Baden-Württemberg
- Abb. 3-4:** Morphologische Karte von Baden-Württemberg und angrenzender Gebiete
- Abb. 3-5:** Blick auf die Rheinebene (bei Karlsruhe)
- Abb. 3-6:** Feldberg, Schwarzwald
- Abb. 3-7:** Alpenvorland mit Bodensee
- Abb. 3-8:** Blick auf die Schichtstufenlandschaft der Schwäbischen Alb bei Tübingen
- Abb. 3-9:** Blick auf das Schloss Hohenzollern bei Hechingen mit dem Neckartal im Hintergrund
- Abb. 4-1:** Pollenstationen des PID - Stand: Jan. 2001
- Abb. 4-2:** Schematische Darstellung der Bestimmung des Pollengehalts der Luft mit Hilfe der Burkard Pollenfalle
- Abb. 4-3:** Pflanzenspezies als Pollenquelle (mit Beisp.)
- Abb. 4-4:** Die verschiedenen Weinbaubereiche innerhalb Baden-Württembergs zusammen mit der Lage der ausgewählten Pollenstationen des PID
- Abb. 4-5:** GIS-basierte Generierung von Landnutzungsdaten in Abhängigkeit zu den um die einzelnen Pollenstationen (rote Punkte) gewählten Umkreisen von 10, 7 and 5 km (rote, gelbe und violette Kreise)
- Abb. 5-1:** Absolute Pollensumme an der Station Freiburg (1987-2003)
- Abb. 5-2:** Absolute Pollensumme an der Station Gerlingen (1997-2003)
- Abb. 5-3:** Absolute Pollensumme an der Station Heidelberg (1997-2003)
- Abb. 5-4:** Absolute Pollensumme an der Station Karlsruhe (1997-2003)
- Abb. 5-5:** Absolute Pollensumme an der Station Königfeld (1997-2003)
- Abb. 5-6:** Absolute Pollensumme an der Station Löwenstein (1997-2003)
- Abb. 5-7:** Absolute Pollensumme an der Station Wangen (1997-2003)
- Abb. 5-8:** Vergleich der ausgewerteten Stationen (relative Pollensumme)
- Abb. 5-9:** Balkendiagramm ausgewählter Pollenpaare mit Angabe des Mittelwerts sowie der Standardabweichung

- Abb. 5-10:** Deutscher Pollenkalender mit Typ I Taxapaaren (blaue Umrandung)
- Abb. 5-11:** Einfache lineare Regressionen der Pollendaten mit Klimadaten am Beispiel von Urtica (Station Freiburg)
- Abb. 5-12:** Trendanalyse - Jährliche Tage mit Pollenflug für die Station Freiburg
- Abb. 5-13:** Trendanalyse - Jährliche Tage mit Pollenflug für die Station Heidelberg
- Abb. 5-14:** Trendanalyse - Jährliche Tage mit Pollenflug für die Station Karlsruhe
- Abb. 5-15:** Trendanalyse - Jährliche Tage mit Pollenflug für die Station Königsfeld
- Abb. 5-16:** Trendanalyse - Jährliche Tage mit Pollenflug für die Station Löwenstein
- Abb. 5-17:** Trendanalyse - Jährliche Tage mit Pollenflug für die Station Wangen
- Abb. 5-18:** Trendanalyse - Jährliche Pollensumme an der Station Freiburg
- Abb. 5-19:** Trendanalyse - Jährliche Pollensumme an der Station Gerlingen
- Abb. 5-20:** Trendanalyse - Jährliche Pollensumme an der Station Heidelberg
- Abb. 5-21:** Trendanalyse - Jährliche Pollensumme an der Station Karlsruhe
- Abb. 5-22:** Trendanalyse - Jährliche Pollensumme an der Station Königsfeld
- Abb. 5-23:** Trendanalyse - Jährliche Pollensumme an der Station Löwenstein.
- Abb. 5-24:** Trendanalyse - Jährliche Pollensumme an der Station Wangen
- Abb. 5-25:** Jährliche Variabilität der phänologischen Stadien untersuchter Weinsorten
- Abb. 5-26:** Kalendarischer Überblick phänologischer Daten ausgewählter Weinsorten
- Abb. 5-27:** Versatz des mittleren Verlaufs am Beispiel von a) Riesling und b) Müller-Thurgau
- Abb. 5-28:** Andauer und linearer Trend der beiden phänologischen Phasen Austrieb bis Vollblüte und Vollblüte bis Ernte
- Abb. 5-29:** Verteilung der unterschiedlichen Landnutzungstypen im Umland der Station Freiburg (5, 7 und 10 km Umkreise)
- Abb. 5-30:** Verteilung der unterschiedlichen Landnutzungstypen im Umland der Station Gerlingen (5, 7 und 10 km Umkreise)
- Abb. 5-31:** Verteilung der unterschiedlichen Landnutzungstypen im Umland der Station Heidelberg (5, 7 und 10 km Umkreise)
- Abb. 5-32:** Verteilung der unterschiedlichen Landnutzungstypen im Umland der Station Karlsruhe (5, 7 und 10 km Umkreise)

- Abb. 5-33:** Verteilung der unterschiedlichen Landnutzungstypen im Umland der Station Königsfeld (5, 7 und 10 km Umkreise)
- Abb. 5-34:** Verteilung der unterschiedlichen Landnutzungstypen im Umland der Station Löwenstein (5, 7 und 10 km Umkreise)
- Abb. 5-35:** Verteilung der unterschiedlichen Landnutzungstypen im Umland der Station Wangen (5, 7 und 10 km Umkreise)
- Abb. 5-36:** Lineare Regression von FAGU mit Ackerland, Laub- und Mischwald
- Abb. 5-37:** Lineare Regression von PICE mit Siedlung (gesamt), Verkehrs-, Industrie- und Gewerbeflächen und locker bebauter Siedlungsfläche
- Abb. 5-38:** Lineare Regression von PINU mit Laubwald
- Abb. 5-39:** Lineare Regression von PLAN mit Siedlung (gesamt)
- Abb. 5-40:** Lineare Regression von POAC mit Wald (gesamt)
- Abb. 5-41:** Lineare Regression von QUER mit Laubwald
- Abb. 5-42:** Lineare Regression von RUME mit Siedlung (gesamt), Verkehrs-, Industrie- und Gewerbeflächen und dicht bebauter Siedlungsfläche
- Abb. 5-43:** Lineare Regression von SALI mit Freiflächen ohne/mit geringer Vegetation, Laubwald und Mischwald
- Abb. 5-44:** Lineare Regression von SECA mit Mischwald, Weinbauflächen und Obst- und Beerenobstbeständen
- Abb. 5-45:** Lineare Regression von URTI mit Ackerland

Verzeichnis der Tabellen

- Tab. 4-1:** Überblick über sämtliche an den Stationen des PID erfassten Pollentaxa
- Tab. 4-2:** Überblick über die einzelnen deutschen Weinbauregionen und ihre Klassifikation (Regionen Baden und Württemberg sind hervorgehoben)
- Tab. 4-3:** Überblick über ausgewählte Stationen des DWD und PID mit den entsprechenden Distanzen
- Tab. 4-4:** Ausgewählte Weinsorten des LVWO Datensatzes mit der zugehörigen Zeitspanne
- Tab. 4-5:** Die 15 Landnutzungstypen
- Tab. 5-1:** Rangfolge (1-7) der einzelnen Stationen nach Wertigkeit der relativen Pollensummen
- Tab. 5-2:** Verteilung der Ränge (1-7) im Hinblick auf die einzelnen Stationen
- Tab. 5-3:** Auswertung mit Hilfe multipler linearer Regressionen (Pollen- und Klimadaten) [Tabelle I & II]
- Tab. 5-4:** Einfache lineare Regressionen: Berechnung des Korrelationskoeffizienten r für Mostertrag und Klimadaten
- Tab. 5-5:** Einfache lineare Regressionen: Berechnung des Korrelationskoeffizienten r für Öchslegrade und Klimadaten
- Tab. 5-6:** Einfache lineare Regressionen: Berechnung des Korrelationskoeffizienten r für Säuregehalt und Klimadaten
- Tab. 5-7:** Auswertung mit Hilfe multipler linearer Regressionen (Öchsle- und Klimadaten)
- Tab. 5-8:** Auswertung mit Hilfe multipler linearer Regressionen (Säuregehalt- und Klimadaten)
- Tab. 5-9:** Einfache lineare Regressionen: Berechnung des Korrelationskoeffizienten r für die Tage mit Pollenflug und den Mostertrag
- Tab. 5-10:** Einfache lineare Regressionen: Berechnung des Korrelationskoeffizienten r für die Tage mit Pollenflug und die Öchslegrade
- Tab. 5-11:** Einfache lineare Regressionen: Berechnung des Korrelationskoeffizienten r für die Tage mit Pollenflug und den Säuregehalt
- Tab. 5-12:** Einfache lineare Regressionen: Berechnung des Korrelationskoeffizienten r für die die relative Pollensumme und den Mostertrag

- Tab. 5-13:** Einfache lineare Regressionen: Berechnung des Korrelationskoeffizienten r für die die relative Pollensumme und die Öchslegrade
- Tab. 5-14:** Einfache lineare Regressionen: Berechnung des Korrelationskoeffizienten r für die die relative Pollensumme und den Säuregehalt
- Tab. 5-15:** Einfache lineare Regressionen: Berechnung des Korrelationskoeffizienten r für die die absolute Pollensumme und den Mostertrag
- Tab. 5-16:** Einfache lineare Regressionen: Berechnung des Korrelationskoeffizienten r für die die absolute Pollensumme und die Öchslegrade
- Tab. 5-17:** Einfache lineare Regressionen: Berechnung des Korrelationskoeffizienten r für die die absolute Pollensumme und den Säuregehalt
- Tab. 5-18:** Auswertung mit Hilfe multipler linearer Regressionen (Tage mit Pollenflug und Mostertrag)
- Tab. 5-19:** Auswertung mit Hilfe multipler linearer Regressionen (Tage mit Pollenflug und Öchslegrade)
- Tab. 5-20:** Auswertung mit Hilfe multipler linearer Regressionen (Tage mit Pollenflug und Säuregehalt)
- Tab. 5-21:** Auswertung mit Hilfe multipler linearer Regressionen (relative Pollensumme und Mostertrag) [Tabelle I & II]
- Tab. 5-22:** Auswertung mit Hilfe multipler linearer Regressionen (relative Pollensumme und Öchslegrade)
- Tab. 5-23:** Auswertung mit Hilfe multipler linearer Regressionen (relative Pollensumme und Säuregehalt)
- Tab. 5-24:** Auswertung mit Hilfe multipler linearer Regressionen (absolute Pollensumme und Mostertrag)
- Tab. 5-25:** Auswertung mit Hilfe multipler linearer Regressionen (absolute Pollensumme und Öchslegrade)
- Tab. 5-26:** Auswertung mit Hilfe multipler linearer Regressionen (absolute Pollensumme und Säuregehalt)
- Tab. 5-27:** Standardabweichung der ausgewählten Sorten (a-g) in Tagen [d]
- Tab. 5-28:** Überblick über die mittleren Eintrittstermine der untersuchten phänologischen Stadien
- Tab. 5-29:** Überblick über die mittleren Abweichungen der zwei Zeitabschnitte 1979 bis 1992 und 1992 bis 2005 (partielle langjährige Mittelwerte)

- Tab. 5-30:** Trendanalysen der phänologischen Stadien für die Sorten (a) bis (g).
Angaben ist der lineare Trend in Tagen [d]
- Tab. 5-31:** Trendanalysen der phänologischen Stadien für die Sorten (a) bis (g)
- Tab. 5-32:** Andaueranalyse (angegeben ist die Veränderung der Andauer in Tagen [d])

Verzeichnis der Abkürzungen

a) Abkürzungen und Akronyme

AGRO.M	-	Ecole Nationale Supérieure Agronomique de Montpellier
B	-	geographische Breite
BBCH	-	Biologische Bundesanstalt, Bundessortenamt und Chemische Industrie
BMU	-	Bundesministerium für Umwelt, Naturschutz und Reaktorsicherheit
BS/Blauer Sp.	-	Blauer Spätburgunder
BT/Blauer Tr.	-	Blauer Trollinger
BW	-	Baden-Württemberg
CEMAGREF	-	Institut de recherche pour l'ingénierie de l'agriculture et de l'environnement
CNRS	-	Centre national de la recherche scientifique
COP	-	Conferences of the Parties
CORINE	-	Coordinated Information on the European Environment
DWD	-	Deutscher Wetterdienst
EAN	-	European Aeroallergen Network
EEA	-	European Environment Agency
FR	-	Pollenstation des PID in Freiburg
GER	-	Pollenstation des PID in Gerlingen
ges.	-	gesamt
GIS	-	Geographisches Informationssystem
HD	-	Pollenstation des PID in Heidelberg
IEA	-	International Energy Agency
IPCC	-	Intergovernmental Panel on Global Change
Jh.	-	Jahrhundert
JRC	-	Joint Research Center
K	-	Kerner
KA	-	Pollenstation des PID in Karlsruhe

VERZEICHNIS DER ABKÜRZUNGEN

KÖN	-	Pollenstation des PID in Königsfeld
KLIWA	-	Klimaveränderung und Wasserwirtschaft
L	-	geographische Länge
L.	-	Carl von Linné (botanisches Autorenkürzel)
Lem	-	Lemberger
LÖW	-	Pollenstation des PID in Löwenstein
LUBW	-	Landesanstalt für Umwelt, Messungen und Naturschutz Baden-Württemberg
LVWO	-	Landwirtschaftliche Versuchsanstalt für Obst- und Weinbau
MA	-	Millennium Ecosystem Assessment
max.	-	maximale
MAX	-	Maximum
MEAN	-	Mittelwert
min.	-	minimale
MIN	-	Minimum
MODIS	-	Moderate-Resolution Imaging Spectroradiometer
MT/Müll.-Th.	-	Müller-Thurgau
n	-	Fallzahl
N	-	Nord
NASA	-	National Aeronautics and Space Administration
n. Chr.	-	nach Christus
NN	-	Normalnull
O	-	Ost
PID	-	Polleninformationsdienst / Stiftung Deutscher Polleninformationsdienst
P/Portugies.	-	Portugieser
PREC	-	Niederschlag
r	-	Korrelationskoeffizient
r ²	-	Bestimmtheitsmaß
Ri	-	Riesling
r _{mean}	-	mittlerer Korrelationskoeffizient
Ru	-	Ruländer
Sch/Schwarzr.	-	Schwarzriesling

SD/STABW	-	Standardabweichung
seit.	-	seitig
Si	-	Silvaner
sig.	-	Signifikanz
SPSS	-	Statistical Product and Service Solutions
SUN	-	Sonnenschein
STALA	-	Statistisches Landesamt
SW	-	Südwest
TEMP.	-	Temperatur
TG	-	Testguideline
T _{max}	-	Maximaltemperatur
T _{mean}	-	Mittlere Temperatur
T _{min}	-	Minimaltemperatur
UVOP	-	International Union for the Protection of New Varieties of Plants
ü.	-	über
v. Chr.	-	vor Christus
WAN	-	Pollenstation des PID in Wangen
WB/Weiß. Burg.	-	Weißer Burgunder
WBGU	-	Wissenschaftlicher Beirat der Bundesregierung
WCED	-	World Commission on Environment and Development
WIN	-	Wind
x	-	abhängige Variable
y	-	unabhängige Variable

b) Chemische Symbole, Verbindungen und Maßeinheiten

%	-	Prozent
‰	-	Promille
°C	-	Grad Celsius
CO ₂	-	Kohlenstoffdioxid
h	-	Stunde
ha	-	Hektar

VERZEICHNIS DER ABKÜRZUNGEN

hl/ha	-	Hektoliter pro Hektar
km	-	Kilometer
km ²	-	Quadratkilometer
l/min	-	Liter pro Minute
m	-	Meter
m ²	-	Quadratmeter
m ³	-	Kubikmeter
Mio.	-	Millionen
ml	-	Milliliter
mm	-	Millimeter
mm/h	-	Millimeter pro Stunde
m/s	-	Meter pro Sekunde
°Oe	-	Öchslegrad
ppm	-	parts per million (10 ⁻⁶)

Anmerkung: Die Abkürzungen der einzelnen Pollentaxa sind dem Kapitel 4 - Tab. 4-1 zu entnehmen.

Zusammenfassung

Die vorliegende Arbeit hat zum einen den Bereich der Palynologie, zum anderen das Gebiet der Phänologie als Forschungsschwerpunkt. Es werden im Rahmen der dargelegten Untersuchungen die zum Zwecke allergologischer Vorhersagen erhobenen Pollenflugdaten der Stiftung Deutscher Polleninformationsdienst (PID) im Hinblick auf eine mögliche Nutzung einzelner oder mehrerer Taxa als Instrument zu einer frühzeitigen Ernteertragsvorhersage bzw. zur Vorhersage von Ernteertragsparametern bei Nutzpflanzen sowie auf die Identifikation und Erkennung von möglichen Veränderungen in der Phänologie bzw. Vegetation analysiert. Hierbei macht man sich die Tatsache zu Nutze, dass Pollenfloren bzw. Vegetationsgemeinschaften auf externe Einflüsse direkt reagieren. Bei diesen Untersuchungen wurden insgesamt 25 Taxa von Bäumen und krautigen Pflanzen berücksichtigt. Arbeitsgebiet der gesamten Studie sind ausgewählte Regionen bzw. Lokalitäten innerhalb Baden-Württembergs/SW-Deutschlands. Über eine Zeitspanne von bis zu 17 Jahren wurden hierzu die aus Pollenflugfallen entstammenden Pollenflugdaten sieben verschiedener Lokalitäten statistisch ausgewertet und auf Zusammenhänge und zeitliche Trends hin untersucht. Neben den Pollenflugdaten wurden dazu vom Deutschen Wetterdienst (DWD) bzw. dem Statistischen Landesamt Baden-Württemberg (STALA BW) bezogene, mehrere Jahre abdeckende Datensätze von Klima- und Ernteertragsparametern in die Studie integriert. Des Weiteren werden an einem Einzelstandort der Landwirtschaftlichen Versuchsanstalt für Wein- und Obstbau (LVWO) phänologische Daten diverser Weinvarietäten auf Veränderungen und Trends bezüglich ihrer Phaseneintrittstermine untersucht. In einem abschließenden Untersuchungsschritt wird zudem der Polleneintrag der einzelnen Pollenstationen in Bezug zur Umgebungsvegetation bzw. zur Landnutzung gestellt, um mögliche Zusammenhänge oder Muster aufzudecken. Die Identifizierung, Visualisierung und Darstellung der Zusammenhänge erfolgt über ausgewählte Methoden. Die über SPSS[®] 12.0.1 durchgeführten statistischen Analysen umfassen für die einzelnen Untersuchungsbereiche, d.h. bezüglich der Pollen-, Ernteertrags-, Klima- und phänologischen Daten, sowohl einfache als auch multiple lineare Regressionen. Zudem erfolgte die Auswertung der phänologischen Daten mit Hilfe von EXCEL bzw. für die Landnutzungsdaten der CORINE Landnutzungskarte mit ArcGIS 3.1 und 8/ArcMAP. Die Ergebnisse belegen, dass sich die Pollenflugdaten aus Pollenfallen für die Vorhersage von Ernteertragsparametern eignen. Dabei gilt dies jedoch in regionalem Maßstab und in Abhängigkeit zu den einzelnen betrachteten Weinvarietäten. Sowohl die Korrelationen der Pollen- und Klimadaten als auch die der Wein- und Klimadaten ergeben hier insgesamt

geringere und zugleich weniger signifikante Zusammenhänge als die Korrelationen zwischen Pollen- und Weindaten. Somit erweisen sich die Pollendaten als ein integrierender Faktor für die auf die Erntertragsparameter einwirkenden diversen Einflussgrößen wie beispielsweise Klima und Boden. Die innerhalb dieses Projektes gewonnenen Erkenntnisse eröffnen damit neue Anwendungsmöglichkeiten der Palynologie, speziell im Bereich der Erntevorhersage. Die phänologischen Untersuchungen ergeben für die ausgewählten Pollenfloren je nach analysiertem Taxon Trends bezüglich einer Ab- bzw. Zunahme der Pollensummen und der Tage mit Pollenflug. Für die einzelnen untersuchten Weinvarietäten zeigt sich eine deutliche Verfrühung der phänologischen Phasen von zwei bis drei Wochen. Somit spiegelt sich der in den letzten Dekaden beobachtete Klimawandel mit deutlichen Anzeichen in der Vegetation bzw. deren jährlichem Ablauf wieder.

Abstract

On one hand, the main research of the presented study is the area of Palynology; on the other hand it is the field of Phenology. Analyzed within the scope of the defined investigations is pollen flight data collected by the “Stiftung Deutscher Polleninformationsdienst“ (PID) for the purpose of allergological forecasts. This data concerns the use of one or more taxa as an instrument of crop yield prediction and prediction of crop yield parameters of useful plants at an early stage in the year. Additionally, the identification and recognition of possible changes in Phenology and vegetation is of further interest. Particularly convenient is the fact that pollenflors and vegetation communities react directly to external influences. Twenty-five taxa of trees and herbal plants in total have been considered for this research. The project research area consists of selected regions and localities with Baden-Wurttemberg/SW-Germany. Pollen flight data from pollen traps at 7 different localities have been statistically evaluated and examined for correlations and temporal trends over a time span of up to 17 consecutive years. In addition to the pollen flight data, climate- and crop yield parameter data obtained by the “Deutscher Wetterdienst” (DWD) and the “Statistisches Landesamt Baden-Württemberg” (STALA BW) over several years have been integrated into the study. Furthermore, at one single location of the “Landwirtschaftlichen Versuchsanstalt für Wein- und Obstbau” (LVWO), phenological data of diverse wine varieties were examined for possible changes and trends concerning their phase entry dates. In the final research step, the pollen input at the individual pollen stations was evaluated with special regard to the surrounding vegetation and/or to the land use in order to reveal possible correlations or patterns. The identification, visualization and representation of the coherences take place using selected methods. The statistical analyzes conducted by SPSS[®] 12.0.1 (in regards to pollen data, crop yield data, climate data and phenological data as) consists of simple as well as multiple linear regressions. Furthermore, the analysis of the phenological data is carried out with EXCEL and with ArcGIS 3.1 & 8/ArcMAP for the land use data of the CORINE land use map. The results suggest that pollen flight data derived from pollen traps are suited for predicting crop yield parameters. Yet, this is valid on a regional scale and in depends on the individual wine varieties being observed. Both correlations of pollen and climate data and wine and climate data result in fewer, yet, at the same time, significant coherences compared to the correlations between pollen and wine data. Thus, pollen data proves to be an integrating factor of the diverse actuating variables like e.g. of climate and soil conditions affecting the crop yield parameters. Therefore, insights gained from this project promote new application possibilities

for Palynology, especially in the field of crop yield prediction. Depending on the analyzed taxon, the phenological investigations of the selected pollenflors result in an up- and/or downward trend of the pollensum and the days with pollen flight. There can be seen in the individually examined wine varieties a significant, two to three week premature phenological phase arrival. This trend has also become evident in vegetation and/or yearly cycles as a result of the climate change observed over the past decades.

1 Einleitung

1.1 Stichwort „Globaler Wandel“:

Grundlagen, Auswirkungen auf Klima und Vegetation,
Bevölkerungswachstum sowie Nutzungsmöglichkeiten
palynologischer und phänologischer Daten

Die Umwelt- und Klimabedingungen auf unserem Planeten sind seit dem Zeitpunkt seiner Entstehung ständigen Veränderungen unterworfen (LOZAN et al. 1998, PETIT et al. 1999, CROWLEY 2000, ZACHOS et al. 2001, CRUCIFIX et al. 2002, SCHÖNWIESE 1995, 2003a, KLIWA 2006, RAHMSTORF & SCHELLNHUBER 2007). Dennoch stehen diese natürlichen Abläufe heute in Zusammenhang mit menschlichen Eingriffen und werden dabei durch letztere insbesondere in ihrer Geschwindigkeit beeinflusst (SIMMONS 1996, CROWLEY 2000, CUBASCH & KASANG 2000, IPCC 2001, 2007, SCHÖNWIESE 2002, 2003b, 2003c, 2004, MA 2005). Zahlreiche menschliche Aktivitäten, wie beispielsweise die Verbrennung fossiler Energieträger, die großflächige Abholzung von Wäldern und eine extensive Landwirtschaft (BERGLUND 2003, RUDDIMAN 2003, CARR et al. 2006) sowie die weitgehende Veränderung natürlicher Landschaften haben das Weltklima und das Antlitz der Erde bereits verändert und werden das auch in Zukunft tun (IPCC 2007, DEFRIES 2002). Des Weiteren werden die beschriebenen Abläufe durch eine immer schneller wachsende Weltbevölkerung beschleunigt. Dies trifft insbesondere für die Entwicklungsländer zu, welche zeitgleich sowohl eine Motorisierung der Massen, als auch eine wachsende Industrialisierung erfahren (GLENN & GORDON 2006). Neben der durch Landverbrauch und Ausstoß von Treibhausgasen stattfindenden Eingriffe in die Umwelt stellt sich zunehmend das Problem der Nahrungssicherung, welches von entscheidender Bedeutung für Millionen von Menschen ist. Zudem wird auch dieser Faktor von den Klimaveränderungen stark beeinflusst (PARRY et al. 1999, MEYERSON 2002). Steigende Konzentrationen von CO₂, Methan, Stickoxiden und FCKWs in der Atmosphäre sind generell als Verursacher der globalen Erwärmung anerkannt (CHARLSON et al. 1992). Seit Beginn der Industrialisierung stieg der CO₂-Gehalt der Atmosphäre von einem relativ stabilen Wert von 280 ppm im letzten Jahrtausend auf nunmehr 370 ppm im Jahre 2007 an. Die jährliche Steigerungsrate liegt bei ungefähr 1,5 ppm (KLIWA 2006c). Ohne entscheidende Schritte und Maßnahmen zur Reduzierung der Treibhausgase werden die CO₂-Konzentrationen voraussichtlich bis zum Jahre 2030 auf über 60% des

Niveaus des Jahres 1990 ansteigen (IEA 2004). LEUSCHNER (2004) benennt model-berechnete Werte von 500 bis 1000 ppm.

Insgesamt wird die durch die menschlichen Eingriffe stetig wachsende Gefährdung für das System Erde als eines der Hauptprobleme unserer heutigen Gesellschaft betrachtet. Daher sind die beschriebenen Ereignisse unter dem Schlagwort „Globaler Wandel“ seit mehr als einem Jahrzehnt im Forschungsbereich einiger Naturwissenschaften und erreichten zudem auf Grund unserer durch die Medien bestimmten Gesellschaft die Aufmerksamkeit der Politiker und der allgemeinen Öffentlichkeit (NICHOLLS & MIMURA 1998, EEA 2005, IPCC 2001, 2007). Bereits 1992, im Vorfeld des Umweltgipfels in Rio, ernannte die Deutsche Bundesregierung einen unabhängigen wissenschaftlichen Beirat, den WBGU. Im Rahmen einer Klima-Untersuchungs-Kommission wurden 1995 vom Deutschen Bundestag Empfehlungen hinsichtlich einer angemessenen Klimaschutzpolitik gegeben. Man befasste sich nun auch auf internationaler Ebene (WCED 1987) mit dem Problem des globalen Wandels. Ein spezielles Augenmerk ruhte bei den sogenannten COPs dabei auf einer stetig wachsenden und nach Energie, Ressourcen und ausreichendem Nahrungsangebot hungernden Weltbevölkerung. Mit Inkrafttreten des Kioto-Protokolls am 16. Februar 2005 wurden erste zaghafte internationale Schritte unternommen, um dem ungebremsten anthropogenen Ausstoß von Treibhausgasen gegenzusteuern (BMU 2005). Dabei war und ist der entscheidende Punkt für die Entscheidungsträger, ein allgemein anwendbares und durchsetzbares Gesetz mit dem Ziel der Reduktion der Treibhausgase gegen die ökonomischen Interessen aller Nationen zu schaffen. Dieses Vorhaben könnte insbesondere durch Maßnahmen im Energiesektor gefördert werden (SCHÖNWIESE 2003b). Die jüngste Absichtserklärung wurde der Weltöffentlichkeit von den „Führern der Welt“ medienwirksam im Juni 2007 auf dem G8 Gipfel in Heiligendamm/Deutschland präsentiert.

Die letzten Berichte des IPCC, datierend aus den Jahren 2001 und 2007, benennen die statistisch berechnete Erwärmung des 20. Jahrhunderts als ein Phänomen, welches all das übersteigt, was während der letzten 1000 Jahre bezüglich der Temperaturschwankungen der nördlichen Hemisphäre beobachtet wurde. Mit einem Anstieg von ungefähr 0,6 °C pro Jahrhundert erfuhr dieses, auf das gesamte Jahrtausend gesehen, laut JONES et al. (2001) den stärksten Trend globaler Erwärmung. Entsprechend FRAEDRICH et al. (2001) wurden im letzten Jahrhundert, und während der letzten zwei Dekaden im Besonderen, signifikante Verschiebungen der Erdklimazonen festgestellt. Zusammen mit einer durchschnittlichen

Nordverschiebung der Isothermen von 120 km beschreibt das IPCC (1996) für Europa einen überdurchschnittlichen Anstieg von über 0,8 °C. Gemäß der Abschätzungen des IPCC (2007) wird erwartet, dass sich die globale Durchschnittstemperatur bis zum Jahr 2100 um 1,1 bis 6,4 °C im Vergleich zum Jahre 1990 erhöht. Dabei reichen die Szenarien von einer ungebremsten Entwicklung bis hin zu einer ökologischen und nachhaltigen Entwicklung. KASANG (2004) nimmt an, dass die Menschheit das Klima in einer Zeitspanne von 100 Jahren in ähnlich radikaler Weise verändern wird, wie es die Schwankung der Erdbahnparameter in der Vergangenheit über tausende von Jahren taten. Zwischen 1931 und 2000 stieg die mittlere Lufttemperatur für Süddeutschland um ungefähr 0,5 bis 1,2 °C. Innerhalb dieser Zeitspanne haben die 1990er Jahre, mit dem Dezember als dem am stärksten betroffenen Monat (1,8 - 2,7 °C), die dramatischsten Anstiege erfahren (KLIWA 2006c). Zusätzlich hat sich das Niederschlagsmuster für Deutschland verändert. Das Land erfährt nun zum Einen höhere Winterniederschläge mit beträchtlich milderen Temperaturen, zum Anderen eine wenn auch geringe Abnahme an Niederschlägen für die zunehmend warmen Sommermonate (KLIMASTATEMENT 2003). Es gibt klare Hinweise dafür, dass diese Veränderungen durch anthropogen emittierte Treibhausgase getriggert werden (SCHMITH 2001, BISSOLLI 2002a, TINZ 2003).

Signifikante Veränderungen sind im globalen System bereits sichtbar. Insbesondere sensible Ökosysteme wie Bergregionen, Küstenbereiche und Feuchtgebiete sind hochanfällig und gefährdet (EEA 2005). Mit Rückblick auf die vergangenen 150 Jahre zeigen bereits heute große Teile der Alpengletscher durch einen Temperaturanstieg von ungefähr einem halben Grad starke Rückzüge (ESCHER-VETTER 2001). Zum Ende dieses Jahrhunderts hin werden die Alpen voraussichtlich eisfrei sein (HÄBERLI & BURN 2002, ZEMP et al. 2006). Die zunehmende Anzahl an Extremereignissen, wie Starkregenfälle und Überflutungen, Hitzewellen, Stürme und Sturmfluten, mit einem generellen Anstieg der Temperatur sind von besonderem Interesse (HUPFER & SCHÖNWIESE 1998, EASTERLING et al. 2000, BISSOLLI et al. 2002a, GRABL 2002, GRIESER & BECK 2003, EEA 2004a, b). Auch wenn es einige positive Auswirkungen wie beispielsweise eine verlängerte Vegetationsperiode für die Landwirtschaft zusammen mit einer erhöhten Produktivität der Pflanzen gibt, sind viele Auswirkungen von Nachteil und zudem nicht einmal annähernd erforscht (MYNENI et al. 1997, MORISON & LAWLOR 1999, EEA 2005). Neben den genannten Faktoren ist die polwärtige Ausbreitung wärmeliebender Pflanzen und Tiere, sowie zu einem gewissen Maße von Seuchen, Schädlingen und Krankheitserregern ein zusätzlicher Indikator für eine globale

Klimaveränderung (RAPP 2000). Einige neuere Studien behandeln das Thema der Verschiebung der phänologischen Phasen, sowie des früheren Beginns bestimmter Entwicklungsstadien innerhalb der Pflanzen (KLANTE 1986, CHMIELEWSKI 1996, BRASLAVSKA & KAMENSKY 1999, MENZEL 2000, RÖTZER & CHMIELEWSKI 2001, BISSOLLI & SCHNADT 2002, FABIAN 2002, SPARKS & MENZEL 2002, CHMIELEWSKI 2003, BISSOLLI & SCHNADT 2003). All diese Publikationen resultieren hauptsächlich aus einem phänologischen Beobachtungsnetz mit ungefähr 1500 Stationen innerhalb ganz Europas.

Da die Menschheit die unseren Alltag beeinflussenden Veränderungen bereits wahrnimmt, ist es von besonderem Interesse diese Veränderungen der Umwelt und Vegetation aufzuzeichnen und zu quantifizieren, sie zu interpretieren und entsprechende Prognose- oder Monitoringinstrumente zu entwickeln, sowie Auswege oder Möglichkeiten der Anpassung zu entwickeln. Da dieses Thema in seiner Gesamtheit komplex und vielschichtig ist, ist es Gegenstand unzähliger Studien, jedoch dann mit überwiegendem Fokus auf die phänologischen Entwicklungsstadien der Pflanzen und nicht auf pollenfloristische Untersuchungen. Neben diesem „traditionellen Ansatz“ will die vorliegende Studie deshalb einen Beitrag dazu leisten, das Potential der Palynofloren im Hinblick auf die Erkennung und Identifikation von Veränderungen in der Vegetation sowie einer möglichst frühzeitigen Ernteertragsvorhersage zu beleuchten. Arbeitsgebiet ist dabei Baden-Württemberg/SW-Deutschland.

In einem ersten Schritt möchte der Autor zum Zwecke allergologischer Vorhersagen erhobene Pollenflugdaten hinsichtlich der möglichen Nutzung einzelner oder mehrerer Taxa als Instrument zur Ernteertragsvorhersage bzw. zur Vorhersage von Ernteertragsparametern bei Nutzpflanzen untersuchen. Es ist bekannt, dass die Blühintensität ein wichtiger Faktor für die Reproduktion einer jeglichen Pflanze darstellt. Daher ist davon auszugehen, dass es eine Beziehung zwischen Produktivität und Pollenflug gibt. Dies wurde in der Tat bereits durch unterschiedliche Studien, beginnend in den 80er Jahren, belegt. Dennoch behandeln alle diese Studien lediglich das Vorhersagepotential derjenigen Pollenart, welche direkt von der untersuchten Nutzpflanze (beispielsweise Wein) herrührt (COUR & VAN CAMPO 1980a, b, COUR & VILLEMUR 1985, HUGLIN & SCHNEIDER 1985, BOOYSEN & MARTIN 1985, BESSELAT 1987, PANIGAI & MONCOMBLE 1988, BESSELAT & COUR 1990, 1993, 1994, DUMOT et al. 1993, PALM & DAGNELIE 1993, FORNACIARI & ROMANO 1995, JRC 1996, BESSELAT et al. 1996, 1997, CEMAGREF & CNRS 1996, CRISTOFOLINI & GOTTARDINI 2000, DUMOT &

SNACKERS 2001, CUNHA et al. 2003). Unter der Annahme, dass die Pollenflugdaten, wie sie mit Hilfe der Pollenflugfallen zu allergologischen Zwecken gewonnen werden, zudem einen integrativen Faktor in Hinblick auf regionale Klima- und Bodenbedingungen darstellen, bieten diese auf Baumtaxa und krautigen Taxa basierenden Pollendaten ein vergleichsweise kostengünstiges und wirkungsvolles Instrument der Vorhersage. Die Ausdehnung der Anwendung auf andere Nutzpflanzen wie beispielsweise Apfel oder Zuckerrübe ist denkbar und mit Blick auf zukünftige Studien angedacht.

Zweitens möchte die Arbeit die zu beobachtenden Veränderungen in der Phänologie aufgreifen. Zu diesem Zwecke werden die über eine Zeitspanne von maximal 17 Jahren gewonnenen Pollenflugdaten aus Pollenflugfallen verschiedener Lokalitäten in Baden-Württemberg statistisch ausgewertet und auf zeitliche Trends hin untersucht. Insgesamt wurden bei diesen Untersuchungen 25 verschiedene Taxa berücksichtigt. Des Weiteren wurden an einem Standort in Baden-Württemberg phänologische Daten von Wein auf Veränderungen und Trends bezüglich ihrer Phaseneintrittstermine untersucht. Im Jahre 2003 beschrieb LÜERS in seiner Arbeit das Fehlen detaillierter phänologischer Untersuchungen von Wein. Angesichts dieser Tatsache beobachtet vorliegende Studie für den beschriebenen Standort zugleich sieben Weinvarietäten mit einer maximalen Zeitspanne von 27 Jahren. Somit wird neben der allgemeinen phänologischen Betrachtung von Wein auch der Vergleich ausgewählter Varietäten untereinander ins Zentrum gerückt.

In einem dritten Untersuchungsschritt soll der Polleneintrag der einzelnen Stationen in Bezug zur Umgebungsvegetation bzw. der Landnutzung gestellt werden. Bisher wurden von verschiedenen Autoren vor allem Studien hinsichtlich einer Nutzung von Pollenfloren mit dem Ziel einer Vegetationsbestimmung präsentiert. Dabei handelte es sich zudem überwiegend um Pollen, welche aus Oberflächenproben bestimmter Vegetationseinheiten gewonnen wurden. Anschließend wurden die Pollenspektren zur Mustererkennung dieser Vegetationseinheiten herangezogen.

1.2 Zielsetzung der Studie

In der vorliegenden Studie sollen nachfolgende Datensätze des Arbeitsgebiets Baden-Württemberg mit Hilfe statistischer Analysen auf ihre jeweiligen Zusammenhänge hin untersucht werden:

- 1) Pollenflugintensität einzelner Taxa (Pollendaten) mit Wetterparametern (Klimadaten)
- 2) Ernteertragsparameter von Nutzpflanzen, mit Wein als gewählttem Studienmodell (Weindaten), mit Wetterparametern (Klimadaten)
- 3) Pollenflugintensität einzelner Taxa (Pollendaten) mit Ernteertragsparametern von Wein (Weindaten)

Die Studie untersucht zudem:

- 4) Veränderungen in der Phänologie ausgewerteter Pollendaten und verschiedener Weinvarietäten (Pollendaten und phänologische Daten) sowie die Stärke der durch Klimaveränderungen verursachten Verschiebungen
- 5) Pollenflugintensität einzelner Taxa (Pollendaten) in Abhängigkeit zur Umgebungsvegetation (Landnutzungsdaten)

zu 1): In welchem Maße sind die Pollenflugdaten des PID mit dem regionalen Klima der Pollenstationen korreliert? Existieren signifikante Korrelationen zwischen ausgewählten Taxa und einzelnen oder kombinierten Wetterparametern?

zu 2): Die Abhängigkeit der Ernteerträge von Klimaeinflüssen oder Wetterparametern ist grundsätzlich bekannt. Wie stark ist die Beziehung zwischen Wetter- und Ernteertragsparametern? Können mit Hilfe dieser Beziehungen und der Anwendung statistischer Methoden Vorhersagen gemacht werden?

zu 3): Die Blühintensität ist ein wichtiger Faktor für den Reproduktionsprozess und -Erfolg einer jeden Pflanze: üblicherweise ist daher der Reproduktionserfolg der Pflanzen und damit zugleich der Ertrag positiv mit deren Blühintensität korreliert. Diese Beziehung kann dazu verwendet werden, zukünftige Ernten bzw. Ertragsparameter vorherzusagen. Ist es möglich die Pollenflugdaten des PID, also artfremde Taxa, zur Vorhersage von Produktionsparametern untersuchter Nutzpflanzen, in vorliegender Studie von Wein, zu verwenden?

zu 4) Auf Grund des stattfindenden, vermutlich zumeist anthropogen verursachten Klimawandels werden kontinuierlich die bereits auftretenden Veränderungen in der Phänologie der Pflanzen erfasst. Inwieweit können zum einen die erfassten Pollenflugdaten des PID und zum anderen die aufgezeichneten phänologischen Entwicklungsstadien verschiedener Weinvarietäten genutzt werden, um phänologische Verschiebungen über einen bestimmten Zeitabschnitt festzustellen oder zu quantifizieren?

zu 5) Die taxonomische Zusammensetzung und Pollenhäufigkeit an den einzelnen Messtationen wird durch deren Umgebungsvegetation beeinflusst. In welchem Maße wird die Landnutzung bzw. das Vegetationsmuster in den aufgezeichneten Pollenflugdaten der Pollenfallen reflektiert? Gibt es signifikante Korrelationen zwischen dem Polleneintrag und der Landnutzung bzw. dem Vegetationsmuster in Abhängigkeit zu ausgewählten Distanzen zur Pollenfalle?

2 Weinbau - Ein Exkurs

In diesem Kapitel wird die Geschichte des Weines sowie dessen generelle Verbreitung in Raum und Zeit beschrieben. Da die Grundlagen des Weinbaus wie Klima, Boden und Standort von entscheidender Bedeutung für die Entwicklung und die Qualität der verschiedenen Weinsorten sind, sollen auch sie hier erläutert werden.

2.1 Geschichte

Früheste Fossilfunde von Samen der Weintraube können bis zur Kreidezeit auf ein Alter von ca. 80 Millionen Jahren zurückdatiert werden. Schon im Tertiär, vor ca. 60 Millionen Jahren, existierte eine gewisse Bandbreite an Weinarten (VOGT & SCHRUF 2000). Vor ungefähr einer Million Jahre verdrängte die einsetzende Eiszeit die Rebe aus Mitteleuropa in die eisfreien Gebiete des Mittelmeers. Nach dem Ende der Eiszeit besiedelte die Weinrebe Mitteleuropa erneut - *Vitis silvestris* aus Südfrankreich, Süditalien und den Balkanregionen; zumindest *Vitis caucasica* nahm dabei den Weg über das Donaugebiet von Kleinasien kommend. Heutzutage werden Restpopulationen des wilden Weines, einer Schling- und Kletterpflanze, lediglich noch in den Auenwäldern der Oberrheinischen Tiefebene gefunden (HILLEBRAND et al. 2003).

Die Weinsorten der Neuzeit - *Vitis vinifera* L. - sind das Ergebnis von Auswahlprozessen, welche über die vergangenen Jahrhunderte oder möglicherweise bereits Jahrtausende hinweg stattfinden. Die Domestizierung der Rebe kann zum ersten Mal für den Zeitraum 5.000 v. Chr. im nördlichen Zagrosgebirge des heutigen Iran nachgewiesen werden (MCGOVERN et al. 1996). Entsprechend einer aktuellen Studie könnte der Weinanbau älter als 9.000 Jahre sein. Archäologische Ausgrabungen in der chinesischen Provinz Henan geben zu dieser Annahme klare Hinweise. Es wurden dabei Tonkrüge, gefüllt mit Überresten eines fermentierten Getränks basierend auf Reis, Honig und Früchten (Hagedorn oder Trauben) gefunden (MCGOVERN et al. 2004). Der Weinbau breitete sich dann über den gesamten Nahen Osten aus, wobei die Griechen um das Jahr 1700 v. Chr. zum ersten Mal Wein im eigentlichen Sinne kultivierten. Die Römer, welche das Wissen um den Weinbau von den Griechen und Etruskern übernahmen, sind dann für dessen Verbreitung über Europa, z.B. Spanien und Frankreich, hinweg verantwortlich (SEITZ 1989, MARTIN-KILCHER 1994). In Deutschland wurde Weinbau beginnend im 1. Jh. n. Chr. an den Flüssen Rhein, Mosel und Ahr betrieben.

Im 8. Jh. n. Chr. bildeten zunächst die Klosteranlagen die Zentren des Weinbaus. Innerhalb des Zeitabschnittes des sogenannten Klimaoptimums bis zum Ende des 16. Jh. n. Chr., mit dem Einsetzen der kleinen Eiszeit, war der Weinbau weit nördlicher als heutzutage angesiedelt (STOCK et al. 2003). Wein und damit der Weinbau wurden dann in Deutschland zunehmend populärer. Um das Jahr 1500 n. Chr. hatte sich die bestockte Fläche auf über 3000.000 ha erhöht (PHILIPPS 2001).

Im späten Mittelalter und dann der frühen Neuzeit wurde Weinbau ebenfalls in klimatisch weniger begünstigten Regionen betrieben. Aus diesem Grunde musste der Wein des Öfteren zuerst mit Hilfe von Zusätzen wie Honig und Gewürzen trinkbar gemacht werden. Dennoch wurden bereits zu dieser Zeit auf guten Lagen mit geeigneten Weinvarietäten auch damals hohe Qualitäten erzielt. Der Dreißigjährige Krieg führte in den betroffenen Gebieten dann zu starken Einschnitten (VOGT & SCHRUF 2000). Einerseits reduzierte sich die bewirtschaftete Fläche auf Grund der fehlenden Arbeitskräfte und Konsumenten dramatisch, andererseits forderten die vorbeiziehenden Soldaten hohe Mengen an Wein ein. Eine Konsequenz daraus war ein Trend hin zu Quantität statt Qualität, was zum Anbau von Sorten mit hohem Ertrag aber geringer Güte führte (SCHUMANN 1999a).

Im 19. Jh. begannen in vielen Ländern Anstrengungen zur Verbesserung der Weinqualität bzw. des Weinbaus. Neue Weinsorten und verbesserte Fermentationsprozesse wurden untersucht und eingeführt. Zusätzlich wurde die Bearbeitung der Pflanzen sowie die Kellertechnik verfeinert. Anstatt des Verschnitts verschiedener Weinsorten kam es zur Produktion sortenreiner Weine. In den 1880er Jahren markierte der weitreichende Befall europäischer Weinberge mit dem Falschen Mehltau (*Peronospora*) einen ernsthaften Rückschlag für den Weinbau. Der gesamte Weinbau in Europa wurde durch diese Pilzinfektion bedroht. Nur wenig später, um das Jahr 1890, gelangte die Reblaus (*Phylloxera*) über die U.S.A. nach Südfrankreich. Der Schädling, welcher die Wurzeln der Pflanzen befällt, breitete sich rasch über sämtliche europäischen Weinbaugebiete aus und führte zu einem Abfall in bebauter Fläche und Sortenvielfalt (VON BASSERMANN-JORDAN 1991).

Erst nach Ende des Zweiten Weltkriegs begann der Aufstieg des deutschen Weinbaus. Zum Einen hervorgerufen durch einen Anstieg der Anbaufläche und Weinqualität, im Wesentlichen jedoch ausgelöst durch verbessertes Pflanzenmaterial, neue wissenschaftliche Erkenntnisse und eine verbesserte Technologie (VOGT & SCHRUF 2000).

2.2 Grundlagen des Weinbaus - Klima, Boden und Lage

Habitat

Das Habitat der Rebe kann in Abhängigkeit zu den gemäßigten Klimazonen der Erde in zwei Gebiete aufgeteilt werden (Abb. 2-1). Das erste befindet sich in der nördlichen Hemisphäre zwischen dem 30. und 50. Breitengrad. Somit beinhaltet dieser Bereich Anbauggebiete in Europa, Asien, Nordafrika und Nordamerika. Die Hauptanbauggebiete befinden sich rund um das Mittelmeer. Die Weinanbauggebiete auf der südlichen Hemisphäre befinden sich zwischen dem 30. und 40. Breitengrad und schließen Länder oder Regionen wie Südamerika, Südafrika und Australien ein (HILLEBRAND et al. 2003).

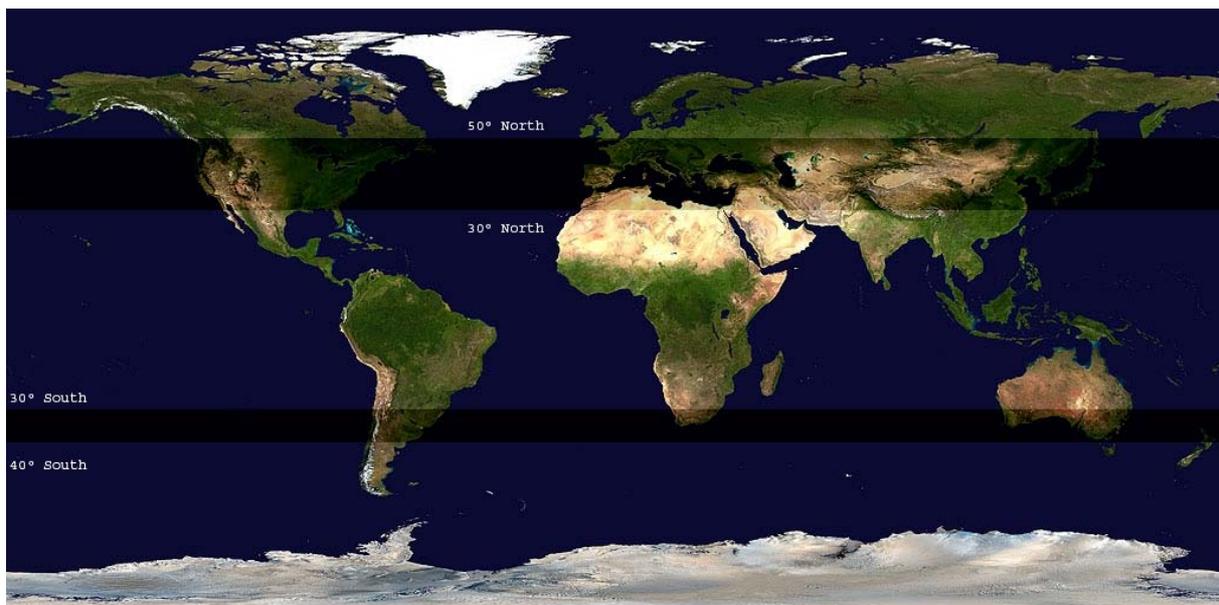


Abb. 2-1: Darstellung der Erde in Carrée Projektion (Quelle: NASA - Sensor Terra/MODIS). Schwarz eingefärbt sind die an die Klimazonen gebundenen Grenzen für den Weinbau (verändert nach HILLEBRAND et al. 2003).

Klima

Die Rebe erfordert milde Klimabedingungen. Die mittlere Jahrestemperatur sollte nicht unter ein Niveau von 9 °C fallen. Die Pflanzen reagieren zudem empfindlich auf Extremwerte. Da Deutschland zu den am nördlichsten gelegenen Weinbauländern der Welt zählt, ist es primär auf den warmen Golfstrom und seinen Einfluss auf das Klima Westeuropas zurückzuführen, dass Wein soweit nördlich zur Reife gelangt. Auch der Niederschlag spielt dabei eine bedeutende Rolle. Dabei ist nicht alleine der jährliche Gesamtniederschlag entscheidend - ungefähr 450 mm pro Jahr - sondern auch die Verteilung dieses Niederschlags über die Vegetationsperiode hinweg. Dies hängt damit zusammen, dass die Gesamtniederschlagssumme eines Jahres zwar ausreichend sein kann, aber dennoch während langer trockener Sommerperioden Wassermangel zu extremem Trockenstress führen kann. Im Gegenzug birgt eine zu hohe Niederschlagsmenge (über 700 mm) die Gefahr von Krankheitsbefall wie z.B. Peronospora (HILLEBRAND et al. 2003). Als Minimalanforderungen bezüglich des Sonnenscheins gelten 1.500 h bis 1.600 h jährlich und 1.300 h während der Vegetationsperiode (VOGT & SCHRUF 2000). Das Deutsche Weininstitut nennt bezüglich des Klimas folgende Kennzahlen als Minimalanforderung für den Weinbau: 1.300 jährliche Sonnenstunden, eine Durchschnittstemperatur von mindestens 15 °C während der Blühphase und von 18 °C während der Vegetationsphase sowie einen jährlichen Niederschlag von zumindest 400-500 ml pro m² (DEUTSCHES WEININSTITUT 2007).

Boden

Da die Wurzel Nährstoffe und Wasser über den Boden aufnimmt, ist dieses Speichermedium von zentraler Bedeutung. Zusätzlich zum Bodentyp ist es insbesondere die Dicke und Festigkeit des Bodens, sowie dessen Humusgehalt der eine bedeutende Rolle spielt. Diese Faktoren definieren im Wesentlichen die Wasserhaltekapazität sowie das Speichervermögen und ermöglichen es der Pflanze, gegebenenfalls kürzere Trockenperioden ohne nennenswerten Stress oder Schaden zu überstehen. Des Weiteren beeinflusst der Boden die Wärmespeicherung und damit die Entwicklung der Trauben sowie den Reifeprozess. Der Bodentypus und sein Grad der Verwitterung beeinflussen zudem das Absorptionsvermögen der Trauben, bestimmte Substanzen aufzunehmen, sowie letzten Endes den Geschmack und das Aroma des Weines (RUPP 1996). Wein wird innerhalb Deutschlands auf einer enormen Bandbreite verschiedener Bodenarten kultiviert. Da das Substrat des Weinbergs hinsichtlich

Bodentypus und Struktur extrem variieren kann, sind es zum einen die Geologie und zum anderen das Klima, welche für die großen Unterschiede der einzelnen Weinberge verantwortlich sind. Daher ist nicht jeder Bodentyp für jede Weinsorte geeignet. Auf Grund der hohen Diversität von Bodentypen gibt es zudem keinen standardisierten deutschen Wein sondern eine ausgedehnte Bandbreite sehr unterschiedlicher Weine (DEUTSCHES WEININSTITUT 2007).

Standort

Zum Schluss definiert der einzelne Standort das Mikroklima eines Weinbergs und hat daher beispielsweise gewaltigen Einfluss auf den Wasserhaushalt und die gesamten Modalitäten (SCHMID 1997). Da sich die Klimabedingungen mit zunehmender Höhe verschlechtern (alle 100 m nimmt die Temperatur um 0,5 bis 0,6 °C ab), ist es nahezu unmöglich Weinbau in den nördlichen deutschen Weinbaugebieten über einer Höhe von 300 m zu betreiben. Neben der Höhe spielen insbesondere die Ausrichtung (Exposition) des Weinberges, sowie die Neigung (Inklination) eine wichtige Rolle spielt. Diese Faktoren beeinflussen vor allem den Evapotranspirationskoeffizienten, welcher sich aus der Evaporation des Bodens sowie der Veratmung von Wasser durch die Pflanze (Kühlungseffekt) zusammensetzt. Die günstigsten Bedingungen für den Weinanbau in Deutschland finden sich an südlich oder südwestlich ausgerichteten Hängen geschützter Tallagen, wie sie zum Beispiel entlang des Rheins und seiner Nebenflüsse auftreten. Die Aussetzung gegenüber der Sonneneinstrahlung ist auf Hängen im Vergleich zu flachen Standorten intensiver, und zudem profitieren Hänge mit einer südlichen Ausrichtung auch von einer längeren Sonnenscheindauer. Zusätzlich ermöglicht eine vorhandene Neigung den Abfluss von kalter Luft aus dem Anbaugebiet.

2.3 Die besondere Situation Deutschlands - mit Blick auf Baden-Württemberg - im Vergleich zu Europa

Wie bereits in Kapitel 2.2 dargelegt besitzt Deutschland weltweit die am nördlichsten gelegenen zusammenhängenden Weinbauflächen. Dies kann auf die Wärmezufuhr des Golfstroms zurückgeführt werden, welcher den Weinanbau in diesen nördlich Breiten erst ermöglicht. So ist dies dagegen auf anderen Kontinenten, denen eine solche Wärmepumpe fehlt, nicht möglich. Bezüglich des Weinanbaus erfahren diese Regionen zu harte Winter sowie zu kurze bzw. zu kühle Wachstumsphasen.

Beim Vergleich deutscher mit südeuropäischen Weinanbaugebieten, wie beispielsweise in Frankreich, Spanien und Italien, bleibt zusätzlich Folgendes festzustellen:

Temperatursummen über einem Schwellenwert von 10 °C gelten generell als eine Grundvoraussetzung für den Weinanbau. Diese treten innerhalb Deutschlands seltener auf, da die Anzahl der Sonnenstunden im südeuropäischen Vergleich wesentlich geringer ist. Deutschlands führende Region um die Stadt Freiburg im Breisgau bietet lediglich 1.740 Sonnenscheinstunden, wobei Weinanbaugebiete wie Montpellier (Südfrankreich) und Sevilla (Südspanien) auf das 30jährige Mittel (1961-1990) über 2000 Sonnenscheinstunden pro Jahr zählen (VOGT & SCHRUF 2000).

Im Hinblick auf den Jahresniederschlag unterscheiden sich deutsche Standorte in der Gesamtsumme nicht wesentlich von südlichen Anbaugebieten, jedoch in dessen Verteilung. Während die Niederschläge in Südeuropa insbesondere während des Frühlings, Herbstes und Winters auftreten, gelten die Sommer als extrem trocken. Im Unterschied dazu zeichnen sich die deutschen Weinanbaugebiete durch ein Niederschlagsmaximum während der Vegetationsperiode (Mai - August) aus. So werden in Abhängigkeit vom jeweiligen regionalen Standort zwischen 39 und 48% des Jahresniederschlags innerhalb dieser Zeitspanne registriert. Im selben Zeitraum erlangt Montpellier nur ungefähr 20% und Sevilla sogar lediglich ca. 10% des Jahresniederschlags. Dementsprechend sind die deutschen Weinanbaugebiete durch einen Rückgang des Niederschlags während der Reifephase der Trauben gekennzeichnet. Des Weiteren kann die Vegetationsperiode als eine Phase angemessener Wärmezufuhr und gleichzeitig genügender Feuchte bezeichnet werden. Das

Wetter wird sowohl durch kontinentale als auch ozeanische Luftmassen beeinflusst. Aus diesem Grund sind längere Hitzeperioden wie sie in den südlichen Weinanbaugebieten des Öfteren auftreten eher selten.

Dennoch bleibt zu betonen, dass sich die Rebe in den nördlichen Anbaugebieten bezüglich der verfügbaren Sonnenstunden und Wärmezufuhr an ihrem Existenzminimum bewegt. Dies bedeutet, dass im Unterschied zu den südlichen Anbaugebieten speziell in den deutschen Anbaugebieten die jährlichen Wetterabläufe und das regionale Mikroklima einen erheblich stärkeren Einfluss auf die Ernte und die Qualität besitzen. Eine Konsequenz dieses engen „Wärmefensters“ ist, dass in Jahren ungünstiger Klimata die Trauben spätreifender Sorten wie beispielsweise vom Riesling nicht ihre volle Reife erlangen können. Die bedeutendsten negativen Wetterphänomene in den nördlichen Breiten sind strenge Winterfröste, Spätfröste, ein geringer Fruchtansatz aufgrund zu niedriger Temperaturen während der Blütephase, sowie Fäulnis der Trauben wegen zu feuchter Witterung während der Reife. Dennoch ist es eben diese Extremsituation, welche die deutschen Weine charakterisiert. So erzielen die deutschen Winzer in Jahren normaler oder guter Witterung Weine von internationaler Spitzenqualität (VOGT & SCHRUF 2000).

In Deutschland kann Wein nur in klimatisch begünstigten Gebieten mit milden Wintern und langen und ausreichend warmen Vegetationsperioden kultiviert werden. Trotz dieser Einschränkung kann der Weinbau nicht alleine an einem einzigen Klimaparameter festgemacht werden. Einen Schwellenwert scheint eine mittlere Sommertemperatur von 20 °C darzustellen. Jedoch erreicht auch das wärmste deutsche Weinbaugebiet, der Kaiserstuhl, in den Sommermonaten Juni bis August lediglich einen Wert unter 19 °C. Die mittlere Temperatur anderer deutscher Anbaugebiete erreicht sogar lediglich Werte von unter 18 °C.

Ein weiterer Marker für die Weinbaukapazität einer Region ist eine mittlere Jahrestemperatur von über 9 °C. Wiederum ist jedoch dieser Wert für sich alleine nicht aussagekräftig. So liegt zwar die mittlere Jahrestemperatur wegen der milden Winter entlang des Ärmelkanals über dem beschriebenen Niveau, Weinbau ist jedoch trotzdem nicht möglich. Der entscheidende Faktor ist vielmehr die Wechselbeziehung zwischen der mittleren Jahrestemperatur einerseits und der mittleren Sommertemperatur andererseits. Für die Kultivierung von Wein müssen beide Werte die gegebenen Mindestanforderungen an die Temperatur erfüllen. Ein weiterer Punkt ist die erforderliche Mindestanzahl an Sonnenscheinstunden - über 1.300 Stunden pro

Jahr - dieser Wert lässt sich innerhalb Deutschlands gut erreichen. In einem langjährigen Mittel fällt keines der deutschen Weinanbaugebiete unterhalb dieses Niveaus. Zusätzlich benennt das DEUTSCHE WEININSTITUT (2007) einen jährlichen Niederschlag von mindestens 400-500 ml pro m².

Als Bezugsmarke hinsichtlich des Erlangens der Reife für die spätreifenden Sorten gilt zuallererst eine frostfreie Vegetationszeit von mindestens 180 Tagen. Zum Zweiten sollte die Summe der positiven Abweichungen (April bis Oktober) für die mittleren Tagestemperaturen von 10 °C nicht wesentlich unter einen Wert von 1.000 fallen. Innerhalb Deutschlands sind diese Bedingungen prinzipiell an gut exponierten, sonnigen Hängen wie beispielsweise entlang der klimatisch begünstigten Tälern des Rheins und seiner Nebenflüsse gegeben. Daher ist es offensichtlich, dass in klimatisch weniger begünstigten Regionen der Weinbau auf süd oder südwest einfallende Standorte sowie zudem windgeschützte Bereiche begrenzt ist.

3 Arbeitsgebiet

3.1 Geographische Lage

Die vorliegende Studie wurde in Baden-Württemberg, Südwestdeutschland durchgeführt (Abb. 3-1 & 3-2). Nach Bayern und Niedersachsen ist das Land mit ungefähr 35.752 km² Deutschlands drittgrößtes Bundesland. Mit Blick auf seine Einwohnerzahl steht es, im Vergleich mit den anderen Bundesländern, ebenfalls an dritter Stelle. Mit ungefähr 10,7 Mio. Einwohnern liegt die Bevölkerung des Landes über derjenigen der Schweiz, Österreichs, Finnlands, Dänemarks oder Luxemburgs. Die größten Städte des Landes sind dabei in absteigender Reihenfolge: Stuttgart (~590.000), Mannheim (~310.000), Karlsruhe (~280.000) und Freiburg (~210.000). Auf einer Länge von 1.124 km besitzt Baden-Württemberg eine gemeinsame Grenze mit den



Abb. 3-1: Die Bundesrepublik Deutschland inkl. der 16 Bundesländer - Baden-Württemberg ist durch die grüne Färbung hervorgehoben (WIKIPEDIA 2007).

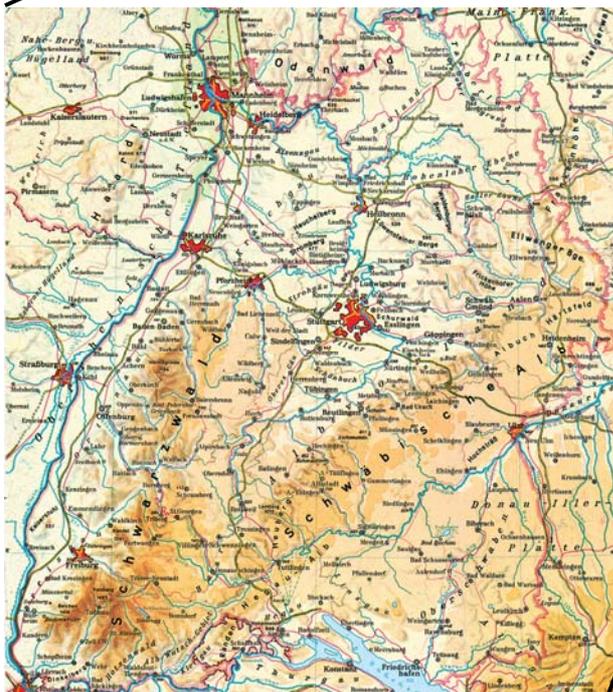


Abb. 3-2: Topographie von Baden-Württemberg (LANDESZENTRALE FÜR POLITISCHE BILDUNG BW 2007).

Bundesländern Bayern (860 km) im Osten, Hessen (171 km) im Norden und Rheinland-Pfalz (93 km) im Nordwesten. Im Westen bildet der Rhein auf 179 km eine natürliche Grenze zu Frankreich. Die Grenze zu Österreich und der Schweiz verläuft durch den Bodensee. Die Länge der Küstenlinie von Konstanz zur bayrischen Grenze beträgt ohne die Küstenlinie des Untersees 86 km. Die Grenze zwischen Baden-Württemberg und der Schweiz beträgt 316 km.

3.2 Das Klima von Deutschland und Baden-Württemberg

Deutschland nimmt zwischen der ozeanischen Klimazone im Westen und der kontinentalen Klimazone im Osten eine Zwischenstellung ein. Das Land liegt im kühleren Teil der gemäßigten Zone (ROCZNIK 1995). MÜLLER-WESTERMEIER (2001, 2006) beschreibt Deutschlands Klima als warm-gemäßigtes Regenklima der mittleren Breiten. Es befindet sich in der Übergangzone zwischen den alljährlich feuchten westlichen Luftströmungen und ganzjährigen Niederschlägen des ozeanisch beeinflussten Klimas Westeuropas und des kontinentalen Klimas Osteuropas mit abgeschwächten saisonalen Zyklen steigender und fallender Temperaturen. Das Letztere wird zudem durch starke saisonale thermische Schwankungen geprägt. Von Einflüssen des mediterranen Klimas Südeuropas wird Deutschland durch die Gebirgskette der Alpen geschützt. Klimaeinflüsse aus Nordeuropa werden durch die Nord- und Ostsee begrenzt. Der ozeanische Einfluss nimmt von Nordwesten nach Südosten ab. Gelegentlich werden die westlichen Luftströme durch langanhaltende Hochdrucksysteme abgehalten. Daraus resultieren im Winter Phasen intensiver Kälte (bis -20°C) und heiße Sommer mit Temperaturen von 30°C und darüber. Die höchsten Temperaturen treten zumeist im Juli auf, die niedrigsten im Januar (MÜLLER-WESTERMEIER 2001, 2006).

Auf Grund der topographischen Situation mit zahlreichen niederen Gebirgsketten, welche kleine Täler und Ebenen einschließen, ist das Klima des Landes stark strukturiert. Die absolute Geländehöhe ist von entscheidender Bedeutung. Auch die Entfernung zum Ozean spielt eine wichtige Rolle. So sind die östlichen Teile Deutschlands auf Grund der großen Entfernung zum Atlantischen Ozean extrem trocken. Dennoch ist die Niederschlagsmenge auf Grund der verhältnismäßig niedrigen Temperaturen sowie der damit verbundenen geringen Evaporation ausreichend um Seen und Wälder zu erhalten, wo dieselbe Niederschlagsmenge in tropischen Gebieten lediglich Halbwüsten ermöglichen würde (MÜLLER-WESTERMEIER 2001, 2006). Hinsichtlich des Niederschlags ist die Ausrichtung der Gebirge relativ zur Hauptwindrichtung entscheidend. Im Luv der Gebirgsformationen wird die Bildung von Wolken und Niederschlag verstärkt durch einen erzwungenen Auftrieb hervorgerufen. Dennoch lösen sich die Wolken im Lee des Öfteren auf, ursächlich durch die absinkenden Luftströme. So wird die Entstehung von relativ trockenen Gebieten hervorgerufen. Daneben ist für die Höhe des Niederschlags wiederum die Entfernung zum Ozean ein wichtiges Kriterium und insbesondere die Anzahl der Gebirgsrücken welche die Luft, unter Verlust von Wasserdampf, auf ihrem Weg vom Ozean ins Landesinnere überqueren musste. Deshalb ist es

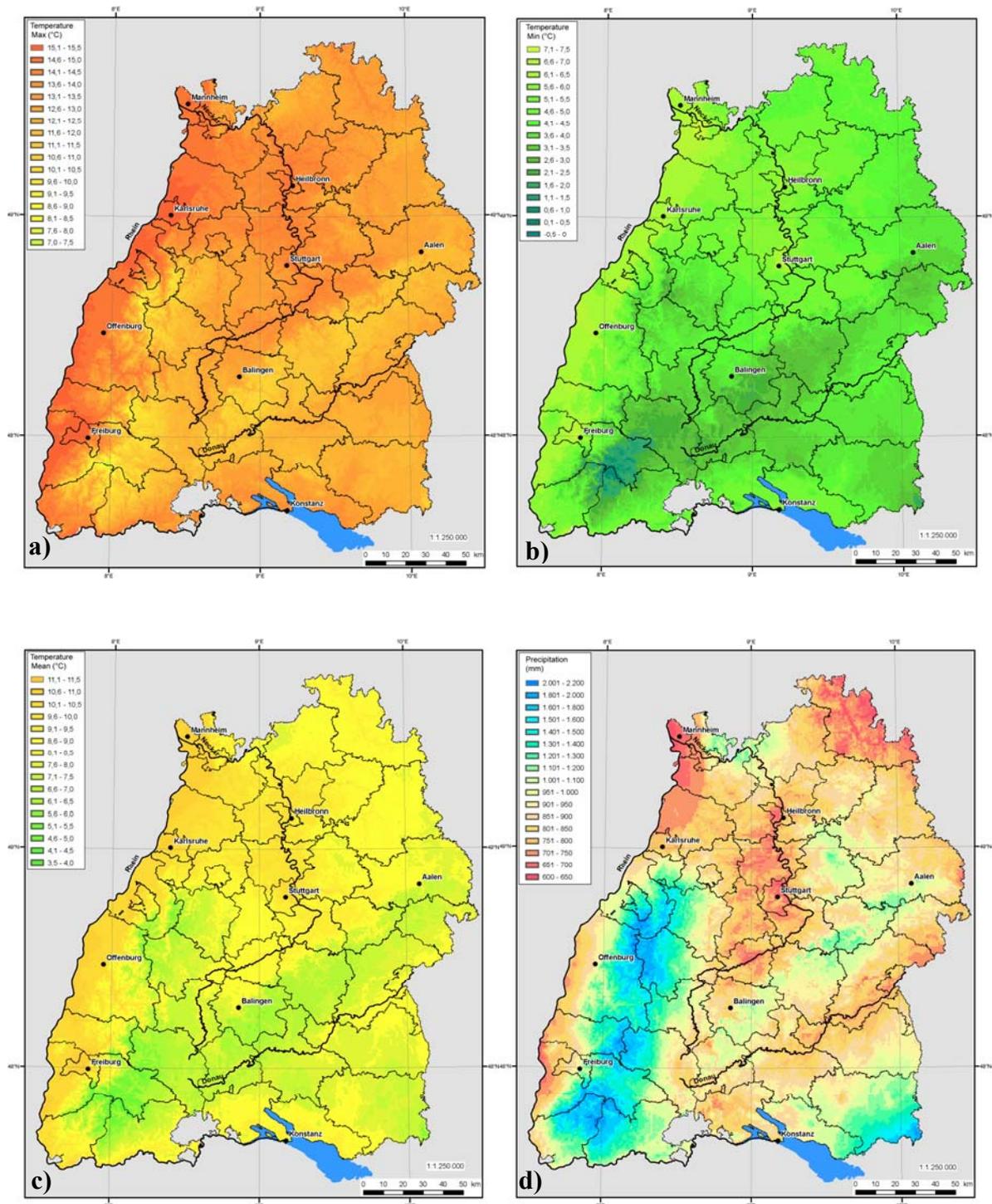
das Flachland und dabei insbesondere die Beckenlagen, welches ein relativ warmes, trockenes und sonniges Klima aufweist. Die höher gelegenen Gebiete, insbesondere die Höhenrücken, sind dagegen durch kühles Klima mit hohem Niederschlag und reicher Wolkenbildung gekennzeichnet. Kleinmaßstäblich können auch außerordentlich warme Klimata auf mittleren Hanglagen auftreten. Auf Grund ihrer geringen Höhe sind diese Gebiete relativ gut gegen Wind geschützt und besitzen bei normaler thermischer Schichtung ein mildes Klima. Bei Inversionslagen, wenn sich durch Abstrahlung in der Nacht flache Kaltluft gebildet hat bzw. sich diese unter warmen Luftmassen erhalten hat, können diese Areale aus der umgebenden Kaltluft und möglichen Nebelfeldern herausragen. Die klimatischen Unterschiede zwischen Nord und Süd werden durch die höhere Lage der südlichen Regionen noch verstärkt (MÜLLER-WESTERMEIER 2001, 2006).

Das Klima sowie die jährlichen Niederschlagsmengen werden in **Baden-Württemberg** hauptsächlich durch die hügelige bzw. gebirgige Landschaft beeinflusst (KUNZ & KOTTMEIER 2001). Der Aufbau der Landschaft führt zu ganz speziellen Strömungsverhältnissen. Dabei haben trockengelegte Flussauen sowie die Umwandlung agrarischer und bewaldeter Flächen in Industrie- und Siedlungsflächen das Klima in regionalem Maßstab erwärmt (FRANKE 2003). Insgesamt variiert das Klima bezüglich der verschiedenen Regionen beträchtlich. Von einem klimatischen Standpunkt aus betrachtet gehört die Oberrheinische Tiefebene zu einer der begünstigten Regionen innerhalb Baden-Württembergs. Mit einer mittleren Jahrestemperatur von 9 bis 10 °C ist sie deutschlandweit die wärmste Region - gekennzeichnet durch heiße Sommer und milde Winter (ENCYCLOPÆDIA BRITANNICA 2007). An einigen Standorten wurden dort in vergangenen Sommerperioden Temperaturen um die 40 °C erreicht (SCHÖNWIESE 2003c, LUTERBACHER et al. 2004). Die Rheinebene besitzt eine lange Vegetationsperiode mit täglichen Durchschnittswerten von 5 °C, welche bereits im März erreicht werden und bis in den November andauern. Die heißen Sommer werden durch durchschnittliche Juliwerte von 18 bis 20 °C gekennzeichnet. Die durchschnittliche Anzahl an Sonnentagen (max. Temperatur von mindestens 25 °C) liegt mit 40 Tagen pro Jahr sehr hoch. Zudem fällt die höchste Regenmenge in den Sommermonaten, ein klarer Hinweis auf kontinentales Klima. Im Winter herrscht ein relativ mildes und ausgeglichenes Klima mit Durchschnittswerten für den Januar von zumeist über 0 °C. Die durchschnittliche Anzahl an Frosttagen (minimale Werte von unter 0 °C) ist mit 80 Tagen pro Jahr niedrig (UMWELTMINISTERIUM BW 2007). Dennoch birgt die tiefe Lage der Ebene wegen Hochdrucklagen in der kalten Jahreszeit das Risiko häufigen Nebels. Auf Grund von

Inversion in der Luftschichtung ist die Ebene zeitweise von dichtem Nebel bedeckt, während die Temperaturen auf den sonnigen Höhenlagen des Schwarzwalds über den Gefrierpunkt steigen (TRENKLE & VON RUDLOFF 1980). In den Tieflagen auf einem Nord-Süd-Gradient variieren die mittleren Klimawerte nur leicht, während auf dem Ost-West-Gradienten weit stärkere Abweichungen festzustellen sind. Dies ist auf die Tatsache zurückzuführen, dass sich die Gebiete entlang des Rheins noch im Regenschatten der Vogesen befinden. Höhere Niederschläge und Windgeschwindigkeiten machen sich auf Grund der beginnenden Steigung mit Annäherung an den Schwarzwald bemerkbar. Daher ist das Gebiet durch ganzjährige Niederschläge gekennzeichnet (RAPP & SCHÖNWIESE 1995). Dabei besitzen die höchsten Regionen der Mittelgebirges auch die höchsten Niederschlagssummen des gesamten Bundeslandes. Auslöser hierfür sind Westwinde, welche die über dem Atlantik gebildeten Wolkenformationen aus Frankreich kommend nach Osten treiben und über den Hängen des Schwarzwaldes und der Schwäbischen Alb entladen (RAPP & SCHÖNWIESE 1995). Der Aufstieg zum Schwarzwald führt rund um die Stadt Bühl zu einer mittleren Jahresniederschlagssumme von um die 1.000 mm. Auf Grund des wesentlich flacheren Kraichgau beträgt der Niederschlag bei Karlsruhe und Bruchsal lediglich 750 bzw. 650 mm im Jahr. Rund um Heidelberg steigt die Niederschlagssumme wegen des Odenwalds auf über 800 mm an (UMWELTMINISTERIUM BW 2007). So beträgt der mittlere Niederschlag im Oberrheingraben durchschnittlich um die 650 mm, wohingegen beispielsweise der Feldberg als höchste Erhebung des Schwarzwaldes um die 2.000 mm Niederschlag erfährt (ENCYCLOPÆDIA BRITANNICA 2007). Der durchschnittliche Niederschlag auf der Schwäbischen Alb beträgt ca. 1.000 mm, während im Neckartal und weiter östlich im Taubertal zumeist unter 600 mm gemessen werden (KUNZ & KOTTMEIER 2001). Zusätzlich zu einem erhöhten Niederschlagsvolumen herrscht auf den Hochebenen, Bergkuppen und -gipfeln ein extrem raues Klima, wo niedrige Temperaturen mit starken Niederschlägen und Winden interagieren. In Baden-Württemberg ist dabei die Schwäbische Alb die Region, in der mit einer mittleren Durchschnittstemperatur von 4,7 bis 7 °C das unwirtlichste Klima angetroffen werden kann. Daher rührt auch der für die Landschaft gebräuchliche Name „Rauhe Alb“. Im Jahresdurchschnitt zwei Frostmonate charakterisieren die Schwäbische Alb und in manchen Regionen auch den Schwarzwald (ENCYCLOPÆDIA BRITANNICA 2007).

Dennoch ist ein Temperaturabfall und ein Ansteigen des Niederschlages nicht zwingend mit einer Höhenzunahme verbunden. So kann auch in niederen Regionen teilweise ein unverhältnismäßig starker Niederschlagsanstieg verzeichnet werden. Bezüglich des

Niederschlags werden mit 2.100 - 2.200 mm per m³/a die höchsten Mengen im nördlichen Teil des Schwarzwaldes auf der Hornisgrinde erreicht (KUNZ & KOTTMEIER 2001, HENSE et al. 2006). Auf den Höhen des mittleren Schwarzwaldes sind es die linksrheinischen Vogesen, die als „Regenfänger“ fungieren (EGGERS 1964). Daher sind die Niederschläge wesentlich unergiebig und insbesondere die östliche Seite des Schwarzwaldes ist bereits merklich trockener.



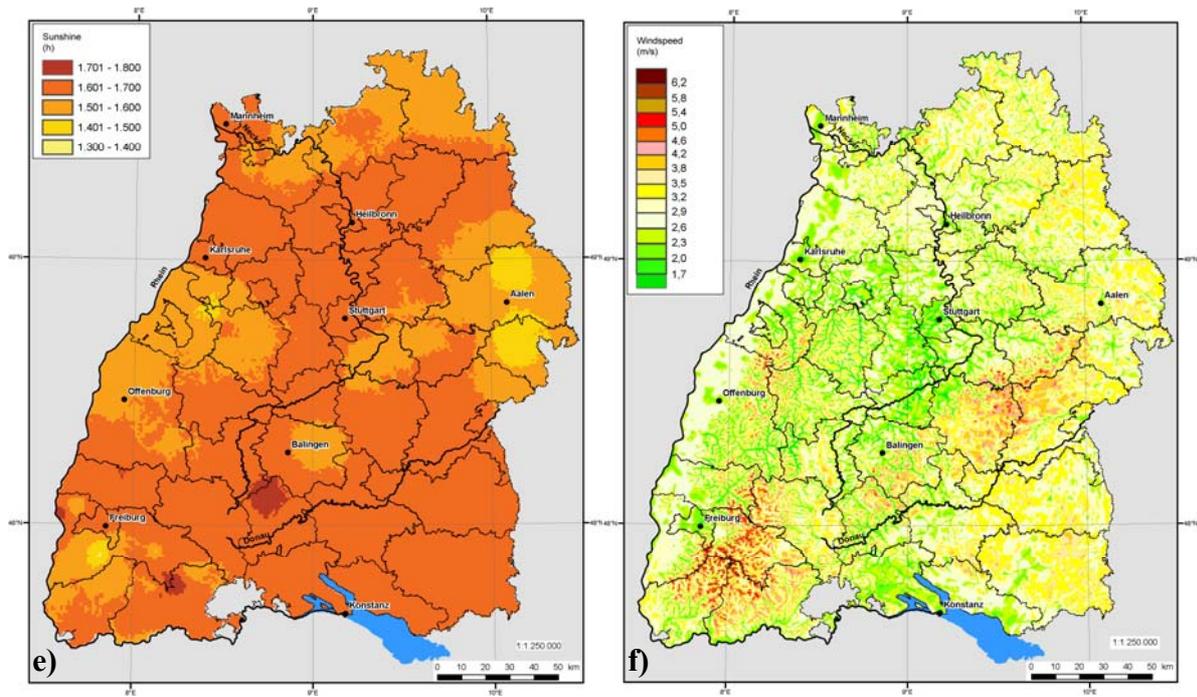


Fig. 3-3 (a-f): Ausgewählte Klimaparameter für Baden-Württemberg. a) T_{\max} (1971-2000), b) T_{\min} (1971-2000), c) T_{mean} (1971-2000), d) Niederschlag (1971-2000), e) Sonnenschein (1971-2000), f) Windgeschwindigkeit 10 m über dem Boden (1981-2000) (verändert nach dem Klimaatlas Baden-Württemberg, LUBW 2006).

3.3 Naturräumliche Diversität, Geographie und regionale Besonderheiten

Baden-Württemberg repräsentiert innerhalb seiner 1.651 km langen Grenze eine der geographisch vielgestaltigsten Landschaften Deutschlands mit einer insgesamt großen Heterogenität. Darunter finden sich beispielsweise Wälder der Hochlandregionen, fruchtbare Äcker und Weideland sowie unzählige Flüsse und Seen. Über 40% der Landesfläche sind mit Wäldern bedeckt (ungefähr 1,36 Mio. ha). So geben großflächige Waldgebiete wie der Schwarzwald, die Schwäbische Alb und der Odenwald dem Bundesland seine besondere Prägung. Die höchste Erhebung ist mit 1.493 m der im Südschwarzwald gelegene Feldberg und die 1.164 m hohe Hornisgrinde im Nordschwarzwald. Die höchste Erhebung der Schwäbischen Alb ist der 1.015 m hohe Lemberg. Wie bereits erwähnt ist Baden-Württemberg zudem reich an Wasserressourcen. Der größte Fluss des Landes ist mit einer Länge von 437 km der Rhein, gefolgt vom Neckar (367 km), der Donau (251 km) als größtes Einzugsgebiet südlich der europäischen Wasserscheide, sowie der Jagst (203 km) und der Kocher (182 km). Der Bodensee ist mit einer Fläche von 572 km² Baden-Württembergs größter See. Der niedrigste Punkt des Landes ist mit 85 m über NN der Rheinpegel bei Mannheim (ENCYCLOPÆDIA BRITANNICA 2007).

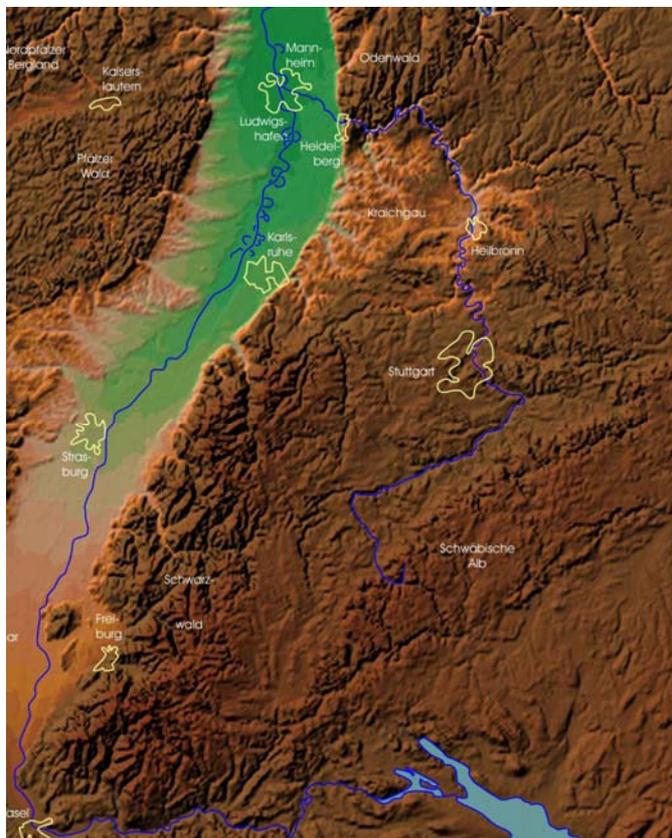


Abb. 3-4: Morphologische Karte von Baden-Württemberg und angrenzender Gebiete. Die in grün gehaltenen Flächen liegen extrem tief (Oberrheingraben) während die rotbraun bis braunen Flächen die hohen bis sehr hohen Bereiche anzeigen (RÖHR 2007).

Baden-Württembergs Landschaft lässt sich sowohl aus geographischen als auch aus kulturellen Betrachtungen heraus in verschiedene Regionen einteilen.

Die vom Rhein durchflossene Oberrheinische Tiefebene ist ein Tal tektonischen Ursprungs mit einer Länge von ungefähr 300 km und einer Breite von 30 bis 45 km (Abb. 3-5). Das Rheintal bildet einen ca. 45 Mio. Jahre alten aktiven Graben mit einhergehender Deformation der Erdkruste in bis zumindest 20 km Tiefe (PFLUG 1982). Leichtere Erdbeben sowie alte Lavaablagerungen am Randes der Grabenstruktur geben einen klaren Hinweis auf die vorhandene tektonische Aktivität der gesamten Region (BITTERLI-BRUNNER et al. 1975, AHORNER 1983, PLENEFISCH & BONJER 1997). Der Rheingraben gehört zu einer ausgedehnten Schwächezone der Erdkruste, welche sich teilweise bis zum afrikanischen Kontinent fortsetzt (ILLIES & GREINER 1978). Ähnlich zahlreicher anderer sedimentärer Becken erfährt diese Zone eine ständige Absenkung (einige mm pro Jahr) und wird zugleich weiter von fluviatilen Sedimenten verfüllt (REINECK & SINGH 1986, CHOROWICZ & DEFFONTAINES 1993, DERER et al. 2003). Die kompaktierten Schichten stammen zumeist aus dem Tertiär. Ihre Verteilung sowie deren abschwächende Auswirkungen auf das Erdgravitationsfeld sind seit langem Ziel zahlreicher Studien im Bereich der Geodäsie und Geophysik (BOZORGADEH & SCHNÄDELBACH 1971, MALZER & SCHLEMMER 1975). Die Oberfläche des Tieflandes wird von quartären Sand- und Kiesablagerungen geprägt, was sich auf das Einschneiden des Rheins unter Bildung der typischen Auenlandschaft zurückführen lässt. In der Nähe von Freiburg im Breisgau und Straßburg besitzt das Tal im südlichen Teil des Grabens mit über 40 km seine breiteste Ausdehnung. Seine höchste Erhebung liegt mit 245 m über NN in der Nähe von Basel. Im Osten wird das Tal vom Schwarzwald, im Westen durch die Vogesen begrenzt. Der etwas schmalere nördliche Teil des Grabens, mit lediglich im Bereich des Kraichgaus ca. 40 km Breite, wird im Osten von Odenwald und im Westen bzw. Nordwesten von Pfälzer Wald und Rheinhessischem Hügelland begrenzt. Im Norden schließt sich der Graben bei Mainz. Einst wurde das Tal von üppigen Laubwäldern bedeckt, welche jedoch im Lauf der Jahrhunderte dem Holzeinschlag zum Opfer fielen. Vor der Flussbegradigung im 19. Jh. war das Gebiet zudem durch regelmäßige Überschwemmungen und Sümpfe gekennzeichnet. Einige der ursprünglichen Flussmäander sind als sogenannte Altrheinarme erhalten geblieben und wurden zum Teil renaturiert.

Der Schwarzwald, welcher sich westlich entlang des Rheins vom Grenzdreieck Schweiz-Frankreich-Deutschland kommend 160 km nach Norden ausbreitet, bildet Deutschlands größtes zusammenhängendes Waldgebiet (Abb. 3-4). Es setzt sich größtenteils aus dichten Fichtenbeständen zusammen. Im Süden erreicht es eine Breite von bis zu 60 km, im Norden lediglich 30 km. Die höchste Erhebung des Schwarzwaldes ist mit 1.493 m der Feldberg, welcher sich im Süden des Mittelgebirges befindet (VORWERK & SPIEGELHALTER 1992). Im Süden des Schwarzwalds liegt der Hotzenwald mit seinen unzähligen Seen und Staueeen (ENCYCLOPÆDIA BRITANNICA 2007). Geologisch gesehen besteht der Schwarzwald aus einer triassischen Sandsteindecke, welche einem variszischem Grundgebirge aus Gneis aufliegt. Während der letzten Eiszeit, der Würmvereisung, war der Schwarzwald von Gletschern bedeckt. Mehrere Kare, wie beispielsweise der Mummelsee, sind Zeugen dieses Zeitabschnitts. Zu den Flüssen des Schwarzwaldes zählen Donau, Enz, Kinzig, Murg, Neckar und Rench. Der Schwarzwald ist Teil der europäischen Wasserscheide zwischen dem Atlantischen Ozean (entwässert durch den Rhein) einerseits und dem Schwarzen Meer (entwässert durch die Donau) andererseits (GEYER & GWINNER 1991).



Abb. 3-5: Blick auf die Rheinebene - im Vordergrund die rechtsrheinisch, am Fuße des Nordschwarzwaldes gelegene Stadt Ettlingen (Landkreis Karlsruhe) mit dem linksrheinisch gelegenen Pfälzer Wald im Hintergrund.



Abb. 3-6: Feldberg, Schwarzwald (Foto: Fritz Geller-Grimm 2005).

Das Alpenvorland bildet nördlich der Alpen ein tiefes Becken, welches sich von den westlich gelegenen Bergen des Hegau, mit vulkanischem Ursprung, nach Osten zu den Grasflächen des Allgäus erstreckt (ENCYCLOPÆDIA BRITANNICA 2007). Des Weiteren schließt es die Landschaft des Schwäbisch-Bayrischen Plateaus mit seinen Hügeln, Ebenen und den ausgedehnten Seen (z.B. Bodensee) im Süden ein (Abb. 3-7). Hinsichtlich der Geologie handelt es sich beim Alpenvorland um ein marines Randbecken der Alpen, dessen Ablagerungsgeschichte mit der Sedimentation frühtertiären tiefmarinen Flyschs (Paläozän bis unteres Oligozän) einsetzte, der dann nachfolgend von mitteloligozänen bis miozänen Sedimenten flachmariner und kontinentaler Molasse überlagert wurde (KEMPF & PROSS 2005). Anschließend wurden die tertiären Sedimente von Moränen- und Schotterablagerungen sowie dem teilweise weit in das Becken vorstoßenden Schmelzwasser pleistozäner Alpengletscher überdeckt (KUHLEMANN & KEMPF 2001). Laut STATISTISCHEM BUNDESAMT (2007) bedeckten zudem Lössablagerungen die nördlichen Randgebiete dieses Areals. Insgesamt kann die heutige Form der Landschaft insbesondere auf die vor ungefähr 1 Mio. Jahre stattfindenden eiszeitlichen Vorgänge zurückgeführt werden (NEUBAUER 2006).



Abb. 3-7: Alpenvorland mit Bodensee (DEUTSCHES ZENTRUM FÜR LUFT- UND RAUMFAHRT, DLR 2006).

Die Schwäbische Alb ist ein Mittelgebirge, welches im Süden von der Donau begrenzt wird und im Norden abrupt zum Neckar hin abfällt. Diese Landschaft umfasst das Gebiet zwischen Schwarzwald und Fränkischer Alb und breitet sich innerhalb Baden-Württembergs von der Schweizer Grenze (Kanton Schaffhausen) aus Südosten kommend diagonal bis zur Bayrischen Grenze hin aus (WIKIPEDIA 2007). Dort bildet das Nördlinger Ries, ein Meteoritenkrater, die Grenze zwischen Schwäbischer und Fränkischer Alb (HÖFLING 2003). Die höchste Erhebung der Gebirgsformation ist mit 1.015 m der Lemberg. Die Schwäbische Alb bildet ein nach Osten einfallendes Plateau mit einer von Südwest nach Nordost reichenden Gesamtausdehnung von 220 km und einer Breite von 40 bis 70 km. Die Hochfläche des Plateaus ist im Osten zumeist flach oder lediglich durch sanfte Hügel gekennzeichnet. Im Westen dagegen fällt das Gebirge um bis zu 400 m, dem sogenannten Albtrauf, steil ab. Während die Hügel oft durch Wälder geprägt sind, zeichnen sich die Täler durch intensive landwirtschaftliche Nutzung aus. Im geologischen Sinne ist die Schwäbische Alb Teil des Juragebirges, welches vom Schweizer Jura im Südwesten bis zum Fränkischen Jura im Nordosten reicht. Sie bildet eine typische Schichtstufenlandschaft und ist aus marinen jurassischen Sedimenten aufgebaut (Abb. 3-8) (GEYER & GWINNER 1991).



Abb. 3-8: Blick auf die Schichtstufenlandschaft der Schwäbischen Alb bei Tübingen.

Zudem ist die Schwäbische Alb Deutschlands ausgedehntestes Karstgebiet mit den typischen Anzeigern wie Höhlenbildung, Dolinen, Trockentälern sowie dem weitgehenden Fehlen von Flussläufen (PFEFFER 1990, 2003). Schroffe Kalkformationen sowie der Wassermangel machten diese Region im letzten Jahrhundert zu einer der ärmeren Regionen Baden-Württembergs mit zumeist lediglich kleineren Siedlungen. Dennoch finden sich am Fuße der Alb ebenso dichtbevölkerte Industrieregionen.

Entsprechend der *ENCYCLOPÆDIA BRITANNICA* (2007) ist das fruchtbare Neckartal eine der am dichtesten besiedelten Regionen des gesamten Bundeslandes. Mit seinem Anfang im Schwarzwald bei Villingen-Schwenningen setzt es sich über Tübingen, Nürtingen, Esslingen, Stuttgart und Heidelberg fort, bis der Neckar bei Mannheim in den Rhein einmündet. Die vollständige Länge des Neckars von der Quelle bis zur Mündung beträgt um die 367 km. Neben unzähligen Weinbergen entlang der Hänge des Neckartals und seiner Zuflüsse wird intensive Landwirtschaft betrieben.



Fig. 3-9: Blick auf das Schloss Hohenzollern bei Hechingen mit dem Neckartal im Hintergrund (SCHWÄBISCHE ALB TOURISMUSVERBAND E.V. 2007).

Das Hohenloher Land bzw. Die Hohenloher Ebene befindet sich im nordöstlichen Teil Baden-Württembergs. Die Region erstreckt sich durch den Hohenlohekreis (Künzelsau) und den Landkreis Schwäbisch Hall bis zur bayrischen Grenze bei Rothenburg ob der Tauber. Die Flüsse Kocher, Jagst, Tauber und Bühler sowie deren unzählige Nebenflüsse zerschneiden die Landschaft weitgehend. Als Teil der süddeutschen Schichtstufenlandschaft ist die Region ebenfalls Teil eines ausgedehnten Karstgebiets. Dennoch bildet der triassische Muschelkalk im Unterschied zum jurassischen Malm der Schwäbischen Alb kein ausgedehntes Plateau, sondern ist vielmehr durch die bereits erwähnte große Anzahl an Flüssen untergliedert. Dadurch haben sich viele einzelne Gebiete herausgebildet, die sowohl unter geographischen als auch hydrologischen Gesichtspunkten unterschieden werden können. Die Flüsse dienen dabei als Entwässerungssysteme für die karstbedingte Höhlenentwicklung. Daher werden Höhlen in der Nähe ehemaliger Flusspegel gebildet. Der Muschelkalk ist des Öfteren von triassischen Keuperlagen, bestehend aus Sandstein von 10-30 m Mächtigkeit, überlagert (HAGDORN & SIMON 1985). Daher ist die Landschaftsform durch ein Abwechseln von Hügeln und Tälern gekennzeichnet. Es ist insbesondere der Weinbau, der zusammen mit Obstbau

beispielsweise an den Hängen des Kochertals vorherrscht (BAIER 2001, BROSS-BURKHARDT 2004).

Der Odenwald im Norden Baden-Württembergs ist eine hügelige Region, eingegrenzt von Neckar im Süden und Main im Osten. Die höchste Erhebung des Gebietes ist mit 626 m der Katzenbuckel, ein ehemaliger Vulkan. Geologisch gesehen gehört der Odenwald zu den Varisziden, welche sich während des Devons im Rahmen der Kollision der Europäischen mit der Afrikanischen Platte vor über 350 Mio. Jahren gebildet haben (BAHLBURG & BREITKREUZ 2004). Zur Trias, rund 200 Mio. Jahre später, senkte sich das Land unter Bildung des Germanischen Beckens ein (WILLNER et al. 1991). In den darauffolgenden Jahrmillionen verfüllte sich das Becken mit Sedimenten des Bundsandsteins, Muschelkalks und Keupers. Während des Jura vor ungefähr 180 Mio. Jahren wurde das Land angehoben und erodierte anschließend um 100 m teilweise bis auf das Grundgebirge. Sechzig bis 50 Mio. Jahre später kam es dann entlang einer Störungszone zu vulkanischer Aktivität mit anschließender Hebung der Region (STEIN et al. 2001).

Der Kraichgau ist eine hügelige Landschaft zwischen dem Odenwald im Norden, dem Schwarzwald im Süden, der Oberrheinischen Tiefebene im Westen und dem Stromberg und Heuchelberg im Osten. Auf Grund des milden Klimas wird die Region auch als „Badische Toskana“ bezeichnet (ALBERTI et al. 2003, BALLE 2004). Der Kraichgau erstreckt sich über die Landkreise Karlsruhe, Heilbronn, Enzkreis und Rhein-Neckar. Die drei größten Städte sind Sinsheim, Eppingen und Bretten. Am westlichen Ende der Region, am Übergang zum Rheintal, befindet sich Bruchsal. Auf Grund der eiszeitlichen Lössböden gilt der Kraichgau als extrem fruchtbar. So werden hier neben Weizen und Mais auch Tabak, Spargel und Obst angebaut (ENCYCLOPÆDIA BRITANNICA (2007)). Rund um die Stadt Sinsheim und Sulzfeld wird auf Keuperablagerungen sowie der Übergangszone zum Rhein Weinbau betrieben.

3.4 Untersuchte Pollenstationen in Baden-Württemberg

Pollenflugdaten wurden für sieben verschiedene Stationen in Baden-Württemberg ausgewertet (Abb. 4-1). Die erhobenen Daten decken dabei einen Zeitraum von maximal 17 Jahren (1987-2003) ab.

- 1) **Freiburg im Breisgau** (47° 59' N, 7° 51' O) befindet sich am südwestlichen Ende des Schwarzwaldes in unmittelbarer Nachbarschaft zu Frankreich (3 km) und der Schweiz (42 km). Die Stadt an der Dreisam liegt auf 278 m ü. NN und hat ca. 210.000 Einwohner. Die Stadt wird im Osten vom Roskopf und Bromberg sowie im Süden und Westen vom Schönberg, Tuniberg und dem Kaiserstuhl begrenzt. Freiburg besitzt ein ausgesprochen mildes Mikroklima und gehört zu den sonnigsten und wärmsten Städten innerhalb Deutschlands. Der mittlere jährliche Niederschlag liegt bei 936 mm und die Durchschnittstemperatur beträgt 11,0 °C (durchschnittliche max. Temperatur 15,1 °C und durchschnittliche min. Temperatur 7,3 °C). Im Rahmen von Klimabeobachtungen wurden folgende Kennwerte berechnet: 13,9 Eistage ($T_{\max} < 0,0$ °C), 55,1 Frosttage ($T_{\min} < 0,0$ °C), 51,7 Sommertage ($T_{\max} \geq 25,0$ °C), 11,8 heiße Tage ($T_{\max} \geq 30,0$ °C). Diese Informationen entstammen einer vom Potsdam Institut für Klimafolgenforschung ausgewerteten Zeitspanne von 50 Jahren (1951-1990) (STOCK 2005). Der Standort der Pollenfalle hat die Koordinaten 48° 0' N, 7° 52' O.
- 2) **Gerlingen** (48° 47' N, 09° 04' O) befindet sich 15 km nordwestlich der Landeshauptstadt Stuttgart. Die Stadt liegt auf 336 m ü. NN und hat ca. 19.000 Einwohner. Die Umgebung der Stadt wird insbesondere durch Streuobstwiesen und landwirtschaftliche Nutzflächen geprägt. Der mittlere jährliche Niederschlag liegt bei 786 mm und die Durchschnittstemperatur beträgt 8,6 °C (durchschnittliche max. Temperatur 13,2 °C und durchschnittliche min. Temperatur 5,2 °C). Im Rahmen von Klimabeobachtungen wurden folgende Kennwerte berechnet: 22,4 Eistage ($T_{\max} < 0,0$ °C), 80,9 Frosttage ($T_{\min} < 0,0$ °C), 31,5 Sommertage ($T_{\max} \geq 25,0$ °C), 4,0 heiße Tage ($T_{\max} \geq 30,0$ °C). Diese Informationen entstammen einer vom Potsdam Institut für Klimafolgenforschung ausgewerteten Zeitspanne von 50 Jahren (1951-1990) (STOCK 2005). Der Standort der Pollenfalle hat die Koordinaten 48° 9' N, 08° 26' O.

- 3) **Heidelberg** (49° 25' N 08° 42' O) befindet sich am Neckar, rund 20 km vor dessen Zufluss in den Rhein. Die Stadt liegt auf 116 m ü. NN und hat ca. 140.000 Einwohner. Das Stadtbild wird vom Heidelberger Schloss geprägt, rund 80 m oberhalb der Stadt auf dem steilen und bewaldeten Königsstuhl gelegen. Der mittlere jährliche Niederschlag liegt bei 712 mm und die Durchschnittstemperatur beträgt 10,6 °C (durchschnittliche max. Temperatur 14,6 °C und durchschnittliche min. Temperatur 7,0 °C). Im Rahmen von Klimabeobachtungen wurden folgende Kennwerte berechnet: 13,4 Eistage ($T_{\max} < 0.0$ °C), 54,5 Frosttage ($T_{\min} < 0.0$ °C), 46,9 Sommertage ($T_{\max} \geq 25.0$ °C), 9,8 heiße Tage ($T_{\max} \geq 30.0$ °C). Diese Informationen entstammen einer vom Potsdam Institut für Klimafolgenforschung ausgewerteten Zeitspanne von 50 Jahren (1951-1990) (STOCK 2005). Der Standort der Pollenfalle hat die Koordinaten 49° 25' N, 8° 42' O.
- 4) **Karlsruhe** (49° 00' N 08° 24' O) befindet sich in der Oberrheinischen Tiefebene in der Nähe der Deutsch-Französischen Grenze. Die Stadt mit ihren ungefähr 280.000 Einwohnern liegt zwischen 100 m (am westlichen Ufer des Rheins) und 278 m ü. NN (auf dem Turmberg im Osten). Im Osten grenzt Karlsruhe an die Ausläufer des Schwarzwalds und des Kraichgau. Mit seinen milden Wintern ist Karlsruhe eine der wärmsten Städte Deutschlands. Der mittlere jährliche Niederschlag liegt bei 752 mm und die Durchschnittstemperatur beträgt 10,4 °C (durchschnittliche max. Temperatur 15,1 °C und durchschnittliche min. Temperatur 6,2 °C). Im Rahmen von Klimabeobachtungen wurden folgende Kennwerte berechnet: 13,5 Eistage ($T_{\max} < 0.0$ °C), 68,2 Frosttage ($T_{\min} < 0.0$ °C), 54,9 Sommertage ($T_{\max} \geq 25.0$ °C), 14,0 heiße Tage ($T_{\max} \geq 30,0$ °C). Diese Informationen entstammen einer vom Potsdam Institut für Klimafolgenforschung ausgewerteten Zeitspanne von 50 Jahren (1951-1990) (STOCK 2005). Der Standort der Pollenfalle hat die Koordinaten 49° 0' N, 8° 24' O.
- 5) **Königsfeld** (48° 7' N, 08° 25' O) ist ein Kurort im Zentrum des Schwarzwaldes, 11 km westlich von Villingen-Schwenningen. Der Ort liegt auf 769 m ü. NN und hat ca. 6.000 Einwohner. Die Region zeichnet sich durch ein niedriges Gebirgsklima aus. Der mittlere jährliche Niederschlag liegt bei 1.040 mm und die Durchschnittstemperatur beträgt 6,6 °C. Diese Informationen entstammen einer vom Deutschen Wetterdienst

(DWD) ausgewerteten Zeitspanne von 30 Jahren (1961-1990) (DWD 2007). Der Standort der Pollenfalle hat die Koordinaten 48° 9' N, 8° 26' O.

- 6) **Löwenstein** (49° 0' N, 09° 23' O) ist ein staatlich anerkannter Erholungsort 20 km südöstlich von Heilbronn gelegen. Der Ort mit seinen ungefähr 3.000 Einwohnern liegt zwischen 220 m und 550 m ü. NN oberhalb des Sulmtales am Rande der Löwensteiner Berger. Der mittlere jährliche Niederschlag liegt bei 758 mm und die Durchschnittstemperatur beträgt 9,6 °C. Diese Informationen entstammen einer vom Deutschen Wetterdienst (DWD) ausgewerteten Zeitspanne von 30 Jahren (1961-1990) (DWD 2007). Der Standort der Pollenfalle hat die Koordinaten 49° 6' N, 9° 24' O.

- 7) **Wangen im Allgäu** (47° 41' N, 09° 50' O) befindet sich im äußersten Südosten Baden-Württembergs. Die an der Argen gelegene Stadt liegt auf 556 m ü. NN und hat ca. 27.000 Einwohner. Der mittlere jährliche Niederschlag liegt bei 1.600 mm und die Durchschnittstemperatur beträgt 6,8 °C. Diese Informationen entstammen einer vom Deutschen Wetterdienst (DWD) ausgewerteten Zeitspanne von 30 Jahren (1961-1990) (DWD 2007). Der Standort der Pollenfalle hat die Koordinaten 47° 42' N, 09° 50' O.

4 Datengrundlage, Material und Methoden

Die Datensätze, welche der Studie zu Grunde liegen, können in fünf Bereiche untergliedert werden.

- a) Die **Pollendaten** wurden über eine regelmäßige Beprobung der Luft mit Hilfe von Burkard Pollenfallen („Burkard 7-day volumetric spore traps“) generiert. Für jede Pollenstation wurden die einzelnen Pollentaxa von Mitarbeitern der Stiftung Deutscher Polleninformationsdienst (nachfolgend als PID bezeichnet) ausgezählt. Die Zählraten wurden anschließend vom PID bzw. dem „European Aeroallergen Network“ (nachfolgend als EAN bezeichnet) zur Durchführung der vorgelegten Studie zur Verfügung gestellt. Die maximale Zeitspanne umfasst dabei die Jahre 1987-2003.
- b) Die **Ernteertragsdaten** umfassen die verschiedenen Weinbaubereiche und ausgewählte Weinvarietäten innerhalb Baden-Württembergs. Die Daten wurden vom Statistischen Landesamt Baden-Württemberg (STALA BW) zur Verfügung gestellt. In den nachfolgenden Kapiteln der Studie, beispielsweise bei den Auswertungen in Kap. 5.3 & 5.4, werden die beschriebenen Datensätze bzw. die spezifischen Wein-/Ernteertragsparameter daher allgemein als „Weindaten“ bezeichnet. Die maximale Zeitspanne umfasst dabei die Jahre 1972-2003.
- c) Die **Klimadaten** wurden vom Deutschen Wetterdienst in Offenbach a. M. (DWD) an verschiedenen Stationen innerhalb Baden-Württembergs aufgezeichnet. Die Datensätze beinhalten verschiedene Klimaparameter für die maximale Zeitspanne von 1987-2003.
- d) Die **phänologischen Daten** verschiedener Weinvarietäten wurden von der Staatlichen Lehr- und Versuchsanstalt für Wein- und Obstbau in Weinsberg (LVWO) erfasst. Die maximale Zeitspanne umfasst die Jahre 1979-2005.
- e) Die **Landnutzungsdaten** für Baden-Württemberg sind der CORINE Landnutzungskarte aus dem Jahre 1990 entnommen.

4.1 Pollen

Die Pollenanalyse stellt insgesamt ein nützliches Werkzeug für vielfältige Anwendungsbereiche dar. Die möglichen Anwendungsfelder reichen von taxonomischen Studien über den Bereich der Genetik und Evolutionsforschung hin zu forensischen Studien, Vegetations- und Umweltrekonstruktion, Studien bezüglich des Klimawandels, des menschlichen Einflusses auf Vegetation, Archäologie, Geologie und der Melissopalynology (MOORE et al. 1991). Des Weiteren ist die Allergologie ein wichtiges Forschungsgebiet. Die Datenerhebung im Rahmen solcher allergologischer Studien bietet bei einem breit angelegten Netzwerk, mit entsprechend guter Abdeckung, ebenfalls eine Grundlage für palynologische Analysen bezüglich Klima und Vegetation.

4.1.1 Stiftung Deutscher Polleninformationsdienst (PID) und „European Aeroallergen Network“ (EAN)

Im Jahre 1983 wurde der PID in Köln auf Initiative von Physikern, Biologen, Meteorologen sowie von Pollenallergien betroffenen Personen gegründet. Das systematische Monitoringsystem wurde als Reaktion auf die steigende Zahl von Allergikern hin entwickelt und eingeführt. Mit der deutschen Wiedervereinigung im Jahre 1990 dehnte man die Arbeit, auf die „neuen Länder“ aus. Der PID zeichnet dabei innerhalb Deutschlands die allergologisch relevanten Pollenflugdaten der wichtigsten regionalen Klimabereiche auf (WINKLER et al. 2001, SCHEID & BERGMANN 2004). Unter Verwendung von Burkard Pollenfallen („Burkard 7-day volumetric spore traps“) betreibt der PID zurzeit um die 45 Pollenstationen, die sich als Netzwerk über die gesamte Bundesrepublik verteilen (Abb. 4-1). Dabei wird der jährliche Zählbeginn in enger Abstimmung mit dem DWD bestimmt, welcher die für den Beginn des Pollenflugs nötigen adäquaten meteorologischen und phänologischen Rahmenbedingungen definiert und an den PID weiterleitet.

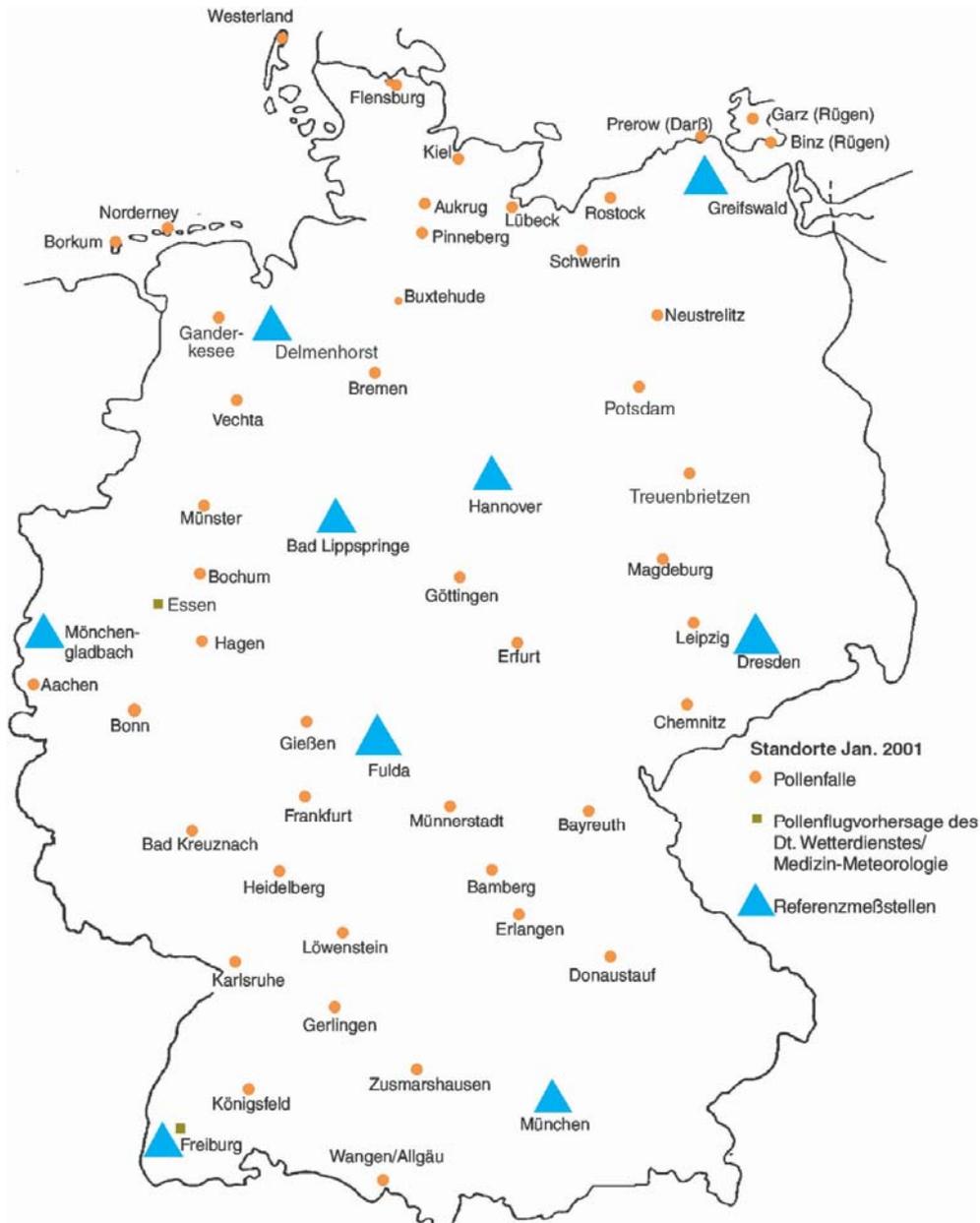


Abb. 4-1: Pollenstationen des PID - Stand: Jan. 2001 (verändert nach WINKLER et al. 2001).

Im Jahre 1988 wurde das EAN unter Aufsicht von Dr. Siegfried Jäger in Wien/Österreich gegründet. Zu dieser Zeit war das Ziel dieser Kooperation, mit Hilfe eines länderübergreifenden Netzwerkes sowie einer Onlineplattform einen europaweiten Austausch an Pollenfluginformationen zu ermöglichen. Neben den klinischen Studien kann diese Datenbasis ebenfalls für zahlreiche weitere wissenschaftliche Untersuchungen wie beispielsweise im Bereich der Klimatologie, Phänologie, Botanik und Land- und Forstwirtschaft genutzt werden. Insgesamt sind mehr als 500 Monitoringstationen in mehr als 49 europäischen Ländern an die rund 180 Taxa umfassende Datenbank angegliedert (JÄGER 2000, 2003).

4.1.2 Das grundlegende Prinzip der volumetrischen Methode am Beispiel der Burkard Pollenfalle

Es gibt heutzutage verschiedene Methoden, um den atmosphärischen Gehalt an Pollen oder Sporen zu bestimmen. Insgesamt hat sich dabei jedoch die Burkard Pollenfalle als sehr verlässlich erwiesen und wird aus diesem Grund für die Pollenmessungen an den Stationen des PID verwendet. Das Grundprinzip ist dabei ähnlich einem Prinzip, welches bereits in den 50er Jahren von HIRST (1952) beschrieben wurde.

Die Burkard Pollenfalle besteht aus einem geschlossenen rotierbaren Körper, welcher dafür ausgelegt ist, in der Luft befindliche Partikel wie Pollen und Sporen über einen Zeitraum von bis zu sieben Tagen durchgehend zu beproben. Innerhalb der Falle befindet sich eine mit einem Klebestreifen aus Zellulose umspannte Trommel. Durch eine eingebaute Vakuumpumpe wird mit einer konstanten Fließrate von 10 l/min durch einen im Gehäuse befindlichen engen Schlitz Außenluft angesaugt. Das angesaugte Luftvolumen fließt anschließend über die innen gelegene Fallenoberfläche und lagert die in der Luft enthaltenen Pollen und Sporen auf dem mit Parafinwachs bestrichenen Klebestreifen der mit einer konstanten Geschwindigkeit von 2 mm/h im Gegenuhrzeigersinn rotierenden Trommel ab. Die gesamte Apparatur ist mit einer Windfahne ausgestattet, um die Ausrichtung der Falle entgegen der Hauptwindrichtung zu garantieren. Nach Beendigung der Beprobung wird der Klebestreifen von der Trommel entfernt und in einzelne Segmente von Tageslänge unterteilt. Diese werden dann auf ein Mikroskop mit 400facher Vergrößerung aufgebracht und zum Abschluss mit einem Gel bedeckt. Das Gel enthält zudem einen Farbstoff, der die Bestimmung der Pollen erleichtert. Der gesamte Ablauf der qualitativen und quantitativen Analyse führt dann zur Ermittlung des täglichen Pollengehalts pro m³ Luft (Abb. 4-2).

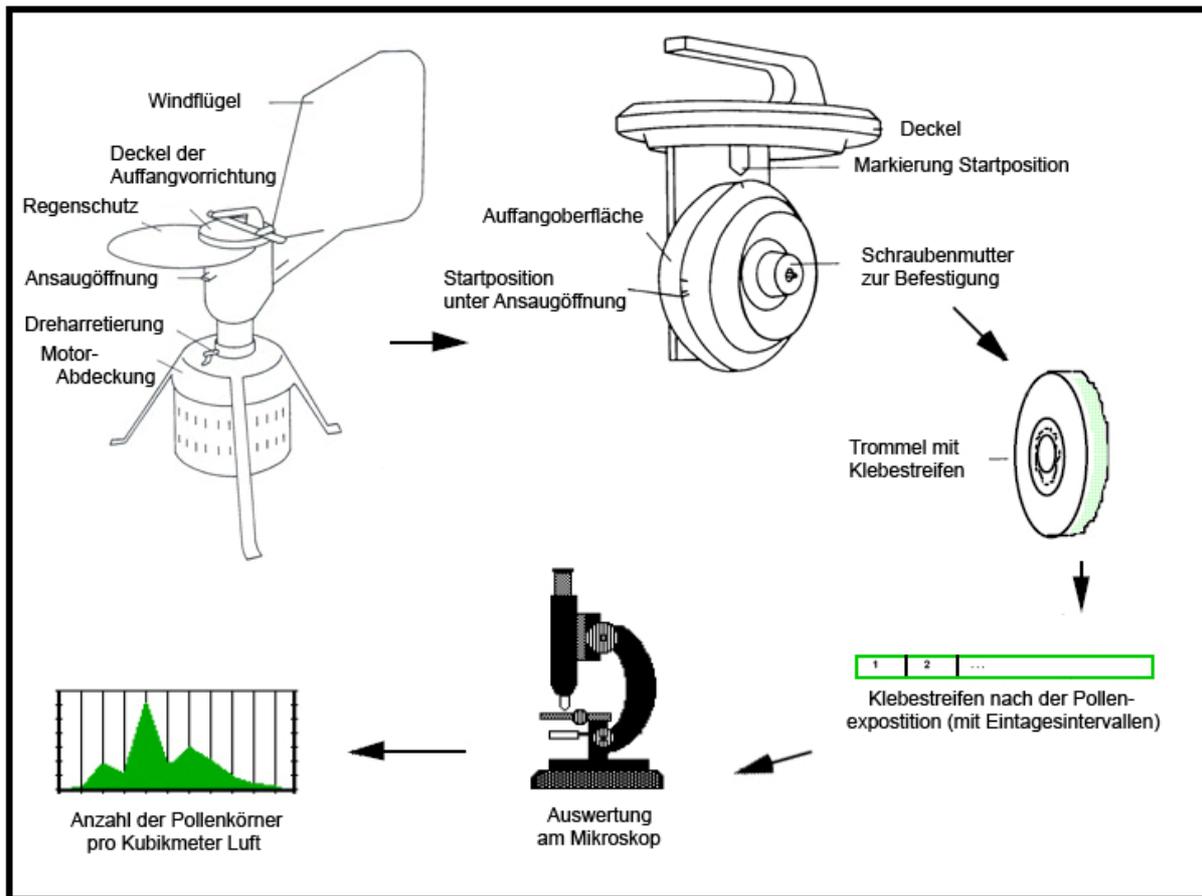


Abb. 4-2: Schematische Darstellung der Bestimmung des Pollengehalts der Luft mit Hilfe der Burkard Pollenfalle (verändert nach WINKLER et al. 2001 & AGRO.M 2005).

Laut DUMOT & SNAKKERS (2001) ist die Standorthöhe der Pollenfalle eminent wichtig, da diese die Pollenernte, sprich den Input an Pollen in die Falle, beeinflusst. Ein zu hoher Standort führt zu einem überproportional hohen Anteil an Baumpollen. Ein zu niedriger Standort der Pollenfalle führt zu starker Dominanz von Pollen der direkten Umgebung (CHARPIN et al. 1977, SPIEKSMAN et al. 2000, DUMOT & SNAKKERS 2001). Die Höhe der Station bzw. der Falle ü. NN sollte in etwa der mittleren Höhe des untersuchten Gebiets entsprechen. Die Anbringung der Falle sollte 10 bis 15 m über dem Bodenniveau erfolgen. Um etwaige Windschatten oder Luftverwirbelungen zu vermeiden, sollte die Falle in ungefähr 100 m Entfernung zu Gebäuden oder sonstigen Hindernissen angebracht sein. Derselbe Abstand sollte zu höheren Bäumen gehalten werden, wenn diese als starke Pollenquellen in Frage kommen. Die günstigsten Standorte sind beispielsweise freistehende Häuser mit Flachdach.

Gemäß einer standardisierten Methode wird die Pollenhäufigkeit der im allergologischen Sinne wichtigsten Pollentaxa täglich an allen Pollenstationen des PID zumindest von März bis August gemessen, an den Referenzstationen sogar über das gesamte Jahr von Januar bis Dezember (WINKLER et al. 2001). Ein Überblick über die insgesamt 42 erfassten Pollentaxa von Kulturpflanzen über krautige Pflanzen bis zu Bäumen wird in Tab. 4-1 gegeben.

Tab. 4-1: Überblick über sämtliche an den Stationen des PID erfassten Pollentaxa. Die 25 **fettgedruckten** Pollentaxa sind diejenigen, welche in die in Kap. 5 durchgeführten Analysen eingehen. Die ausgeschlossenen Taxa wurden entweder nicht durchgängig aufgezeichnet und/oder sind durch eine zu geringe Menge an Pollen innerhalb eines Jahresganges gekennzeichnet.

Latein	Deutsch	Abkürzung	Latein	Deutsch	Abkürzung
Abies	Fichte		Hordeum	Gerste	
Acer	Ahorn	ACER	Humulus	Hopfen	
Aesculus	Rosskastanie	AESC	Juglans	Walnuss	JUGL
Alnus	Erle	ALNU	Larix	Lärche	LARI
Ambrosia	Traubenkraut		Picea	Fichte	PICE
Apiaceae	Doldengewächse		Pinus	Kiefer	PINU
Artemisia	Beifuss	ARTE	Plantago	Wegerich	PLAN*
Betula	Birke	BETU	Platanus	Platane	PLAT
Brassica	Raps		Poaceae	Süßgräser	POAC
Carpinus	Hainbuche	CARP	Populus	Pappel	POPU
Castanea	Esskastanie		Quercus	Eiche	QUER
Chenopodium	Gänsefußgewächse	CHEN	Rumex	Ampfer	RUME
Cichoriaceae	Löwenzahn (Korb.)		Salix	Weide	SALI
Compositae	Korbblütler		Sambucus	Holunder	
Corylus	Haselnuss	CORY	Secale	Roggen	SECA
Cruciferae	Kreuzblütler		Solidago	Goldrute	
Cupressaceae	Zypressengewächse		Tilia	Linde	TILI*
Ericaceae	Heidekrautgewächse		Triticum	Weizen	
Fagus	Buche	FAGU	Ulmus	Ulme	ULMU
Forsythia	Forsythie		Urtica	Brennnessel	URTI*
Fraxinus	Esche	FRAX	Zea mays	Mais	

* dargestellt Abb. 4-3

Für die innerhalb dieser Studie durchgeführten Analysen wurden die „Rohpollendaten“ des PID zuallererst mit Hilfe von Excel nach Jahren und Taxa sortiert und aufbereitet. Neben den täglichen Pollenwerten wurden des Weiteren drei verschiedene Parameter für ausgewählte Jahre und einzelne Taxa bestimmt:

- a) Tage mit Pollenflug
- b) Relative Pollensumme
- c) Absolute Pollensumme

Nachfolgend werden die berechneten Parameter in die innerhalb dieses Kapitels beschriebenen statistischen Auswertungen eingebracht. Bezüglich der für die einzelnen Taxa abgedeckten Zeitspanne ist darauf hinzuweisen, dass diese für die Taxa in Abhängigkeit zu den einzelnen Stationen zumeist zwischen sieben und 17 Jahren variieren. Die Zeitspannen sind nachstehend für die einzelnen Stationen in Klammern angegeben:

- | | | |
|---------------|-----|-------------|
| 1) Freiburg | FR | (1987-2003) |
| 2) Gerlingen | GER | (1997-2003) |
| 3) Heidelberg | HD | (1997-2003) |
| 4) Karlsruhe | KA | (1997-2003) |
| 5) Königsfeld | KÖN | (1987-2003) |
| 6) Löwenstein | LÖW | (1997-2003) |
| 7) Wangen | WAN | (1997-2003) |

Die exakte Abdeckung für die einzelnen Taxa an sämtlichen untersuchten Stationen kann dem Anhang entnommen werden.

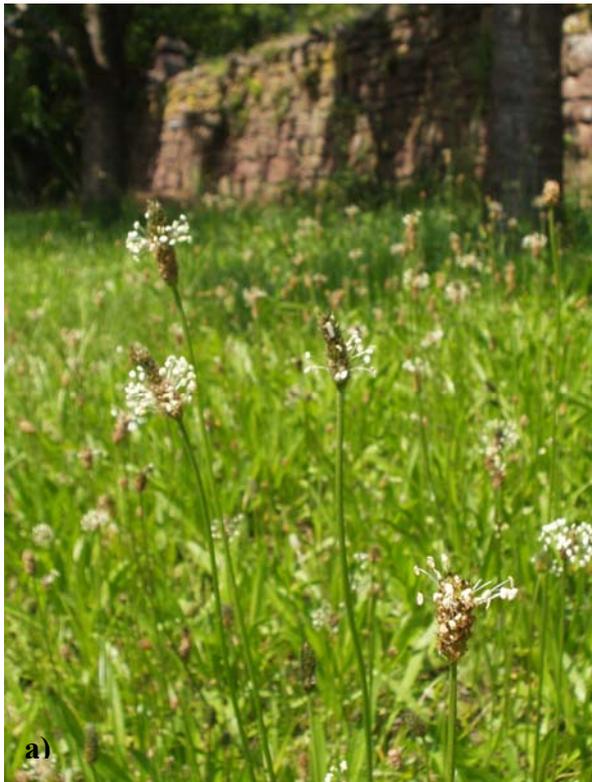


Abb. 4-3 (a-c): Pflanzenspezies als Pollenquelle. Darstellung an Hand dreier ausgewählter Beispiele: a) *Plantago major*, b) *Urtica dioica*, c) *Tilia cordata*.

4.2 Wein

Bei der in dieser Studie untersuchten Nutzpflanze bzw. den Ernteertragsdaten handelt es sich um Wein bzw. ausgewählte Varietäten von *Vitis vinifera* L. Es werden im Folgenden zunächst die beiden baden-württembergischen Weinbaugebiete Baden und Württemberg in ihrer Gesamtheit genauer dargestellt und anschließend die in der Studie untersuchten Wein-/Ertragsparameter erläutert. Dabei wurden die Datensätze der innerhalb dieser Studie ausgewerteten Parameter vom STALA BW bereitgestellt. Die zeitliche Abdeckung der

übermittelten Datenstränge hängt von den einzelnen Weinsorten und Anbaugebieten ab, beinhaltet jedoch ungefähr 25 Beobachtungsjahre (1972-2003) (Details siehe Anhang).

Generell lassen sich sämtliche Weinbauregionen in kleinere Einheiten untergliedern. Dies sind der Größe nach in absteigender Reihenfolge die Weinbaubereiche, die Großlagen und die Einzellagen. Innerhalb dieser Studie werden dabei lediglich die Einteilungen der Regionen in die einzelnen Weinbaubereiche explizit betrachtet. Einen Überblick über die Verteilung der Einheiten innerhalb Deutschlands bietet die Tab. 4-2.

Tab.4-2: Überblick über die einzelnen deutschen Weinbauregionen und ihre Klassifikation. Die Regionen Baden und Württemberg sind hervorgehoben (verändert nach dem DEUTSCHEN WEININSTITUT 2007).

Weinbauregion	Bereiche	Großlagen	Einzellagen
Ahr	1	1	43
Baden	9	15	315
Franken	3	22	211
Hess. Bergstraße	2	3	24
Mittelrhein	2	11	111
Mosel-Saar-Ruwer	6	20	507
Nahe	1	7	312
Pfalz	2	25	330
Rheingau	1	11	120
Rheinhessen	3	24	442
Saale-Unstrut	2	4	20
Sachsen	2	4	16
Württemberg	6	20	207
Deutschland	39	167	2.658
Baden und Württemberg	15	35	522

4.2.1 Die Weinbauregion Baden

Das Weinbaugebiet Baden, welches sich von den Ufern des Bodensees 400 km nordwärts entlang des Rheintals über die Badische Bergstraße und den Kraichgau bis in die Tauberregion erstreckt, ist Deutschlands südlichstes und auf Grund seiner Länge zugleich dessen ausgedehntestes Weinbaugebiet. Mit über 16.000 ha Anbaufläche ist es zudem das drittgrößte Weinbaugebiet Deutschlands. Auf Grund seiner über dem Bundesdurchschnitt liegenden Temperatur ist Baden die einzige deutsche Weinbauregion, welche innerhalb der von der Europäischen Union vorgenommenen Kategorisierung zusammen mit seiner Nachbarregion, dem Elsass, und dem Loiretal (beide in Frankreich gelegen) in die

Weinbauzone B eingeteilt ist. Innerhalb Badens gibt es neun Weinbaubereiche. Diese Bereiche sind: Tauberfranken (683 ha), Badische Bergstraße (408 ha), Kraichgau (1.272 ha), Bodensee (576 ha), Breisgau (1.698 ha), Kaiserstuhl (4.314 ha), Markgräfler Land (3.200 ha), Ortenau (2.777 ha) und Tuniberg (1.076 ha) (Stand: 2005).

4.2.2 Die Weinbauregion Württemberg

Die Weinbauregion Württemberg erstreckt sich zwischen Bad Mergentheim im nördlichen Kocher-Jagst-Tauber-Gebiet entlang des Neckartals über Heilbronn und Stuttgart vorbei an Tübingen und Reutlingen bis zu den Ufern des Bodensees. Insgesamt sind die Schwäbischen Weinberge auf Grund des bevorzugten Klimas zumeist entlang den Hängen des Neckartals und seiner unzähligen Nebenflüsse zu finden. Der Weinbaubereich umfasst annähernd 11.500 ha an bestockter Fläche (VOGT & SCHRUF 2000). Im Jahre 2002 hielt der „Württembergischer Wein“ einen Anteil von 12% an der gesamten deutschen Weinproduktion. Innerhalb Württembergs gibt es sechs Weinbaubereiche: Württembergisch Unterland (9.210 ha), Bayrischer Bodensee¹ (30 ha), Kocher-Jagst-Tauber (444 ha), Remstal-Stuttgart (1.810 ha), Württembergischer Bodensee (zusammen mit dem Oberen Neckar² (51 ha) (Stand: 2005).

4.2.3 Sortenwahl

Eine gute Einführung und Beschreibung in die Sortenvielfalt des Weins bieten beispielsweise MUSER (1969), GÖTZ (1994), KNOLL (1999), GOETHE & GOETHE (2002) und HILLEBRAND et al. (2003). Aus der großen Bandbreite an in Baden-Württemberg kultivierten Sorten wurden innerhalb dieser Studie die folgenden Varietäten im Hinblick auf die in Kapitel 4.2 genannten Wein-/Ertragsparameter aus den Erhebungen des STALA BW ausgewählt, sofern sie in den einzelnen Weinbaubereichen vorhanden sind:

¹ Der Weinbaubereich Bayrischer Bodensee gehört geographisch gesehen zu Bayern, wird aber der Weinbauregion Württemberg zugerechnet.

² Die Weinbaubereiche Württembergischer Bodensee und Oberer Neckar sind auf Grund ihrer geringen Größe zusammen veranlagt.

a) Weißwein

Kerner	
Müller-Thurgau	
Riesling	
Ruländer	
Silvaner	(die Sorte fehlt an Station WAN)
Weißer Burgunder	

b) Rotwein

Blauer Spätburgunder	
Blauer Trollinger	(die Sorte fehlt an den Stationen FR, HD, KÖN & WAN)
Lemberger	(die Sorte fehlt an den Stationen FR & WAN)
Portugieser	(die Sorte fehlt an den Stationen FR, KÖN & WAN)
Schwarzriesling	(die Sorte fehlt an den Stationen KÖN & WAN)

Die Datensätze aller beschriebenen Sorten/Regionen sind im Anhang detailliert aufgeführt.

4.2.4 Wein-/Ertragsparameter

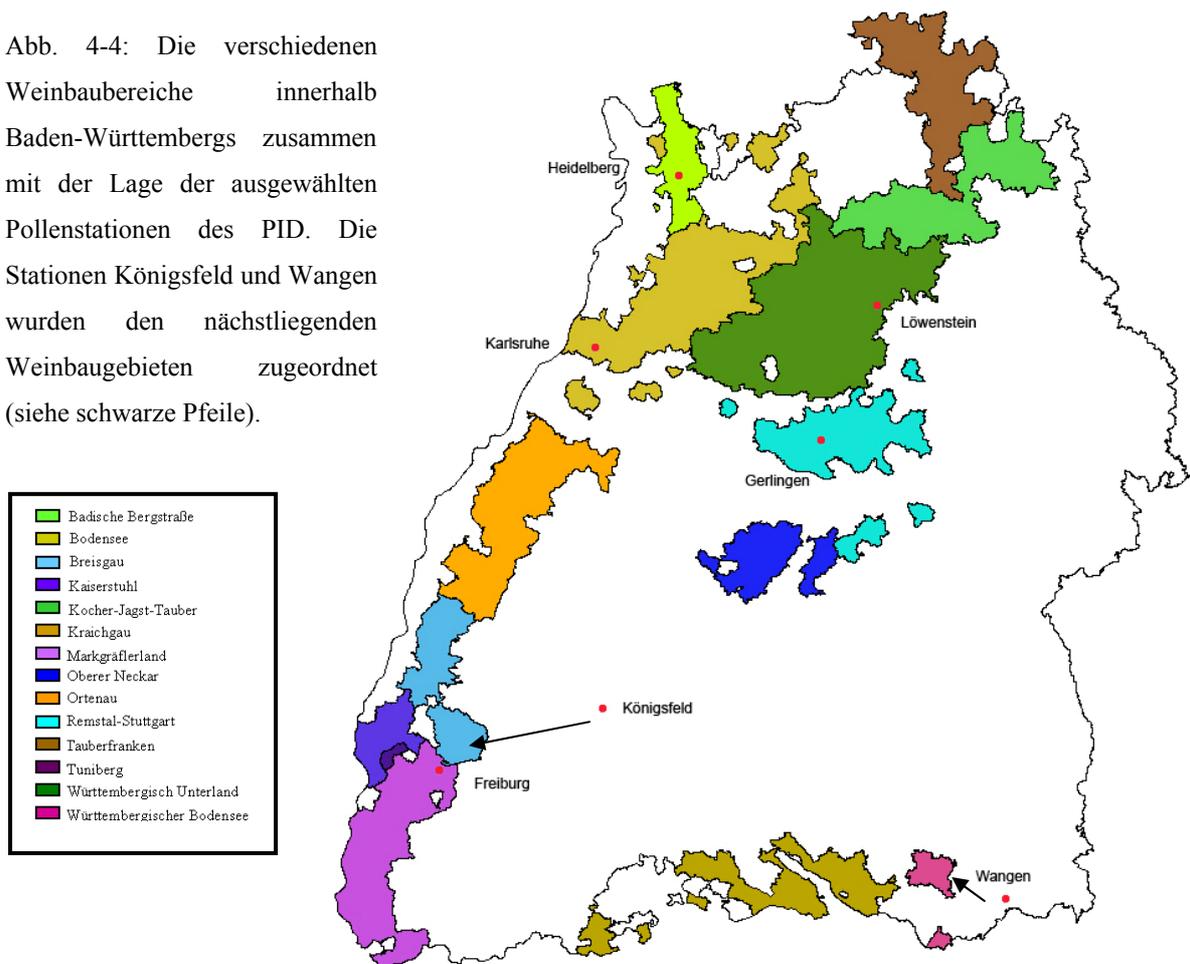
Im Einzelnen beziehen sich die aufgenommenen Parameter auf die Jahreswerte der beiden Weinbauregionen Baden und Württemberg (bundesweit 13 Regionen) sowie auf ihre einzelnen Weinbaubereiche (Abb. 4-4).

Die erfassten Parameter sind:

- a) Mostertrag [hl/ha]
- b) Öchslegrad [°Oe]
- c) Säuregehalt [%o]

Es wurden innerhalb der vorgelegten Studie die häufigsten bzw. bekanntesten Weiß- und Rotweinsorten, wie in Kapitel 3.2.3 beschrieben, ausgewählt und nachfolgend deren Parameter verschiedenen statistischen Untersuchungen zugeführt (Kap. 4.6).

Abb. 4-4: Die verschiedenen Weinbaubereiche innerhalb Baden-Württembergs zusammen mit der Lage der ausgewählten Pollenstationen des PID. Die Stationen Königsfeld und Wangen wurden den nächstliegenden Weinbaugebieten zugeordnet (siehe schwarze Pfeile).



4.3 Klima

Deutschlands nationaler Wetterdienst, der DWD, ist dafür zuständig, sämtliche Anfragen aus den verschiedensten Bereichen der Gesellschaft zu bearbeiten und Daten aus der Klimaforschung und -Aufzeichnung bereitzustellen. So wurden auch die im Rahmen dieser Studie bearbeiteten Klimaparameter vom DWD gegen ein Entgelt zur Verfügung gestellt. Die Daten stammen aus verschiedenen Klima- und Wetterstationen innerhalb Baden-Württembergs. Da sich Klima- und Wetterereignisse bereits regional stark unterscheiden können, wurden die relevanten Stationen mit Hilfe eines GIS so ausgewählt, dass sie eine möglichst geringe Distanz zu den äquivalenten Pollenstationen besitzen (Kap. 3.4).

Es ergibt sich demnach folgende Kombination von Pollen- und Klimastationen:

Tab. 4-3: Überblick über ausgewählte Stationen des DWD und PID mit den entsprechenden Distanzen.

B°	B'	L°	L'	Pollenstation	Höhe [m]	B°	B'	L°	L'	DWD Station (TEMP - SUN - WIND)	Distanz zur Pollenstation [km]	Höhe [m]
48	0	7	52	Freiburg	270	48	0	7	50	Freiburg	< 1	269
48	47	9	12	Gerlingen	330	48	49	9	12	Stuttgart-Schnarrenberg	15	311
49	25	8	42	Heidelberg	110	49	25	8	39	Heidelberg	< 1	111
49	0	8	24	Karlsruhe	112	49	2	8	21	Karlsruhe	< 1	112
48	9	8	26	Königsfeld	380	48	2	8	27	Villingen-Schwenningen	7	720
49	6	9	24	Löwenstein	350	48	57	9	4	Sachsenheim	50	250
47	42	9	50	Wangen	710	47	41	10	2	Isny	8	712

B°	B'	L°	L'	Pollenstation	Höhe [m]	B°	B'	L°	L'	DWD Station (PREC)	Distanz zur Pollenstation [km]	Höhe [m]
48	0	7	52	Freiburg	270	48	0	7	50	Freiburg	<1	269
48	47	9	12	Gerlingen	330	48	47	9	13	Stuttgart-Neckartal	15	223
49	25	8	42	Heidelberg	110	49	25	8	39	Heidelberg	< 1	111
49	0	8	24	Karlsruhe	112	49	2	8	21	Karlsruhe	< 1	112
48	9	8	26	Königsfeld	380	48	2	8	27	Villingen-Schwenningen	7	720
49	6	9	24	Löwenstein	350	49	7	9	21	Obersulm-Willsbach	7	230
47	42	9	50	Wangen	710	47	43	9	41	Bodnegg-Billen	14	640

Die Klimadaten decken den Zeitraum von 1987 bis 2003 ab. Die enthaltenen Parameter lauten wie folgt:

- | | | | |
|-------------------------------|------|--------|-------|
| a) Temperatur _{max} | MAX | } TEMP | [°C] |
| b) Temperatur _{min} | MIN | | [°C] |
| c) Temperatur _{mean} | MEAN | | [°C] |
| d) Sonnenschein* | SUN | | [h] |
| e) Wind | WIN | | [m/s] |
| f) Niederschlag | PREC | | [mm] |

*An den Stationen Heidelberg, Königsfeld und Löwenstein wurde der Parameter SUN nicht erfasst.

4.4 Die Phänologie des Weines

Nach LÜERS (2003) wendet die 1961 gegründete UVOP (Internationaler Verband zum Schutz von Pflanzenzüchtungen) die verschiedenen Richtlinien für die Durchführung der Prüfung auf Unterscheidbarkeit, Homogenität und Beständigkeit an, um zu einer standardisierten Klassifikation der Entwicklungsstadien der höheren Pflanzen zu kommen. Für Wein (*Vitis L.*) ist das die „Test Guideline“ TG/50/8 (UVOP 1999). Diese Richtlinie enthält 50 Kriterien, die im Rahmen des offiziellen Varietätstests zum Zwecke der taxonomischen Einordnung und Beschreibung herangezogen werden. Dementsprechend wird jedes phänologische Kriterium durch eine spezifische Beschreibung in Wort und Bild sowie einen numerischen Code festgelegt. Diesem Code, dem so genannten BBCH (Biologische Bundesanstalt, Bundessortenamt und Chemische Industrie bzw. inoffiziell Bayer, BASF, Ciba-Geigy und Hoechst) liegt eine Skala zugrunde, welche die phänologischen Entwicklungsstadien einer Pflanze mit Hilfe eines Dezimalcodesystems, der wiederum in primäre und sekundäre Wachstumsstadien eingeteilt ist, identifiziert. Der numerische Code geht auf ZADOKS et al. (1974) zurück und wurde mit der Zeit weiterentwickelt (LORENZ et al. 1994).

Die Daten der LVWO in Weinsberg basieren auf eben dieser Klassifikation, wurden aber in sofern modifiziert, als die jährliche Vegetationsperiode des Weins in sieben Abschnitte bzw. Stadien eingeteilt wurde. Diese Abschnitte sind: 1. Austrieb, 2. Blütebeginn 3. Vollblüte, 4. Blüteende, 5. Erbsengröße der Beeren, 6. Reifebeginn und 7. Erntebeginn. Des Weiteren wurden zwei Hauptphasen unterschieden: Austrieb - Vollblüte und Vollblüte - Erntebeginn. Zusätzlich registriert die LVWO die jährlichen Eintrittstermine der einzelnen phänologischen Abschnitte für zugleich mehrere der in Weinsberg kultivierten Weinsorten. Innerhalb der durchgeführten Studie wurden sieben Weinsorten für eine Zeitspanne von 25 Jahren ausgewertet (Tab. 4-4).

Tab. 4-4: Ausgewählte Weinsorten der LVWO Daten mit der zugehörigen Zeitspanne (Details siehe Anhang).

Nr.	Weinsorte	Zeitspanne
(a)	Schwarzriesling	1979-1993 & 1996-2005
(b)	Lemberger	1979-2005
(c)	Trollinger	1979-2005
(d)	Kerner	1979-1995 & 1999-2005
(e)	Silvaner	1979-2005
(f)	Müller-Thurgau	1979-2005
(g)	Riesling	1979-2005

Die gesamte Bewirtschaftung des Untersuchungsstandortes inklusive der phänologischen Beobachtungen wird von Angestellten der LVWO durchgeführt. Laut Information der LVWO hat sich die Art der Bewirtschaftung (Bodenbearbeitung, Düngung etc.) im Laufe der beobachteten Zeitabschnitte nicht wesentlich verändert. So wird die Vergleichbarkeit der Datensätze gewährleistet. Zur Abschätzung der jährlichen Eintrittstermine der einzelnen phänologischen Abschnitte wird eine repräsentative Anzahl von Einzelpflanzen (Weinstöcke) auf dem Untersuchungsstandort zur näheren Beobachtung herangezogen. Dieses Verfahren egalisiert mögliche Ausreißer einzelner Pflanzen. Bei diesem selektiven Verfahren werden zudem Pflanzen, welche offensichtlich beschädigt, von Krankheiten betroffen oder extremen Wetterbedingungen (wie Hagel oder Frost) beeinträchtigt sind, ausgeschlossen. Um die Bestimmung der exakten Eintrittstermine der jeweiligen phänologischen Abschnitte zu gewährleisten werden die Pflanzen nahezu täglich beobachtet. Letztendlich werden die bestimmten Termine auf fortlaufende Kalendertage umgerechnet (1 bis 365/366) und in dieser Form in der Datenbank der Landwirtschaftlichen Versuchsanstalt für die einzelnen Jahre gespeichert.

4.5 Landnutzung

Mit Hilfe eines GIS (ArcGIS 3.1 & 8/ArcMAP) und der „Extension“ Patch Analyst 3.1 (ELKIE et al. 1999) wurde die CORINE Landnutzungskarte von 1990 (LFU 2001) für Baden-Württemberg bearbeitet und dient der durchgeführten Landnutzungsstudie als Grundlage. Der Landnutzungskarte, welcher nun 15 verschiedene Landnutzungstypen zugrunde liegen (Tab. 4-5) wurden die sieben ausgewählten Pollenstationen des PID angefügt. Nachfolgend wurde die Umgebung der Pollenstationen analysiert, indem drei Umkreise mit den Radien 5, 7 und 10 km um die einzelnen Stationen gelegt wurden (Abb. 4-5). Für jeden der Umkreise wurde dann der Anteil der einzelnen Landnutzungstypen an der Gesamtnutzungsfläche in Hektar und Prozent berechnet. Einige der Stationen bzw. Umkreise mussten dabei in Bezug auf die Gesamtfläche interpoliert werden, da die gewählten Radien zum Teil die baden-württembergische Landesgrenze überschreiten. Die ermittelte prozentuale Landnutzung wurde dann auf die tatsächliche Fläche der jeweiligen Umkreise umgerechnet (siehe Anhang).

Tab. 4-5: Die 15 Landnutzungstypen. Die Typen 4 bis 8 und 10 bis 12 sind den Typen 3 und 9 untergeordnet.

Nr.	Landschaftstyp
1	Ackerland
2	Grünland
3	Siedlung (gesamt)
4	<i>Komplexe Parzellenstrukturen</i>
5	<i>Verkehrs-, Industrie- und Gewerbeflächen</i>
6	<i>Locker bebaute Siedlungsfläche</i>
7	<i>Freiflächen ohne/mit geringer Vegetation</i>
8	<i>Dicht bebaute Siedlungsfläche</i>
9	Wald (gesamt)
10	<i>Laubwald</i>
11	<i>Mischwald</i>
12	<i>Nadelwald</i>
13	Weinbauflächen
14	Obst- und Beerenobstbestände
15	Offene Wasserflächen/ Feuchtflächen

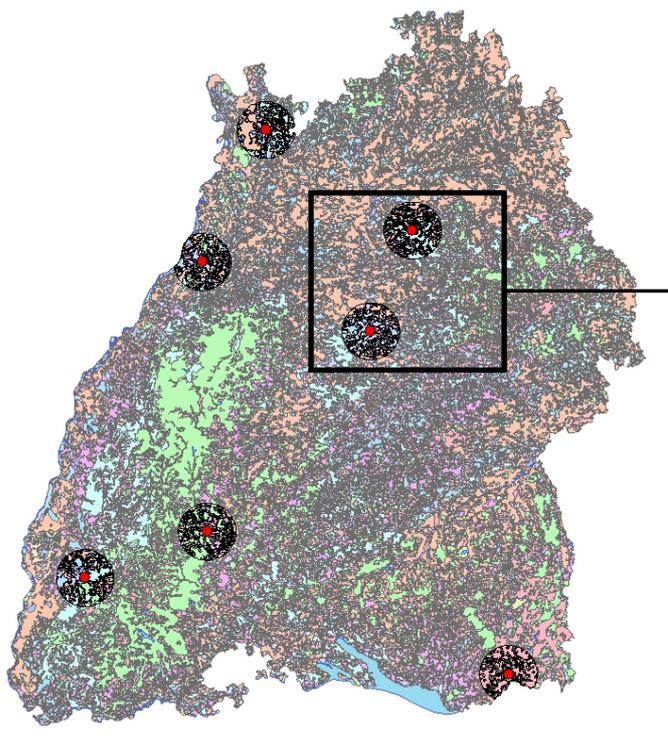
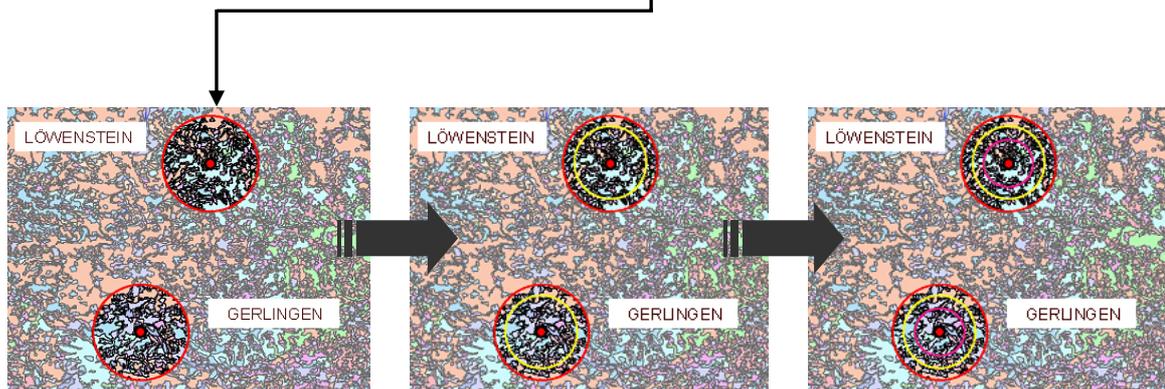


Abb. 4-5: GIS-basierte Generierung von Landnutzungsdaten in Abhängigkeit zu den um die einzelnen Pollenstationen (rote Punkte) gewählten Umkreisen von 10, 7 and 5 km (rote, gelbe und violette Kreise) (CORINE Landnutzungskarte 1990). Schema des Prozessablaufs am Beispiel der Stationen Löwenstein und Gerlingen.



4.6 Datenanalyse - Untersuchungsmethode/Statistische Verfahren

Im Rahmen der vorgelegten Studie kommen uni- und multivariate statistische Verfahren zum Einsatz. Sämtliche Analysen wurde mit Hilfe der Programme „SPSS[®] 12.0.1 for Windows Version 12.0.1“ (SPSS[®] Inc., 1989-2003) und EXCEL 2000 durchgeführt. Um die statistischen Zusammenhänge der einzelnen Datensätze zu ermitteln, wird neben deskriptiven und bivariaten Verfahren auf die Anwendung linearer und multipler Regressionen sowie auf Trend- und Andaueranalysen zurückgegriffen. Nachfolgend sind die einzelnen Methoden der Studie jeweils mit einer detaillierten Beschreibung aufgelistet.

4.6.1 Deskriptive Statistik und bivariate Korrelation

Die deskriptive Statistik dient dazu Datensätze darzustellen und zusammenzufassen. So werden die Daten eines bestimmten Sets an Hand verschiedener Methoden analysiert, um so die Charakteristika des Datensatzes zu beschreiben (BENNINGHAUS 2005a,b). Innerhalb dieses Methodenblocks werden so die Qualitäten eines Datensatzes durch Kennwerte dargestellt und erlauben einen direkten Vergleich der einzelnen Datensätze untereinander. Hinsichtlich der Verteilungscharakteristika sind dies insbesondere die Standardabweichung, die Varianz, die Reichweite, das Minimum und das Maximum. Die „zentrale Tendenz“ enthält folgende Parameter: den Mittelwert, den Median und die Summe. Dabei ist darauf hinzuweisen, dass die per deskriptiver Statistik ermittelten Informationen lediglich auf die untersuchten Zufallsproben zurückgeführt werden können. Möglichkeiten zur Darstellung dieser so genannten Interferenzstatistiken bieten Grafiken und Tabellen, die auf den berechneten Werten basieren. In der vorliegenden Studie wurde dabei auf die Darstellung anhand von Balken- und Kreisdiagrammen zurückgegriffen.

Nach COHEN & COHEN (1983) sind Korrelationen Beziehungen zweier Variablen oder zwischen Variablensätzen. Die bivariate Korrelation bestimmt den Grad der Abhängigkeit zwischen zwei fortlaufenden Variablensträngen. Die bivariaten Korrelationen wurden über die Korrelation nach Pearson unter Angabe des Signifikanzniveaus bestimmt. Sobald die Variablen eines gewählten Wertepaars in ihrem Wert zugleich ansteigen oder absinken handelt es sich um positive Korrelation; interagieren sie gegensätzlich führt dies zu einem negativen oder inversen Zusammenhang. Der Korrelationskoeffizient ist dabei ein Maß für

die Stärke der Korrelation, er bewegt sich zwischen einer Spanne von -1 (perfekte inverse/negative Korrelation) und 1 (perfekte positive Korrelation) (BROSIOUS 2004). Mit Blick auf fehlende Werte wurde bei der Analyse der Datensätze die Option paarweiser Fallausschluss gewählt. Diese Einstellung schließt bei der Berechnung alle Fälle mit fehlenden Wertepaaren aus und bezieht alleine die gültigen Wertepaare ein. Die Berechnung der Korrelationen erfolgt ähnlich der Regressionsberechnung, bei welcher eine oder mehrere abhängige und eine unabhängige Variabel definiert werden. Im Unterschied zur Regressionsberechnung wird jedoch bei der Korrelation keine Annahme bezüglich der Kausalität gemacht. So ist es beispielsweise möglich, dass die Variablen gemeinsamen Veränderungen unterworfen sind, ohne dass die eine Variable ursächlich für die Veränderungen der anderen Variablen ist. Das beschriebene statistische Verfahren wurde bei der Analyse der Pollendaten in Kap. 5.1 eingesetzt, welches sich mit der Bewertung der Pollenstationen bezüglich Qualität und Vergleichbarkeit der Daten auseinandersetzt.

4.6.2 Einfache lineare Regression

Die einfache lineare Regression versucht die in einer Variablen (beispielsweise Weinertrag) vorhandene Variation mit Hilfe einer linearen Beziehung zu der Variation einer anderen Variablen, der Vorhersagevariabel (z.B. die Anzahl an Pollen), in Zusammenhang zu stellen und dadurch zu erklären. Dementsprechend lässt sich eine Gleichung der Form $y = b_0 + b_1 * t$ ableiten. Beide, sowohl die abhängige als auch die unabhängige Variabel müssen quantitativ vorliegen oder falls nötig vor der Berechnung in Dummyvariablen konvertiert werden. Von der vorherzusagenden Variablen wird angenommen, dass sie in Abhängigkeit zu der Vorhersagevariable steht, d.h. es besteht eine kausale Beziehung. Im Unterschied dazu ist der umgekehrte Fall, also eine Abhängigkeit der Vorhersagevariablen von der abhängigen Variabel nicht gegeben. Die Ergebnisse einer Regressionsanalyse werden generell in tabellarischer oder grafischer Form dargestellt. Neben der Angabe des Korrelationskoeffizienten r bzw. des Bestimmtheitsmaßes r^2 wird zudem die zweiseitige Signifikanz der Regression ausgewiesen.

In der vorliegenden Studie wurde der beschriebene statistische Ansatz auf verschiedene Untersuchungsfelder bzw. Datensätze hin angewendet. So wurden zum einen Pollenflugdaten und Weinertragsparameter auf ihren Zusammenhang mit ausgewählten Klimaparametern getestet, zum anderen die Beziehung bzw. das Vorhersagepotential von Pollen im Hinblick

auf Weinparameter (Kap. 5.2 - 5.4). Des Weiteren wurden die Pollenflugdaten der einzelnen Pollenstationen mit den aus der Stationsumgebung berechneten Landnutzungsdaten korreliert (Kap. 5.6).

4.6.3 Multiple lineare Regression

Während die einfache lineare Regression auf lediglich einer einzigen Vorhersagevariabel basiert, besitzt die multiple lineare Regression zumindest zwei unabhängige Variablen. Über die Methode der multiplen Regression wird versucht, diejenigen Vorhersagevariablen zu isolieren, welche einen möglichen Zusammenhang am Besten beschreiben, und zugleich wird versucht, diejenigen Variablen auszuschließen, die lediglich einen untergeordneten Beitrag zu einer Vorhersage leisten. Dabei gibt es verschiedene Ansätze, die für das Modell relevanten Variablen zu bestimmen. Die möglichen Ansätze umfassen unter anderem die Einschussmethode, die schrittweise Methode, die Ausschlussmethode, sowie die Rückwärts- und Vorwärtsmethode (für Details siehe BROSIUS 2004, BÜHL & ZÖFEL 2002). Auf Grund der teilweise geringen Datenbasis (Fallzahl) kam in dieser Studie die Vorwärtsmethode zur Anwendung. Dieses Verfahren der Variablenselektion nimmt die einzelnen Variablen nach einem bestimmten Modus schrittweise in das Modell auf. Die erste Variable, welche aufgenommen wird, ist diejenige mit dem bezüglich der abhängigen Variablen höchsten Korrelationskoeffizienten (und so weiter). Die Variable wird dabei nur in die Gleichung aufgenommen, wenn sämtliche Aufnahmekriterien erfüllt sind. Der Vorgang wird beendet sobald keine weiteren die Kriterien erfüllenden Variablen vorhanden sind. Die Darstellung der Daten erfolgt ähnlich der Beschreibung für die einfache lineare Regression in tabellarischer Form und zeigt die Ergebnisse für die verschiedenen Kombinationen von Datensätzen (Kap. 4.6.2).

4.6.4 Trend- und Andaueranalyse

Die Trendanalyse beschäftigt sich anhand von statistischen Methoden wie der Regression mit der Identifikation und Beschreibung von Langzeittendenzen (Trends) für ausgewählte Zeitabschnitte. Dieses Verfahren erlaubt zudem die Unterscheidung langzeitlicher Trends von saisonalen und zyklischen Schwankungen und ermöglicht zugleich eine quantitative Beschreibung in Form eines Gleichungssystems. Auf Grund der Begrenztheit kausaler Annahmen, welche die Basis bilden, können Trendanalysen lediglich zur Vorhersage in eine

bestimmte Richtung genutzt werden (LEINER 1998). Des Weiteren ist eine jede Trendanalyse von dem jeweils betrachteten Zeitabschnitt abhängig. Dementsprechend können „Charts“, die lediglich einige wenige Jahre repräsentieren, eine Abnahme zeigen, während „Charts“, denen eine längere Zeitspanne zu Grunde liegt, ansteigen. Im Unterschied zu Trendanalysen behandeln Andaueranalysen keine fixen Zeitpunkte und deren Veränderung über die Zeit, sondern die Veränderungen der zeitlichen Ausdehnung eines definierten Zeitabschnittes A nach B. Dennoch sind sie ähnlich den Trendanalysen denselben limitierenden Faktoren unterworfen. In der vorliegenden Arbeit werden beide Analysetypen bei der Untersuchung der phänologischen Daten zur Anwendung gebracht (Kap. 5.5).

5 Ergebnisse

5.1 Bewertung der Pollenstationen hinsichtlich Qualität und Vergleichbarkeit der Pollendaten

Im nachfolgenden Kapitel werden die Pollendaten der einzelnen Pollenstationen in einem ersten Arbeitsschritt mit Hilfe deskriptiver Statistik ausgewertet (detaillierte Tabellen im Anhang). Dabei sollen die Stationen zum einen untereinander verglichen werden und zum anderen auf mögliche besondere Charakteristika hin untersucht werden. Dieser Schritt dient der Bestimmung der Pollenstationen hinsichtlich Qualität und Vergleichbarkeit der Pollendaten. Zu diesem Zwecke wurde die absolute Pollensumme stationenspezifisch in Form eines Kreisdiagramms, das die prozentualen Anteile der Einzeltaxa in Beziehung setzt, dargestellt (Abb. 5-1 bis 5-7). Das betrachtete Pollenspektrum setzt sich aus 25 ausgewählten Taxa zusammen (Kap. 5.1.1). Zusätzlich wurde die relative Pollensumme dieser Taxa mit Hilfe graphischer Plots dargestellt (Kap. 5.1.2). Um die untersuchten Pollenstationen hinsichtlich der Stärke der Korrelation einzelner Taxapaare zu vergleichen, wurden Korrelationsmatrizen berechnet und in Form von Balkendiagrammen aufgetragen (Kap. 5.1.3 ff.)

5.1.1 Analyse der Stationen mittels des Vergleichs der absoluten Pollensummen ausgewählter Taxa

Die absolute Pollensumme ist in Bezug auf die einzelnen Taxa definiert als die Anzahl der über einen bestimmten Zeitraum akkumulierten Gesamtpollen. Es handelt sich hierbei um einen Absolutwert, der sich aus der Aufsummierung der einzelnen Tageswerte ergibt. Dieser kann somit über die einzelnen Stationen hinweg miteinander verglichen werden. Bezüglich der Station Löwenstein muss erwähnt werden, dass über die betrachteten Jahre zumeist nur die sechs allergologisch bedeutsamsten Pollen (*Alnus*, *Artemisia*, *Betula*, *Corylus*, die *Poaceae* und *Seca cereale*) aus den insgesamt 25 ausgewählten Pollentaxa kontinuierlich aufgezeichnet wurden.

An der Station Freiburg (Abb. 5-1) besitzen die 25 untersuchten Taxa für den Zeitraum 1987 bis 2003 die nachfolgende Zusammensetzung. Die *Urticaceae* stellen mit rund 22% des

Gesamtpollenspektrums das häufigste Taxon. In Deutschland umfasst die Familie der Urticaceae dabei vier Arten: *Urtica dioica*, *Urtica urens*, *Urtica kioviensis* und *Urtica pilulifera*. Mit ungefähr 15% steht die Gattung *Betula* bezüglich der Häufigkeit an zweiter Stelle. Die zentraleuropäischen Arten sind: *Betula pendula*, *Betula pubescens*, *Betula nana* und *Betula humilis*. Die Poaceae (ausgenommen *Secale cereale*), welche unzählige Arten enthält, stellen insgesamt 10% der Gesamtkomposition. Vier Taxa tragen ungefähr zwischen 8 bis 3% bei. Diese sind gemäß ihrer Häufigkeit in absteigender Reihenfolge: *Fraxinus* (Familie: Oleaceae - hauptsächlich *Fraxinus excelsior*), *Alnus* (Familie: Betulaceae - zumeist *Alnus glutinosa*), *Quercus* (Familie: Fagaceae - zumeist *Quercus robur*), *Platanus* (Familie: Platanaceae - *Platanus occidentalis* und *Platanus orientalis*) und *Corylus* (Familie: Betulaceae - überwiegend *Corylus avellana*). Die restlichen 17 untersuchten Taxa tragen zum Gesamtspektrum einzeln betrachtet lediglich max. bis zu 3% und aufsummiert um die 20% bei. In absteigender Reihenfolge sind dies: *Carpinus* (Familie: Betulaceae - einzige zentraleuropäische Art: *Carpinus betulus*), *Salix* (Familie: Salicaceae - mehrere Arten, Hauptvertreter: *Salix alba*), *Pinus* (Familie: Pinaceae - drei Subgenera und mehrere Arten), *Fagus* (Familie: Fagaceae - *Fagus sylvatica*), *Plantago* (Familie: Plantaginaceae - zumeist *Plantago lanceolata* und *Plantago major*), *Picea* (Familie: Pinaceae - überwiegend *Picea abies*), *Rumex* (Familie: Polygonaceae - mehrere Arten, insbesondere *Rumex acetosa*), *Tilia* (Familie: Malvaceae - mehrere Arten, zumeist *Tilia cordata*, *Tilia platyphyllos* und *Tilia tomentosa*), *Aesculus* (Familie: Sapindaceae - mehrere disjunkte Arten, zumeist *Aesculus hippocastanum* und Hybride), *Artemisia* (Familie: Asteraceae - mehrere Arten, überwiegend *Artemisia vulgaris*), *Populus* (Familie: Salicaceae - zentraleuropäische Arten: *Populus nigra*, *Populus alba*, *Populus tremula*, *Populus canescens* und mehrere Hybride), *Ulmus* (Familie: Ulmaceae - zumeist *Ulmus glabra*), Chenopodiaceae oder Amaranthaceae (mehrere Gattungen und Arten; z.B. *Chenopodium*), *Acer* (Familie: Sapindaceae - mehrere Arten, hauptsächlich *Acer platanoides*, *Acer pseudoplatanus*, *Acer campestre*, *Acer monspessulanum*, *Acer opalus* und *Acer tataricum*), *Juglans* (Familie: Juglandaceae - *Juglans regia*), *Secale cereale* (Familie: Poaceae) und *Larix* (Familie: Pinaceae - *Larix decidua*).

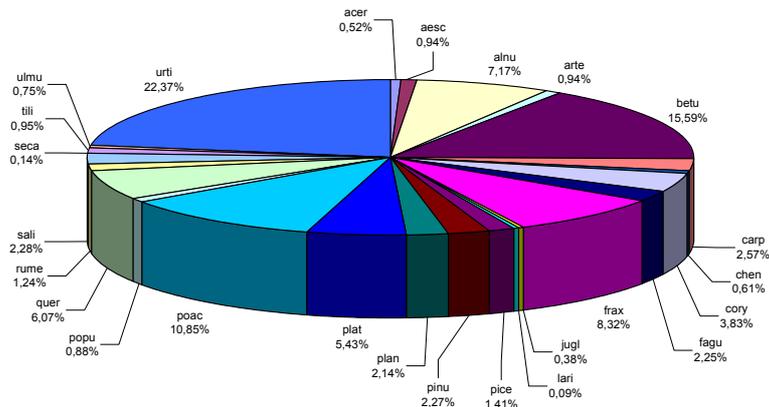
Station Freiburg:

Abb. 5-1: Absolute Pollensumme an der Station Freiburg. Zeitspanne: 1987-2003.

An der Station Gerlingen (Abb. 5-2) ist die Zusammensetzung bezüglich der über den Zeitraum von 1997 bis 2003 untersuchten 25 Taxa zu Gunsten der Poaceae, Betula, Pinus und Urtica verschoben. Ursache hierfür sind die über die ausgewerteten Jahre für die meisten der verbleibenden Taxa fehlenden Werte. Dennoch gibt die Darstellung einen Überblick über die Zusammensetzung der durchgängig ausgezählten Pollentaxa. Dabei stellen die Poaceae mit 22% das häufigste Taxon. Betula und Pinus folgen mit 19 bzw. 15% an zweiter und dritter Stelle. Die Urticaceae stellen 10% der gesamten Komposition. Insgesamt umfassen fünf Taxa zwischen 6 bis 3% der Gesamtzusammensetzung. Dies sind absteigender Reihenfolge: Alnus (~ 6%), Fagus (~ 5%), Quercus (~ 4%) sowie Salix and Corylus (~ 3%). All die 16 anderen untersuchten Taxa tragen zum Gesamtspektrum einzeln betrachtet lediglich max. bis zu 3% und aufsummiert um die 13% bei. In absteigender Reihenfolge sind dies: Fraxinus, Carpinus, Secale cereale, Artemisia, Populus, Plantago, Picea, Rumex, Tilia, Aesculus, Larix, Platanus, Chenopodiaceae, Acer, Juglans und Ulmus.

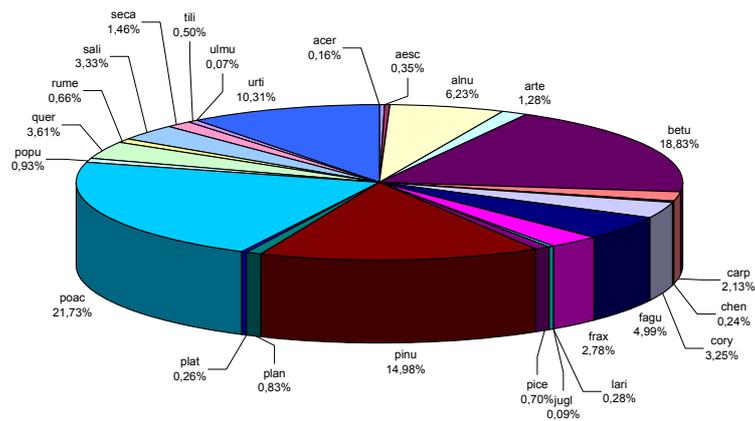
Station Gerlingen:

Abb. 5-2: Absolute Pollensumme an der Station Gerlingen. Zeitspanne: 1997-2003.

Die Station Heidelberg (Abb. 5-3), welche die Zeitspanne von 1997 bis 2003 umfasst, zeigt für die 25 ausgewählten Taxa nachfolgende Zusammensetzung. Mit einem klaren Abstand von 7% liegt *Betula* mit einem Anteil von 24% vor den restlichen Taxa. *Urtica* folgt dann mit 17% an zweiter Stelle. Mit *Pinus*, welcher 12% der Gesamtzusammensetzung ausmacht, stellen die drei häufigsten Pollentaxa zusammen über 50%. An der Station Heidelberg tragen fünf Taxa ungefähr zwischen 8 und 3% bei. Dies sind in absteigender Reihenfolge: *Fraxinus*, *Alnus* und die *Poaceae* mit ca. 8%, *Quercus* mit 5% und *Larix* mit etwas unter 4%. Die verbleibenden 17 Taxa, die eine Spanne von 3 bis leicht über 0% umfassen, summieren sich auf insgesamt ca. 13% auf. Vom höchsten zum niedrigsten Taxon sind dies: *Corylus*, *Fagus*, *Carpinus*, *Salix*, *Platanus*, *Artemisia*, *Rumex*, *Juglans*, *Plantago*, die *Chenopodiaceae*, *Populus*, *Tilia*, *Acer*, *Ulmus*, *Aesculus*, *Seca cereale* und *Picea*.

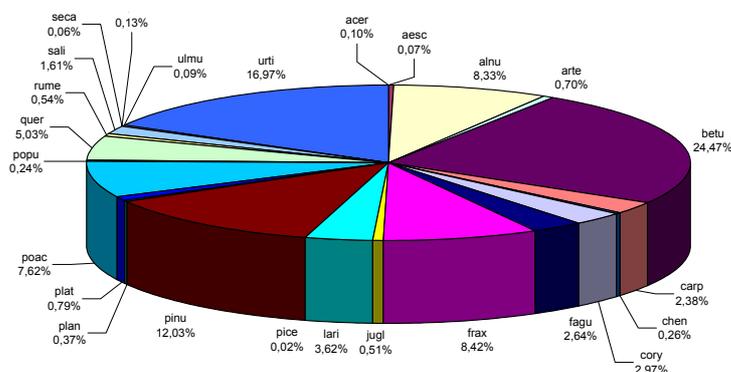
Station Heidelberg:

Abb. 5-3: Absolute Pollensumme an der Station Heidelberg. Zeitspanne: 1997-2003.

Für den Zeitabschnitt 1997 bis 2003 zeigt die Station Karlsruhe (Abb. 5-4) die folgende Zusammensetzung. *Urtica* liegt mit einem Wert von über 27% ca. 10% vor dem zweithäufigsten Taxon *Betula*, welches 17% erreicht. Die *Poaceae* summieren sich auf einen Anteil von leicht über 12% des Gesamtpollenspektrums. Mit ungefähr 10% liegen *Pinus* und *Fraxinus* leicht dahinter. Insgesamt machen die bisher genannten Taxa rund 78% der untersuchten Zusammensetzung aus. Drei Taxa - *Alnus*, *Acer* und *Fagus* - tragen ungefähr 5%, 3% beziehungsweise 2% bei. Sämtliche verbleibenden Taxa bewegen sich unter einem Niveau von 2% und summieren sich auf insgesamt 11%. Diese sind in absteigender Reihenfolge: *Salix*, *Quercus*, *Rumex*, *Picea*, *Artemisia*, *Corylus*, *Platanus*, *Populus*, die *Chenopodiaceae*, *Carpinus*, *Plantago*, *Ulmus*, *Secale cereale*, *Aesculus*, *Larix*, *Tilia* und *Juglans*.

Station Karlsruhe:

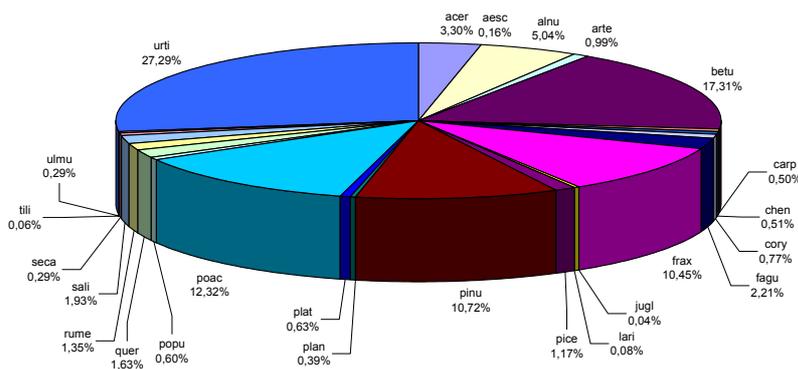


Abb. 5-4: Absolute Pollensumme an der Station Karlsruhe. Zeitspanne: 1997-2003.

Für den Zeitabschnitt 1987 bis 2003 ergibt sich an der Station Königsfeld (Abb. 5-5) bezüglich der 25 beobachteten Taxa das folgende Bild. An dieser Station setzt sich ebenfalls ein großer Teil des gesamten Spektrums, ca. 70%, aus einer geringen Anzahl an Taxa zusammen. An erster Stelle steht *Urtica* mit ca. 20%, gefolgt von den *Poaceae* und *Betula* mit rund 18% sowie *Pinus* mit 15%. Drei Taxa - *Picea*, *Fraxinus* und *Quercus* - tragen ungefähr 7%, 5% bzw. 2% zur Gesamtzusammensetzung bei. Alle 18 verbleibenden Taxa bleiben jeweils unter einem Niveau von 2% und summieren sich insgesamt auf einen Anteil von ungefähr 13% auf. In absteigender Reihenfolge sind dies die Taxa: *Fagus*, *Plantago*, *Rumex*, *Salix*, *Alnus*, *Populus*, *Corylus*, *Carpinus*, *Artemisia*, die *Chenopodiaceae*, *Secale cereale*, *Aesculus*, *Tilia*, *Acer*, *Ulmus*, *Larix*, *Platanus* und *Juglans*.

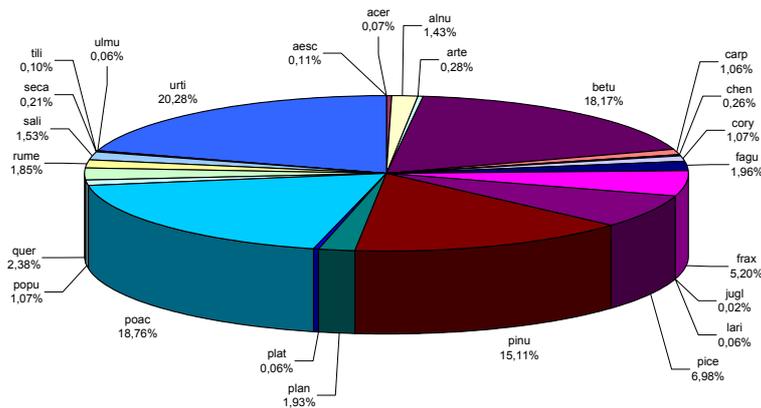
Station Königsfeld:

Abb. 5-5: Absolute Pollensumme an der Station Königsfeld. Zeitspanne: 1987-2003.

Die Auswertung der 25 Taxa an der Station Löwenstein (Abb. 5-6) führt für den Zeitabschnitt 1997 bis 2003 zu folgender Zusammensetzung. Insgesamt machen die fünf häufigsten Pollentypen über 74% des untersuchten Pollenspektrums aus. Dabei trägt *Betula* ca. 20%, *Urtica* ca. 17%, *Pinus* und *Fraxinus* jeweils ca. 13% und die *Poaceae* ca. 10% bei. Des Weiteren existieren fünf Taxa, die jeweils zwischen 5 und 2% zur Gesamtzusammensetzung beitragen. Diese Taxa sind in absteigender Reihenfolge: *Alnus* (~ 5%), *Fagus* (~ 5%), *Quercus* (~ 4%), *Picea* (~ 3%) und *Salix* (~ 2%). Die verbleibenden 15 untersuchten Taxa machen jeweils unter 2% aus und auch insgesamt lediglich 7% des gesamten Spektrums. Diese Taxa sind in absteigender Reihenfolge: *Carpinus*, *Corylus*, *Rumex*, *Plantago*, *Secale cereale*, *Populus*, *Aesculus*, *Ulmus*, the *Chenopodiaceae*, *Larix*, *Artemisia*, *Juglans*, *Tilia*, *Acer* und *Platanus*.

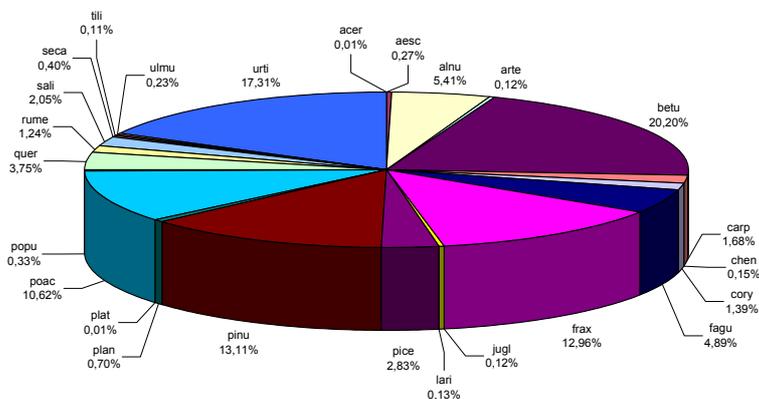
Station Löwenstein:

Abb. 5-6: Absolute Pollensumme an der Station Löwenstein. Zeitspanne: 1997-2003.

Für den untersuchten Zeitabschnitt 1997 bis 2003 ergab sich bezüglich des Pollenspektrums an der Station Wangen (Abb. 5-7) ein den anderen Stationen ähnliches Bild. Auch hier liegt erneut ein Taxa in seiner Pollenmenge weit vor den anderen. Dies ist *Betula* mit einem Anteil von 23% und einem Abstand von über 10% zu den nachfolgenden Taxa *Fraxinus*, den *Poaceae* und *Urtica* (jeweils mit ca. 12%). Zusammen umfassen die genannten vier Taxa damit ungefähr 60% der Gesamtpollensumme der Station. Insgesamt erzielten acht Taxa jeweils zwischen 9 und 2%. Dies sind in absteigender Reihenfolge: *Alnus* (~ 9%), *Picea* (~ 6%), *Corylus* und *Quercus* (~ 4%), *Pinus*, *Rumex* und *Plantago* (~ 3%) sowie *Fagus* (~ 2%). Die restlichen 13 Taxa bleiben jeweils unter einem Niveau von 2% und ergeben in der Summe einen Wert von 6%. In absteigender Reihenfolge sind dies die Taxa: *Carpinus*, *Populus*, *Platanus*, *Aesculus*, *Ulmus*, *Salix*, die *Chenopodiaceae*, *Tilia*, *Artemisia*, *Acer*, *Juglans*, *Secale cereale* und *Larix*.

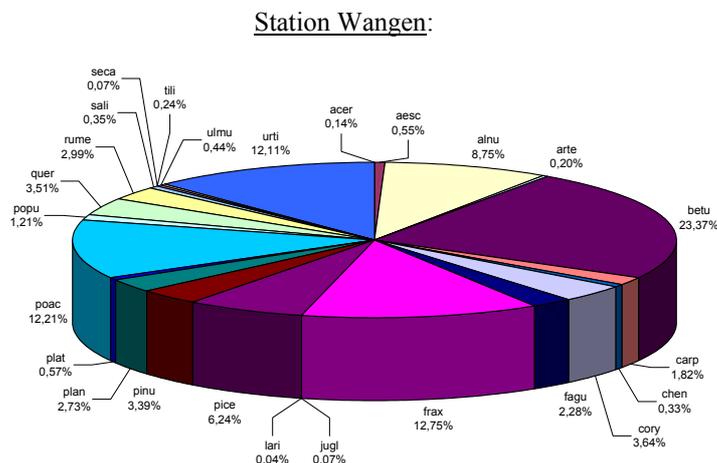


Abb. 5-7: Absolute Pollensumme an der Station Wangen. Zeitspanne: 1997-2003.

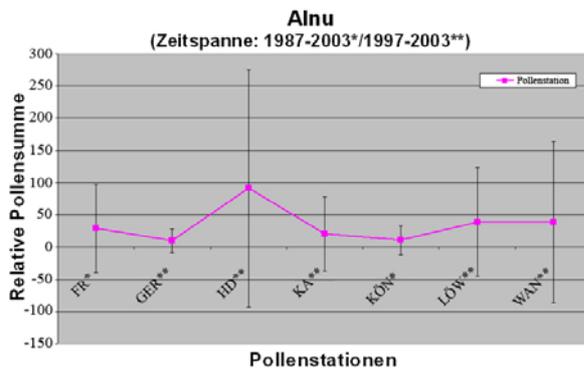
5.1.2 Analyse der Stationen mittels des Vergleichs der relativen Pollensumme ausgewählter Taxa

Die relative Pollensumme ist für die einzelnen Taxa definiert als die absolute Pollensumme bezogen auf die Anzahl der Tage mit Pollenflug innerhalb der betrachteten Zeitspannen. So erlaubt dieser Wert, auf der Basis eines berechneten Tagesmittels, einen Vergleich der Stationen untereinander. Zudem wird der durch fehlende Tageswerte entstehende Fehler gemindert.

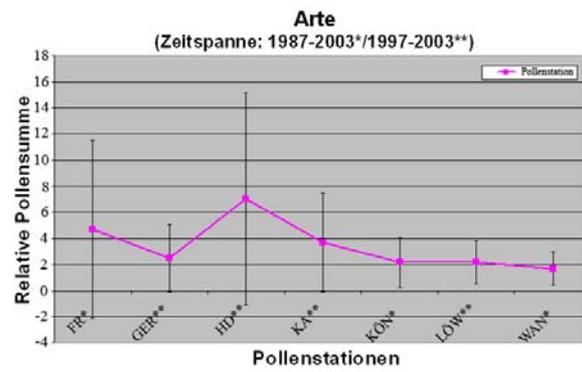
Dabei wurde die relative Pollensumme, wie schon die absolute Pollensumme, an den sieben Stationen für dieselben ausgewählten 25 Taxa bestimmt (Kap. 4.1.1). Diese ist für sechs Taxa beispielhaft dargestellt (Abb. 5-8, a-f). Es handelt sich dabei um diejenigen Taxa, welche auch an der Station Gerlingen durchgängig aufgezeichnet wurden.

Auch wenn das beobachtete Pollenspektrum bezüglich der einzelnen Taxa im Vergleich der Stationen eine gewisse Schwankungsbreite aufweist, ist diese Variabilität dennoch im zu erwartenden Bereich und zeigt bis auf *Larix* an der Station Heidelberg keine Ausreißer bzw. Extremwerte. Es ist anhand der Grafiken (Abb. 5-8, a-f) offensichtlich, dass sich der Pollenausstoß äußerst vielfältig gestaltet und hinsichtlich der berechneten Werte eine große Bandbreite einnimmt. Diese Unterschiede können insbesondere auf biologische bzw. natürliche Faktoren, die von der Reproduktionsstrategie abhängen, zurückgeführt werden. Während manche Taxa bezüglich ihrer relativen Pollensumme hohe Ausstoßraten und große Reichweiten aufweisen, wie z.B. *Betula* (zwischen 20 und 190), *Urtica* (zwischen 10 und 80) und *Poaceae* (zwischen 10 und 40), zeigen andere wie z.B. *Plantago* (ca. 2 bis 5) und *Acer* (ca. 2 bis 20) über die beobachteten Jahre weitaus geringere Werte (Abb. 5-8, a-f).

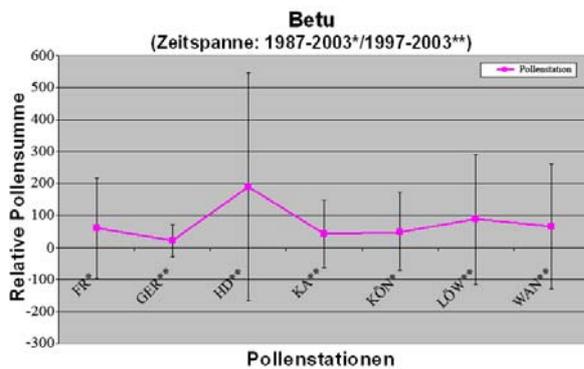
Die Standardabweichung, welche ein Maß für die Verteilung der Werte bezüglich des Mittelwertes darstellt, folgt den eben beschriebenen Ausstoßraten bzw. Reichweiten weitgehend. Sie erreicht ihre höchsten Werte zudem zumeist an der Station Heidelberg. Eine hohe Standardabweichung impliziert große Unterschiede hinsichtlich saisonaler Abläufe wie beispielsweise eines Jahresganges. So würde eine hypothetische Standardabweichung von 0 darauf hinweisen, dass sich die Werte der Einzeltage im Mittel des Gesamtjahres bewegen.



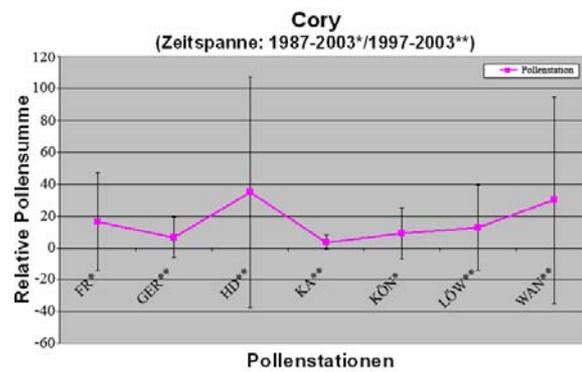
a) Alnus



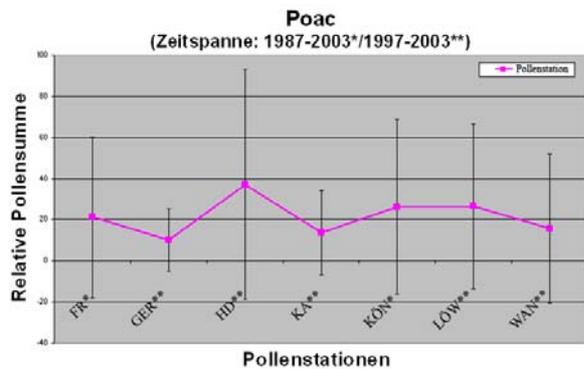
b) Artemisia



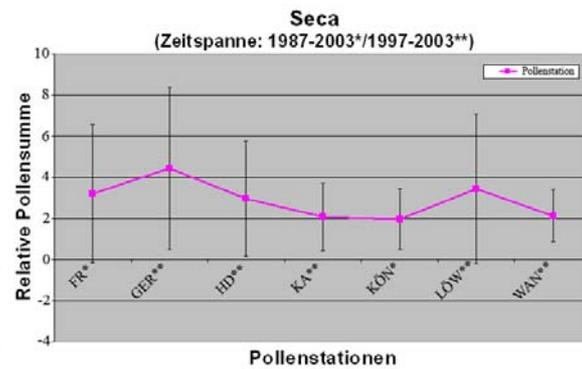
c) Betula



d) Corylus



e) Poaceae



f) Secale cereale

Abb. 5-8 (a-f): Vergleich der ausgewerteten Stationen. Relative Pollensumme ausgewählter Taxa mit entsprechender Standardabweichung. Zeitspanne: 1987-2003 bzw. 1997-2003.

Des Weiteren wurden die untersuchten Stationen hinsichtlich der Höhe der Pollensummen für jedes ausgewählte Taxon der Einordnung in eine Rangfolge unterworfen. Dadurch wird zusätzlich verdeutlicht, dass die Stationen bezüglich der relativen Pollensummen in Abhängigkeit zu den einzelnen Taxa gewisse Unterschiede aufweisen (Tab. 5-1 & 5-2).

Tab. 5-1: Rangfolge (1-7) der einzelnen Stationen nach Wertigkeit der relativen Pollensummen.

Nr:	Taxa:	(1) Freiburg	(2) Gerlingen	(3) Heidelberg	(4) Karlsruhe	(5) Königfeld	(6) Löwenstein	(7) Wangen
1	Acer	2	5	4	1	6	7	3
2	Aesc	1	3	5	7	6	2	4
3	Alnu	4	7	1	5	6	2	3
4	Arte	2	4	1	3	6	5	7
5	Betu	4	7	1	6	5	2	3
6	Carp	2	5	1	7	6	3	4
7	Chen	2	6	1	4	7	5	3
8	Cory	3	6	1	7	5	4	2
9	Fagu	5	3	1	4	6	2	7
10	Frax	5	7	1	4	6	2	3
11	Jugl	2	5	1	6	7	4	3
12	Lari	4	2	1	7	5	3	6
13	Pice	4	6	7	5	3	1	2
14	Pinu	6	4	1	5	3	2	7
15	Plan	2	6	3	7	4	5	1
16	Plat	1	4	2	3	6	7	5
17	Poac	4	7	1	6	3	2	5
18	Popu	1	3	2	6	4	7	5
19	Quer	3	5	1	4	7	2	6
20	Rume	1	7	3	6	5	2	4
21	Sali	2	4	1	6	5	3	7
22	Seca	3	1	4	6	7	2	5
23	Tili	1	2	3	7	6	5	4
24	Ulmu	1	6	3	4	7	5	2
25	Urti	4	7	1	3	5	2	6

Tab. 5-2: Verteilung der Ränge (1-7) im Hinblick auf die einzelnen Stationen.

Rang:	(1) Freiburg	(2) Gerlingen	(3) Heidelberg	(4) Karlsruhe	(5) Königsfeld	(6) Löwenstein	(7) Wangen
1	6	1	15	1	-	1	1
2	7	2	2	-	-	11	3
3	3	3	4	3	3	3	6
4	6	4	2	5	2	2	4
5	2	4	1	3	6	5	4
6	1	5	-	7	9	-	3
7	-	6	1	6	5	3	4

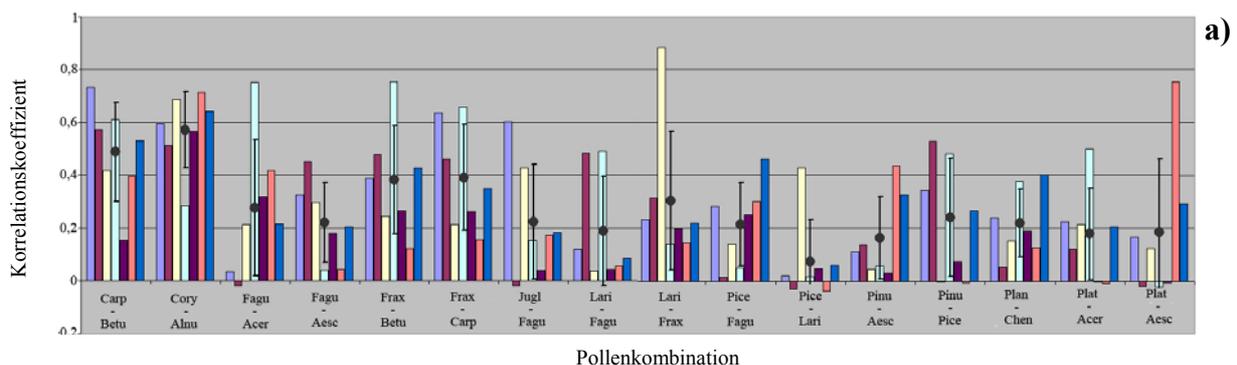
Die höchsten relativen Pollensummen, gemittelt über alle untersuchten Taxa, ergeben sich in absteigender Reihenfolge für die Stationen Heidelberg, Freiburg und Löwenstein. Die niedrigsten Werte zeigen die Stationen Königsfeld und Karlsruhe, gefolgt von Gerlingen und Wangen. Bei Betrachtung der Einzeltaxa zeigt sich ein teilweise sehr differenziertes Bild. So finden sich mit Ausnahme der Station Königsfeld auch an den als „niedrig“ kategorisierten Stationen einzelne Taxa, welche an diesen Stationen im internen Stationenvergleich ihren höchsten Wert erreichen. Dies ist zum Beispiel Acer an der Station Karlsruhe, Secale cereale in Gerlingen und Plantago in Wangen. Dennoch ist es übergeordnet die Station Heidelberg, welche mit 15 der insgesamt 25 ausgewerteten Taxa den ersten Rang belegt und sich so von den anderen Stationen abhebt.

Aussage:

- Die einzelnen Stationen sind grundsätzlich im Rahmen einer natürlichen Schwankungsbreite miteinander vergleichbar - Variationen sind vorhanden, bewegen sich jedoch auf ähnlichem Niveau
- Es gibt Stationen, die systematisch ausreißern, darunter Freiburg, Heidelberg und Karlsruhe
- Die Stationen sind ebenfalls in ihrer Standardabweichung vergleichbar, da sich die Intervalle zu einem Großteil überlappen. Gleichzeitig fällt auf, dass sich bei großen Werten für die Summe ebenfalls bei den Varianzen große Werte ergeben und umgekehrt

5.1.3 Vergleich der Korrelationsmatrizen

In einem weiteren Schritt der Evaluierung der Pollendaten wurden Korrelationsmatrizen erstellt, um die Stärke der Korrelation der einzelnen Pollentypen untereinander und im Vergleich der untersuchten Stationen abzuschätzen. Die Berechnung erfolgte mit SPSS 12.0.1. Die Pollendaten sämtlicher Stationen wurden über das Modul der bivariaten Korrelationen geladen, um Korrelationen zwischen $-0,4 \geq r \geq 0,4$ zu isolieren. Nachfolgend wurden diejenigen Pollenpaare in ein Balkendiagramm eingetragen, deren Korrelationskoeffizienten an mindestens einer der sieben untersuchten Stationen den Betrag von 0,4 aufweisen. Zusätzlich zu deren Korrelationskoeffizienten wurden jeweils der Mittelwert und die Standardabweichung ausgewiesen (Abb. 5-9, a-c).



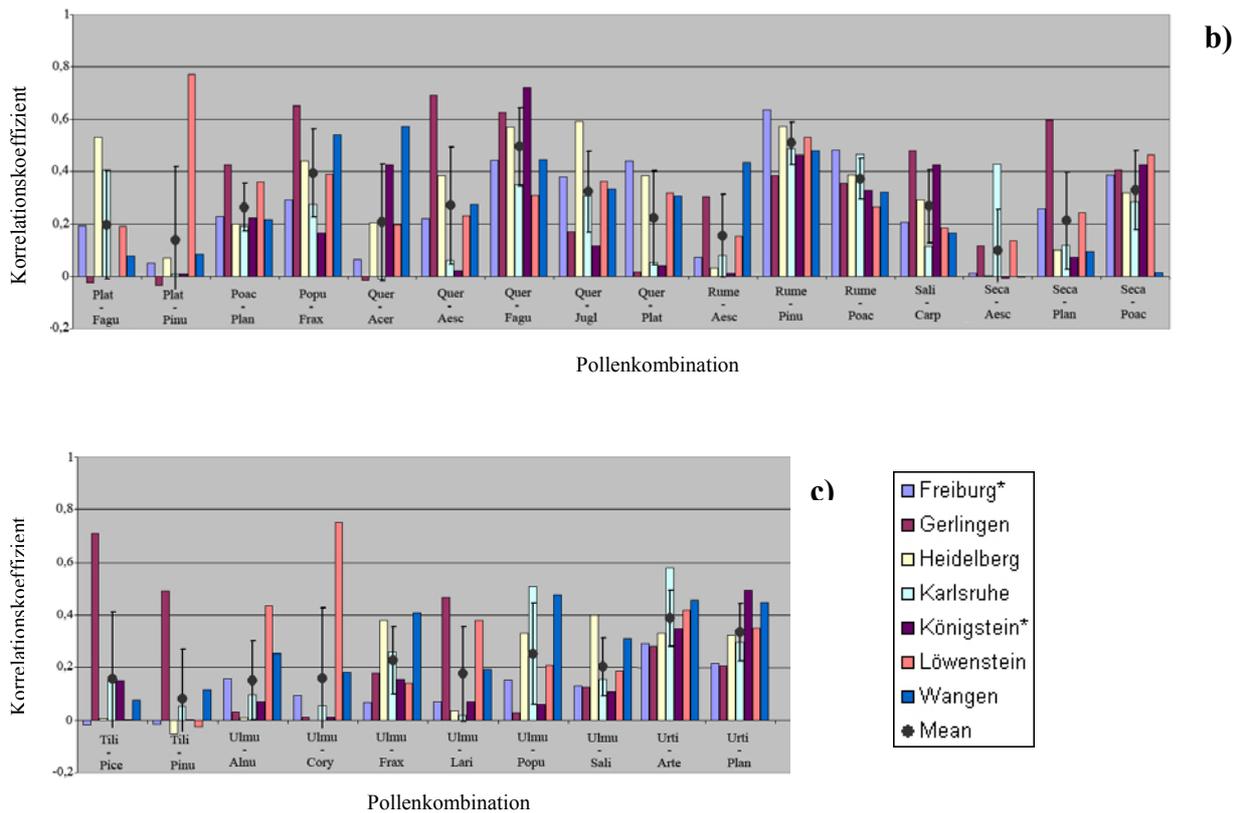


Abb. 5-9 (a-c): Balkendiagramm ausgewählter Pollenpaare des Typs I & II mit Angabe des Mittelwerts sowie der Standardabweichung.

Innerhalb der dargestellten Diagramme (Abb. 5-9, a-c) wurden hinsichtlich der Pollenpaare und der Ladung der entsprechenden Korrelationskoeffizienten zwei verschiedene Typen unterschieden. Der erste Typ (Typ I) kann als hochladend (an mindestens einer Station einen Wert von $r \geq |0,4|$, und dies zumeist auch an den übrigen Stationen) beschrieben werden. Der zweite Typ (Typ II) ist dadurch charakterisiert, dass er an mindestens einer Station einen Wert von $r \geq |0,4|$ erreicht, ansonsten aber über alle Stationen betrachtet bezüglich der Korrelationskoeffizienten ein eher unregelmäßiges Muster aufweist. Zusätzlich gibt es einen dritten Typen (Typ III) - dieser beinhaltet Pollenpaare, die an keiner der sieben Stationen hoch laden, sprich keinen Wert von über $|0,4|$ erreichen. Dieser Typ wurde nicht in die in diesem Kapitel erstellten Diagramme übernommen.

Die Pollenpaare, welche dem als Typ I beschriebenen Muster entsprechen, lauten wie folgt:

- Carpinus-Betula	Mittelwert:	0,5	STABW:	0,2
- Corylus-Alnus	Mittelwert:	0,6	STABW:	0,1
- Fraxinus-Betula	Mittelwert:	0,4	STABW:	0,2
- Fraxinus-Carpinus	Mittelwert:	0,4	STABW:	0,2
- Larix-Fraxinus	Mittelwert:	0,3	STABW:	0,3
- Poaceae-Plantago	Mittelwert:	0,3	STABW:	0,1
- Quercus-Fagus	Mittelwert:	0,5	STABW:	0,1
- Rumex-Pinus	Mittelwert:	0,5	STABW:	0,1
- Rumex-Poaceae	Mittelwert:	0,4	STABW:	0,1
- Salix-Carpinus	Mittelwert:	0,3	STABW:	0,1
- Secale-Poaceae	Mittelwert:	0,3	STABW:	0,2
- Ulmus-Salix	Mittelwert:	0,2	STABW:	0,1
- Urtica-Artemisia	Mittelwert:	0,4	STABW:	0,1
- Urtica-Plantago	Mittelwert:	0,3	STABW:	0,1

Die Mittelwerte der Typ I entsprechenden Pollenpaare erstrecken sich von 0,3 bis 0,6 (ausgenommen Ulmus-Salix, $r_{\text{mean}} = 0,2$). Die insgesamt niedrige Standardabweichung liegt zwischen 0,1 und 0,2 mit Tendenz zu 0,1. Eine Ausnahme stellt Larix-Fraxinus mit einer Standardabweichung von 0,3. Insgesamt überlappen die Standardabweichungen dieser Pollenpaare weitgehend.

Für die dem Typ II entsprechenden Pollenpaare wurden folgende Paare extrahiert:

- Fagus-Acer	Mittelwert:	0,3	STABW:	0,3
- Fagus-Aesculus	Mittelwert:	0,2	STABW:	0,2
- Juglans-Fagus	Mittelwert:	0,2	STABW:	0,2
- Larix-Fagus	Mittelwert:	0,2	STABW:	0,2
- Picea-Fagus	Mittelwert:	0,2	STABW:	0,2
- Picea-Larix	Mittelwert:	0,1	STABW:	0,2
- Pinus-Aesculus	Mittelwert:	0,2	STABW:	0,2

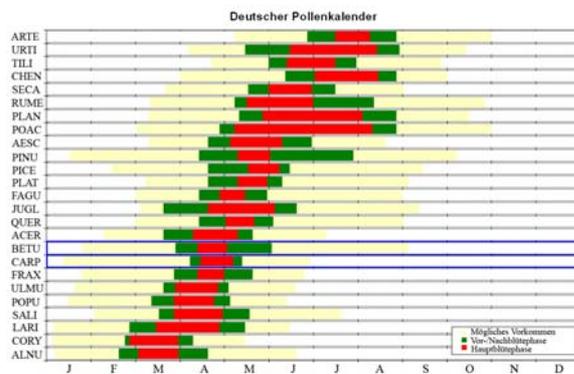
- Pinus-Picea	Mittelwert:	0,2	STABW:	0,2
- Plantago-Chenopodiaceae	Mittelwert:	0,2	STABW:	0,1
- Platanus-Acer	Mittelwert:	0,2	STABW:	0,2
- Platanus-Aesculus	Mittelwert:	0,2	STABW:	0,3
- Platanus-Fagus	Mittelwert:	0,2	STABW:	0,2
- Platanus-Pinus	Mittelwert:	0,1	STABW:	0,3
- Populus-Fraxinus	Mittelwert:	0,4	STABW:	0,2
- Quercus-Acer	Mittelwert:	0,2	STABW:	0,2
- Quercus-Aesculus	Mittelwert:	0,3	STABW:	0,2
- Quercus-Juglans	Mittelwert:	0,3	STABW:	0,2
- Quercus-Platanus	Mittelwert:	0,2	STABW:	0,2
- Rumex-Aesculus	Mittelwert:	0,2	STABW:	0,2
- Secale-Aesculus	Mittelwert:	0,1	STABW:	0,2
- Secale-Plantago	Mittelwert:	0,2	STABW:	0,2
- Tilia-Picea	Mittelwert:	0,2	STABW:	0,3
- Tilia-Pinus	Mittelwert:	0,1	STABW:	0,2
- Ulmus-Alnus	Mittelwert:	0,2	STABW:	0,1
- Ulmus-Corylus	Mittelwert:	0,2	STABW:	0,3
- Ulmus-Fraxinus	Mittelwert:	0,2	STABW:	0,1
- Ulmus-Larix	Mittelwert:	0,2	STABW:	0,2
- Ulmus-Populus	Mittelwert:	0,3	STABW:	0,2

Die Mittelwerte der Typ II entsprechenden Pollenpaare erstrecken sich von 0,1 bis 0,3 (ausgenommen Populus-Fraxinus, $r_{\text{mean}} = 0,4$). Die im Vergleich zu Typ I leicht höhere Standardabweichung liegt mit einem Trend zu 0,2 zwischen 0,1 und 0,3. Auch hier überlappen die Standardabweichungen der einzelnen Pollenpaare weitgehend.

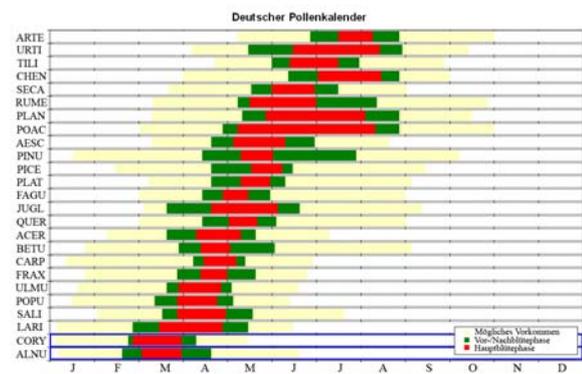
Der Vergleich der Pollenpaare des Typ I mit den Flugzeiten der einzelnen Taxa, wie im Pollenkalender des PID für Deutschland angegeben, führt zu interessanten Ergebnissen (Abb. 5-10, a-n). Zum einen zeigt der Pollenkalender die jährliche Verteilung der innerhalb dieser Studie untersuchten Pollentaxa, zum anderen stellt er dadurch auch die einzelnen Taxa zeitlich zueinander in Beziehung. Der Blühverlauf ist dabei in drei Einheiten unterteilt:

- 1) das mögliche Vorkommen der Pollenkörner der untersuchten Arten
- 2) die Vor- und Nachblütephase
- 3) die Hauptblütephase

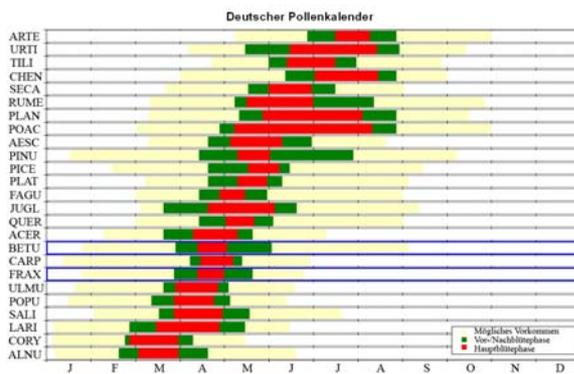
Die Pollenpaare, welche die Bedingungen eines zugleich hohen und an der Mehrheit der Stationen ähnlichen Ladens (Typ I) erfüllen, wurden in den Diagrammen Abb. 5-10 (a-n) mit blauer Umrandung hervorgehoben. Da die drei Blütephasen in ihrer zeitlichen Ausdehnung bzw. ihrer Andauer lediglich gering variieren, wurden diese Taxa als ähnlich in ihrem Blühverhalten identifiziert. Somit zeigt die Studie für diese Gattungen einen Zusammenhang bezüglich der Phänologie. Die Phänologie wird daher bei den Typ I Taxapaaren als der bestimmende Faktor angenommen. Der Zusammenhang stellt sich im Einzelnen wie folgt dar:



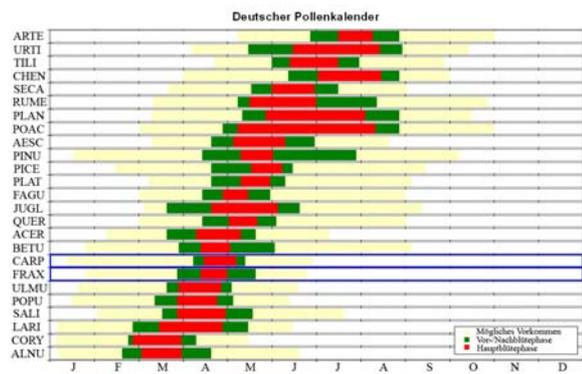
a) Carpinus-Betula



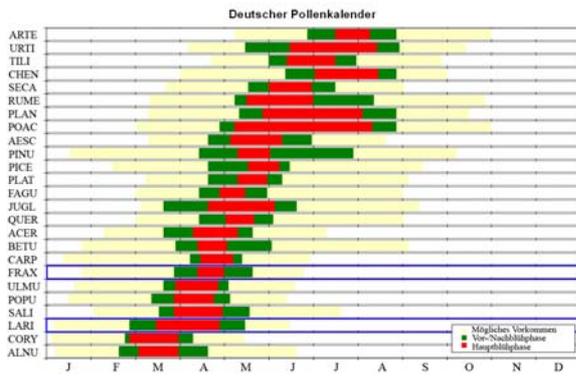
b) Corylus-Alnus



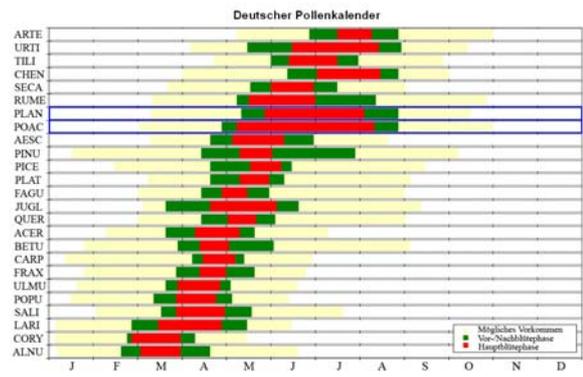
c) Fraxinus-Betula



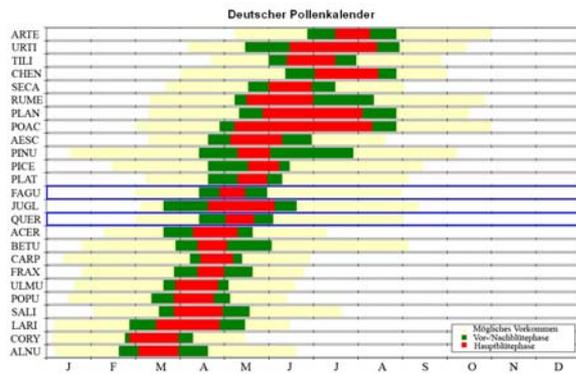
d) Fraxinus-Carpinus



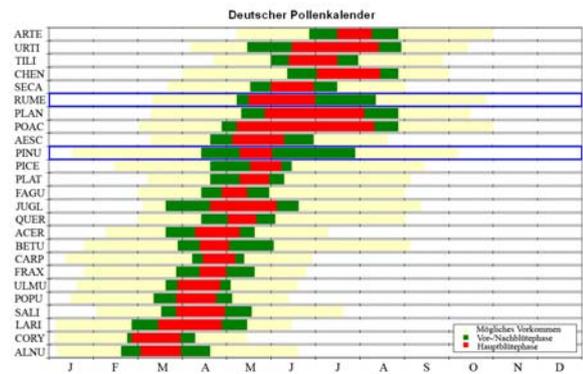
e) Larix-Fraxinus



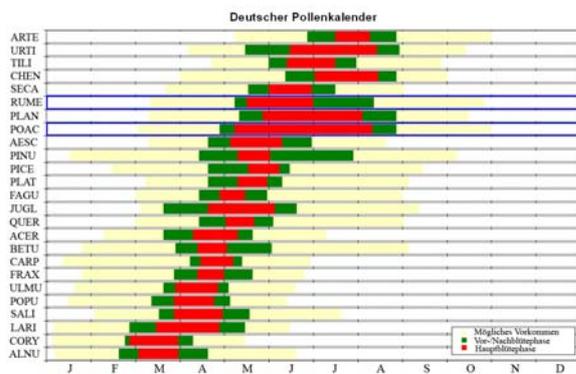
f) Poaceae-Plantago



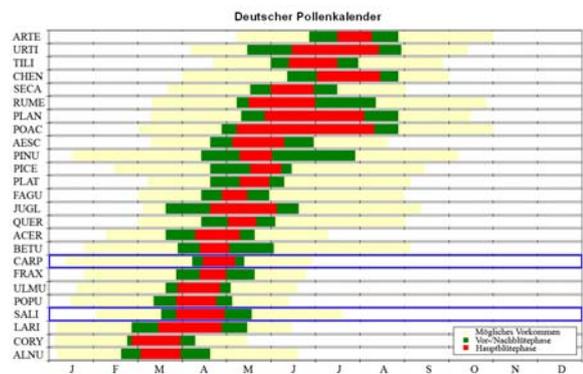
g) Quercus-Fagus



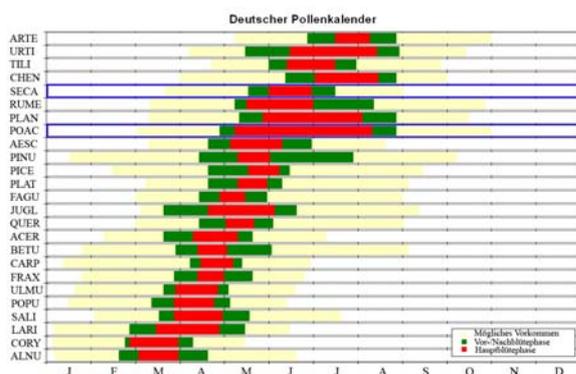
h) Rumex-Pinus



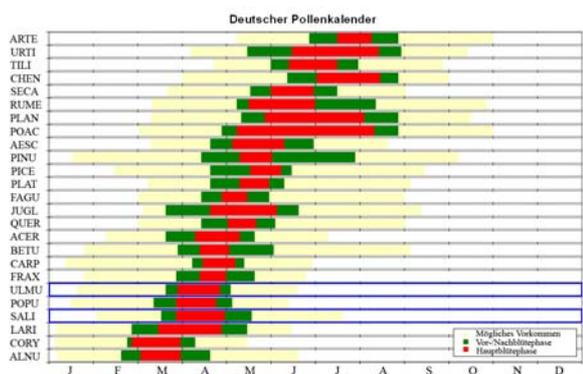
i) Rumex-Poaceae



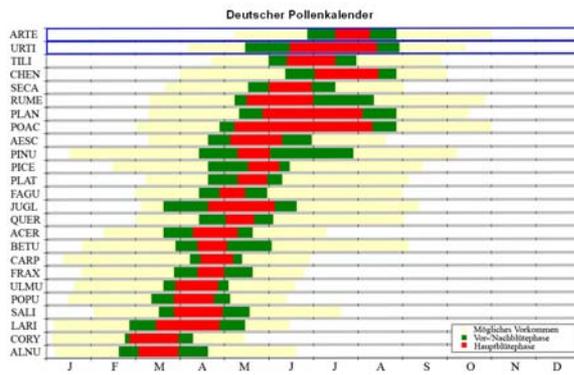
j) Salix-Carpinus



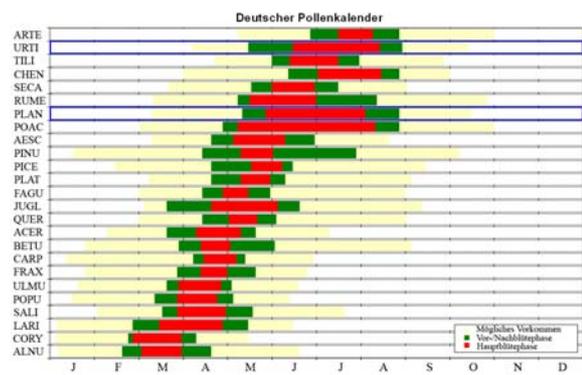
k) Secale-Poaceae



l) Ulmus-Salix



m) Urtica-Artemisia



n) Urtica-Plantago

Abb. 5-10 (a-n): Deutscher Pollenkalender mit Typ I Taxapaaren (blaue Umrandung). Der Pollenkalender wurde nach WINKLER et al. 2001, HECKER 1991 und GODET 2001 verändert.

Im Unterschied zu den Typ I Taxapaaren zeigen die den Typ II zugeordneten Pollenkombinationen zumeist ein unterschiedliches Verteilungsmuster. Dies sind Taxa, die in ihrem Blühverhalten mehr oder weniger unterschiedlich agieren. Beim Vergleich dieser Wertepaare mit dem Pollenkalender des PID (Abb. 5-10, a-n) ist ein Versatz der Blühphasen zueinander bzw. eine unterschiedliche Ausdehnung dieser Phasen festzustellen. So ist hier nicht die Phänologie, sondern die regionale Vegetation der entscheidende Faktor.

Aussage:

- Es gibt Taxa, die miteinander korrelieren und deren Korrelationen sich über die meisten Stationen hinweg mehr oder weniger gleich verhalten ($-0,4 \leq r \leq 0,4$)
- Es gibt Taxa, die miteinander korrelieren, dies jedoch lediglich an einzelnen Stationen
- Es gibt Taxa die an keiner der untersuchten Stationen miteinander korrelieren; diese Taxa repräsentieren die Mehrheit
- Diejenigen Taxa, die zugleich hoch und an mehreren Stationen miteinander korrelieren, sind Taxa, welche zumeist in ihrem Blühverhalten sprich in ihrer Phänologie übereinstimmen - im Unterschied dazu sind nur einzeln hoch korrelierende Taxa ein Anzeiger für den Einfluss der regionalen Vegetation

5.2 Korrelation der Pollen- und Klimadaten

Innerhalb dieses Kapitels werden die Ergebnisse der einfachen und multiplen linearen Regressionen zwischen den in Kap. 4.1 und 4.3 beschriebenen Pollen- und Klimadaten dargestellt. Für alle Korrelationen wurde der Korrelationskoeffizient r bzw. das Bestimmtheitsmaß r^2 berechnet. Des Weiteren ist in allen Tabellen die Signifikanz (2-seitig) auf dem Niveau von 0,05 (*) bzw. 0,01 (***) angegeben.

5.2.1 Einfache lineare Regressionen - Pollen- und Klimadaten

An den einzelnen Stationen führen die Korrelationen zwischen Pollen- und Klimadaten im Wesentlichen zu niederen Korrelationskoeffizienten, die somit auf einen geringen Zusammenhang zwischen den Datensätzen hinweisen. Dabei erreichen die Korrelationskoeffizienten eine Stärke zwischen 0,1 und 0,3. Die verschiedenen Taxa zeigen an den einzelnen Stationen teilweise signifikante Werte. Dies trifft insbesondere auf die Parameter MAX, MIN, MEAN und SUN zu, während die Parameter PREC und WIND zumeist keinen signifikanten Zusammenhang aufweisen. Nichtsdestotrotz korrelieren die einzelnen Taxa nicht stetig mit denselben Parametern, sondern hängen darin von der jeweiligen Station ab. Die Stärke der Korrelation hängt daher von Kriterien wie der Wahl des Taxons, der ausgewählten Klimaparameter sowie des Standortes der Pollenfalle ab. Des Weiteren ist das Vorzeichen - also ein negativer oder positiver Zusammenhang - nicht allgemein an ein Taxon gebunden, sondern scheint vielmehr stationenabhängig zu sein. Dennoch ist der Niederschlag überwiegend negativ mit dem Pollenflug korreliert; dies jedoch zumeist nicht signifikant und mit niedrigen Koeffizienten.

Dabei ist auffällig, dass insbesondere die Korrelationen der Klimaparameter mit *Urtica* des Öfteren zu Koeffizienten über dem Durchschnitt tendieren. Bei getrennter Betrachtung der Stationen ergeben sich jedoch auch vereinzelt mit anderen Taxa höhere Korrelationen. Während die Stationen Freiburg und Königfeld, im Vergleich der Taxa untereinander, durchgängig für alle Klimaparameter am höchsten mit *Urtica* korrelieren (Abb. 5-11, a-d), unterscheiden sich in diesem Verhalten die Stationen Gerlingen, Heidelberg, Karlsruhe, Löwenstein und Wangen. Ein Überblick über sämtliche Werte findet sich im Anhang.

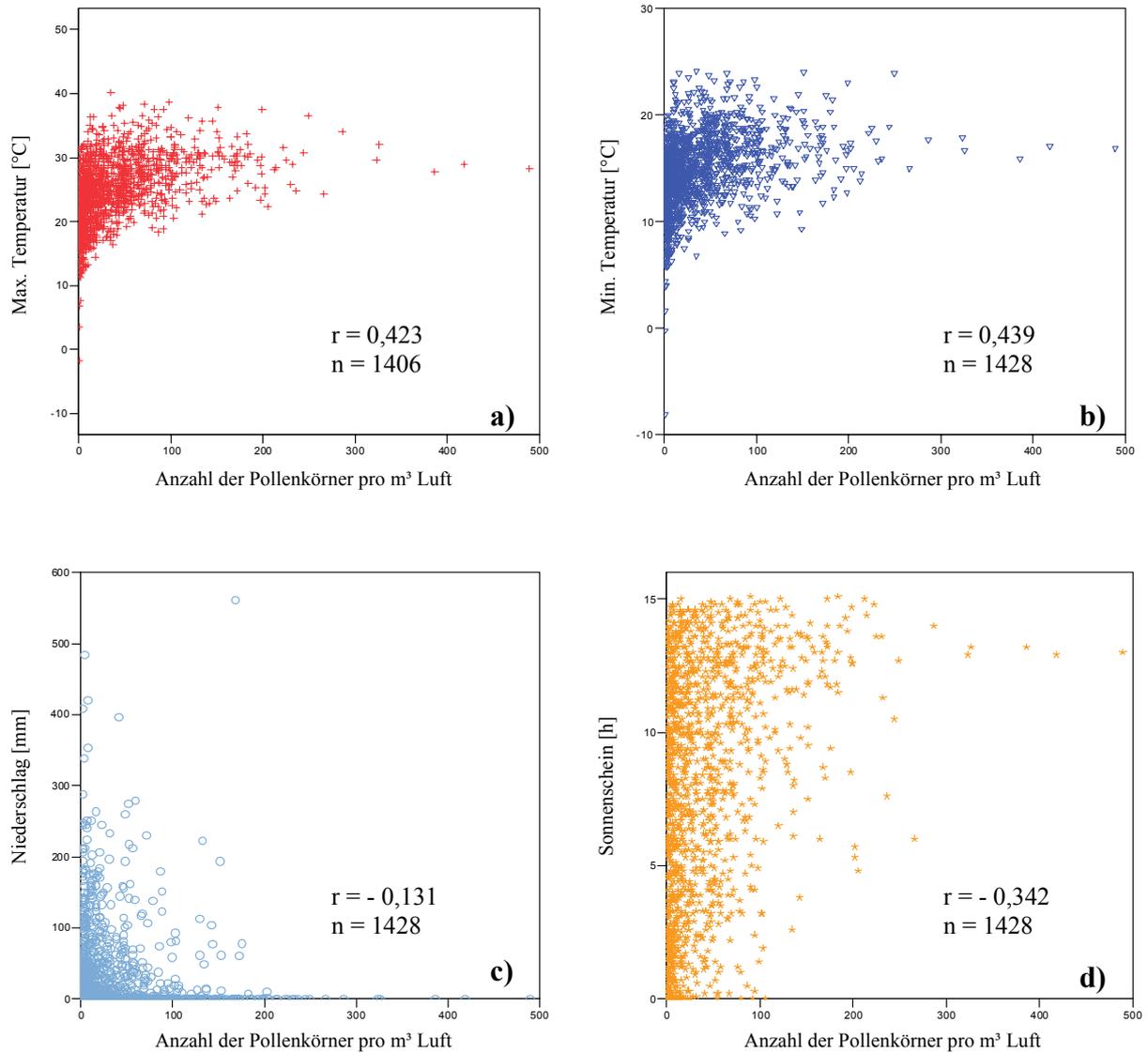


Abb. 5-11 (a-d): Einfache lineare Regressionen der Pollendaten mit Klimadaten am Beispiel von Urtica (Station Freiburg). Die Korrelationen sind auf dem Niveau von 0,05 (2-seitig) signifikant.

Aussage:

- Hinsichtlich der verschiedenen analysierten Taxa findet sich kein klarer Zusammenhang zwischen Pollenflugdaten und einzelnen Klimaparametern - das bedeutet im Großen und Ganzen keine hohen Korrelationskoeffizienten und keine Signifikanz
- Dabei werden die höchsten Koeffizienten (z.B. $r \geq |0,4|$ für Urtica) für die Parameter MAX, MIN, MEAN und SUN erreicht - die Parameter PREC und WIND weisen durchgängig eher niedrige Werte auf
- Der Niederschlag ist überwiegend negativ und mit geringer Signifikanz mit dem Pollenflug korreliert

5.2.2 Multiple lineare Regressionen - Pollen- und Klimadaten

Die Kombination der einzelnen Klimaparameter mit dem Ziel, dann möglicherweise einen stärkeren Zusammenhang zu den einzelnen Pollentaxa zu finden, wurde über multiple lineare Korrelationen durchgeführt. Mit Hilfe dieses Ansatzes wurde eine teilweise Erhöhung des Korrelationskoeffizienten an sechs der insgesamt sieben Stationen erreicht (Freiburg, Heidelberg, Karlsruhe, Königfeld, Löwenstein und Wangen). Auf Grund des geringen Datenumfanges für Gerlingen konnten hier keine gültigen Modelle erarbeitet werden. Die gewählte Methode führt generell zu einer verbesserten Aussagemöglichkeit, da über die Kombination von Einzelparametern ein höherer Varianzanteil erklärt werden kann. Insgesamt führt dieses Verfahren jedoch lediglich zu einer Verbesserung auf niedrigem Niveau ($r = 0,05$ bis $0,1$). Des Weiteren führte die Statistik nur für einige wenige der insgesamt 25 Taxa, und zudem mit unterschiedlichem Ausmaß je nach Station, zu stabilen Modellen, in welche mehrere Variablen eingehen. Zusätzlich stehen die einzelnen Taxa dann überwiegend mit lediglich zwei Klimaparametern signifikant in Zusammenhang. Wie bereits im Zuge der einfachen Regressionen festgestellt wurde, sind es auch bei den multiplen Regressionen wiederum die Urticaceae, für welche über alle Stationen hinweg die besten Modelle generiert werden konnten (Tab. 5-3, a-f).

Hinsichtlich der untersuchten Klimaparameter MAX, MIN, MEAN, PREC, WIN und SUN sind es, von einigen Ausnahmen wie z.B. dem Parameter WIND an der Station Heidelberg abgesehen, insbesondere die Parameter MAX, MIN und MEAN, welche in die Modelle einfließen. Im Unterschied dazu treten die Parameter SUN (Werte nicht an allen Stationen verfügbar) und WIND in den Korrelationen lediglich untergeordnet auf, wobei PREC in nahezu keinem der Modelle vertreten ist. Die Signifikanz (2-seitig) wird in allen nachfolgenden Tabellen auf dem Niveau von 0,05 (*) bzw. 0,01 (**) angegeben.

Tab. 5-3 (I): Auswertung mit Hilfe multipler linearer Regressionen (Pollen- und Klimadaten). Aufgelistet sind für die einzelnen Stationen diejenigen Taxa, für die ein gültiges Modell erzielt wurde.

Station	Taxa	r-Wert	r ² -Wert	Optionen Modell II	Optionen Modell III	Optionen Modell IV	Optionen Modell V	Sig. (2-seit.)
FR	Aesc	0,223	0,050	min, prec	-	-	-	*
	Frax	0,189	0,036	max, mean	-	-	-	*
	Pice	0,185	0,034	max, min	-	-	-	*
	Plan	0,154	0,024	sun, min	sun, min, mean	-	-	*
	Urti	0,470	0,221	mean, sun	mean, sun, min	mean, sun, min, wind	mean, sun, min, wind, max	**
HD	Carp	0,226	0,051	max, mean	-	-	-	*
	Chen	0,257	0,066	max, wind	-	-	-	*
	Fagu	0,222	0,049	max, min	-	-	-	*
	Pinu	0,245	0,060	wind, max	wind, max, min	-	-	*
	Plat	0,268	0,072	mean, max	-	-	-	*
	Poac	0,207	0,043	max, min	max, min, mean	-	-	**
	Popu	0,471	0,222	max, mean	-	-	-	*
	Quer	0,397	0,158	mean, min	-	-	-	**
	Urti	0,473	0,224	mean, max	mean, max, wind	-	-	*
KA	Arte	0,497	0,247	max, sun	-	-	-	*
	Poac	0,294	0,087	sun, wind	-	-	-	**
	Sali	0,219	0,048	min, max	-	-	-	*

Tab. 5-3 (I): Auswertung mit Hilfe multipler linearer Regressionen (Pollen- und Klimadaten). Aufgelistet sind für die einzelnen Stationen diejenigen Taxa, für die ein gültiges Modell erzielt wurde.

Station	Taxa	r-Wert	r ² -Wert	Optionen Modell II	Optionen Modell III	Optionen Modell IV	Optionen Modell V	Sig. (2-seit.)
KÖN	Alnu	0,278	0,077	wind, min	-	-	-	**
	Betu	0,236	0,056	max, min	-	-	-	**
	Fagu	0,272	0,074	max, min	-	-	-	**
	Frax	0,251	0,063	max, min	-	-	-	**
	Pice	0,175	0,031	min, mean	-	-	-	**
	Pinu	0,198	0,039	max, min	-	-	-	**
	Plan	0,327	0,107	max, min	max, min, mean	-	-	**
	Poac	0,303	0,092	mean, min	mean, min, wind	mean, min, wind, max	-	**
	Popu	0,251	0,063	max, wind	max, wind, mean	-	-	**
	Quer	0,255	0,065	max, wind	max, wind, min	-	-	*
	Rume	0,150	0,023	min, mean	-	-	-	**
	Urti	0,438	0,192	mean, wind	mean, wind, prec	mean, wind, prec, max	mean, wind, prec, max, min	*
LÖW	Alnu	0,244	0,060	max, min	-	-	-	*
	Fagu	0,282	0,080	max, prec	-	-	-	*
	Pinu	0,299	0,090	max, wind	max, wind, mean	-	-	*
	Plan	0,337	0,113	max, min	-	-	-	**
	Poac	0,307	0,094	max, prec	max, prec, min	max, prec, min, max	-	*
	Sali	0,296	0,088	max, min	-	-	-	**
	Urti	0,441	0,195	mean, wind	mean, wind, prec	-	-	**
WAN	Cory	0,297	0,088	max, min	-	-	-	*
	Urti	0,333	0,111	mean, wind	-	-	-	**

Aussage:

- Durch das Verfahren der multiplen linearen Regression kann eine geringe Steigerung des Korrelationskoeffizienten um 0,1 bis 0,2 erzielt werden
- Es werden an den verschiedenen Stationen lediglich für einzelne Taxa gültige Modelle erzielt - zumeist mit maximal zwei Variablen
- Die einzelnen Klimaparameter unterscheiden sich in der Häufigkeit, mit der sie in die Modelle eingebunden sind (hoch: MAX, MIN und MEAN - niedrig: PREC, WIN und SUN)
- Der Pollenflug wird also primär durch den Temperaturparameter dominiert und nur zu geringem Ausmaß durch den Niederschlag
- Urtica ist im Vergleich sämtlicher beobachteter Stationen das Taxon mit dem höchsten Korrelationskoeffizienten ($> 0,4$)

5.3 Korrelation der Wein- und Klimadaten

Innerhalb dieses Kapitels werden die Ergebnisse der einfachen und multiplen linearen Regressionen zwischen den in Kap. 4.2 und 4.3 beschriebenen Wein- und Klimadaten dargestellt. Für alle Korrelationen wurde der Korrelationskoeffizient r bzw. das Bestimmtheitsmaß r^2 berechnet. Des Weiteren ist in allen Tabellen die Signifikanz (2-seitig) auf dem Niveau von 0,05 (*) bzw. 0,01 (***) angegeben.

5.3.1 Einfache lineare Regressionen - Wein- und Klimadaten

a) Mostertrag und Klimadaten

Die in geringem Maße auftretenden Korrelationen zwischen dem Weinparameter Mostertrag und den ausgewählten Klimaparametern zeigen zumeist für alle Stationen einen mittleren Zusammenhang. Der Korrelationskoeffizient erreicht zumeist einen Wert von 0,5 mit sowohl

positivem als auch negativem Vorzeichen. Dabei sind die Zusammenhänge auf einzelne Sorten beschränkt und variieren in Abhängigkeit zu den einzelnen Stationen. Es zeigt sich, dass insbesondere der Parameter WIND mit einzelnen Weißweinsorten negativ korreliert ist. Hinsichtlich der untersuchten Rotweinsorten ergibt sich lediglich für Lemberger ein Zusammenhang mit einigen Klimaparametern - insbesondere mit MIN. Der Vergleich der einzelnen Stationen und Sorten ist im Einzelnen in Tab. 5-4 (a-b) dargestellt.

Tab. 5-4 (a-b): Einfache lineare Regressionen: Berechnung des Korrelationskoeffizienten r für Mostertrag und Klimadaten. a: Weißweinsorten, b: Rotweinsorten. Während die grau eingefärbten Bereiche fehlende Sorten kennzeichnen, indizieren die leeren Felder Korrelationskoeffizienten $\leq |0,4|$.

a)	KERNER	MÜLL.-TH.	RIESLING	RULÄNDER	SILVANER	WEIß. BURG.
FR					PREC (0,53)*	
GER						
HD					WIND (-0,59)*	
KA	WIND (-0,81)**	WIND(-0,52)*			WIND (-0,79)**	
KÖN						
LÖW						
WAN	PREC (0,54)*		WIND (0,50)*			

b)	BLAUER SP.	BLAUER TR.	LEMBERGER	PORTUGIES.	SCHWARZR.
FR					
GER			MAX (0,61)** MEAN (0,50)* SUN (0,58)*		
HD			MIN (0,53)*		
KA			MIN (0,53)*		
KÖN					
LÖW			MIN (0,55)*		
WAN					

b) Öchsle und Klimadaten

Im Unterschied zur Korrelation mit Mostertrag zeigt die Korrelation zwischen Öchsle und den Klimadaten ein hinsichtlich der Sorten breiteres Spektrum. Bei Betrachtung sämtlicher analysierter Klimaparameter ergeben sich überwiegend positive Korrelationen insbesondere für die Parameter MAX und SUN sowie zu einem etwas geringeren Ausmaße für MEAN. Eher geringe Zusammenhänge resultieren für die Öchslegrade der einzelnen Sorten mit den Parametern MIN und WIND. Dabei bilden die Station Königsfeld mit häufigen und zugleich negativen Korrelationen des Parameters WIND mit den Öchslegraden einiger Varietäten

sowie die Station Heidelberg mit einigen wenigen positiven Korrelationen die Ausnahme. Hinsichtlich der Stärke der Korrelation wurde bei Weiß- und Rotweinsorten kein Unterschied festgestellt. Einzig die Korrelationen mit dem Parameter PREC (durchweg negativ) treten lediglich unter Weißweinsorten auf. Die Korrelationskoeffizienten bewegen sich durchweg in einer Spanne zwischen 0,5 und 0,8. Der tabellarische Überblick der Stationen und Sorten stellt sich wie folgt dar:

Tab. 5-5 (a-b): Einfache lineare Regressionen: Berechnung des Korrelationskoeffizienten r für Öchslegrade und Klimadaten. a: Weißweinsorten, b: Rotweinsorten. Während die grau eingefärbten Bereiche fehlende Sorten kennzeichnen, indizieren die leeren Felder Korrelationskoeffizienten $\leq |0,4|$.

a)	KERNER	MÜLL.-TH.	RIESLING	RULÄNDER	SILVANER	WEIß. BURG.
FR	MAX (0,61)* SUN (0,61)*	MAX (0,56)* PREC (-0,55)* SUN (0,62)**	MAX (0,73)** MIN (0,50)* MEAN (0,65)** SUN (0,53)*	MAX (0,55)* SUN (0,54)*	MAX (0,72)* MEAN (0,58)* PREC (-0,56)* SUN (0,61)**	MAX (0,49)* PREC (-0,51)*
GER	PREC (-0,51)* SUN (0,70)**	SUN (0,71)*	MAX (0,60)* SUN (0,69)**	MAX (0,57)* PREC (-0,60)* SUN (0,80)**	PREC (-0,60)* SUN (0,71)*	SUN (0,74)**
HD	MAX (0,54)* WIND (0,67)**	MAX (0,56)*	MAX (0,54)* MEAN (0,50)		MAX (0,52)*	
KA		MAX (0,54)* SUN (0,67)**	MAX (0,65)** MEAN (0,51)*	MAX (0,63)** SUN (0,72)**		MAX (0,60)* SUN (0,72)**
KÖN		WIND (-0,70)**	MAX (0,66)** WIND (-0,68)*	MAX (0,52)* WIND (-0,73)**	WIND (-0,62)**	MAX (0,54)* WIND (-0,75)**
LÖW			MAX (0,58)*			MAX (0,52)*
WAN	PREC (-0,65)* SUN (0,82)**	MAX (0,49)* SUN (0,59)*	SUN (0,59)*	MAX (0,56)* SUN (0,79)**		MAX (0,64)** SUN (0,75)**

b)	BLAUER SP.	BLAUER TR.	LEMBERGER	PORTUGIES.	SCHWARZR.
FR	MAX (0,68)** MEAN (0,51)* SUN (0,62)**				SUN (0,82)*
GER	SUN (0,63)**	SUN (0,63)**	MAX (0,59)* SUN (0,77)**	SUN (0,70)*	MAX (0,53)* SUN (0,76)**
HD	MAX (0,52)* WIND (0,49)*		MAX (0,69)** MEAN (0,58)* WIND (0,64)**	MAX (0,68)** MEAN (0,53)*	MAX (0,63)** MEAN (0,50)* WIND (0,51)*
KA	MAX (0,60)* SUN (0,73)**	MAX (0,58)* SUN (0,66)**	MAX (0,65)** SUN (0,72)**	MAX (0,65)** SUN (0,65)**	MAX (0,68)** SUN (0,74)**
KÖN	WIND (-0,67)**				
LÖW		MAX (0,51)*		MAX (0,54)*	MAX (0,54)*
WAN	MAX (0,68)** SUN (0,71)**		SUN (0,82)*		

c) Säuregehalt und Klimadaten

Die Korrelationen zwischen den einzelnen Varietäten und Klimaparametern sind zumeist negativ. Dabei sind, über alle Stationen gemittelt, insbesondere die beiden Parameter MAX und MEAN vorrangig mit den einzelnen Weinsorten korreliert. Dennoch zeigen die Stationen auch hier Unterschiede in ihrem Korrelationsmuster. So korreliert beispielsweise der Parameter PREC einzig an der Station Freiburg mit einigen Weißweinsorten und zwar positiv. Auch die Parameter MIN und WIND kommen nur untergeordnet in den Korrelationen vor und sind auf die Stationen Gerlingen und Wangen beschränkt. Zudem korrelieren die beiden Weinsorten Müller-Thurgau und Schwarzriesling nur an einer Station mit je einem Klimaparameter. Insgesamt reichen die Korrelationskoeffizienten von 0,5 bis 0,7. Die Ergebnisse der einzelnen Stationen und Sorten sind in Tab. 5-6 (a-b) dargestellt.

Tab. 5-6 (a-b): Einfache lineare Regressionen: Berechnung des Korrelationskoeffizienten r für Säuregehalt und Klimadaten. a: Weißweinsorten, b: Rotweinsorten. Während die grau eingefärbten Bereiche fehlende Sorten kennzeichnen, indizieren die leeren Felder Korrelationskoeffizienten $\leq |0,4|$.

a)	KERNER	MÜLL.-TH.	RIESLING	RULÄNDER	SILVANER	WEIB. BURG.
FR			PREC (0,57)*	MAX (-0,51)* PREC (0,50)*	SUN (-0,55)*	
GER	MAX (-0,61)* MEAN (-0,53)*	WIND (-0,52)*	MAX (-0,65)** MEAN (-0,57)*	MAX (-0,53)*	MAX (-0,75)* MIN (-0,54)* MEAN (-0,66)*	MAX (-0,76)** MEAN (-0,65)*
HD	MAX (-0,58)*		MAX (-0,61)* MEAN (-0,51)*			
KA	MAX (-0,65)*		MAX (-0,66)* MEAN (-0,55)*	MAX (-0,57)*		
KÖN	MAX (-0,59)*					
LÖW			MAX (-0,64)* MEAN (-0,52)*	MAX (-0,61)*		MAX (-0,53)*
WAN	MAX (-0,73)* MIN (-0,58)* MEAN (-0,63)*		MAX (-0,60)* MEAN (-0,59)*			MIN (-0,55)* MEAN (-0,52)*

b)	BLAUER SP.	BLAUER TR.	LEMBERGER	PORTUGIES.	SCHWARZR.
FR	MEAN (-0,50)*				
GER	MAX (-0,68)** MIN (-0,51)* MEAN (-0,61)*	MAX (-0,82)** MIN (-0,63)** MEAN (-0,75)**	MAX (-0,69)** MEAN (-0,60)*	MAX (-0,57)* SUN (-0,56)*	SUN (-0,52)*
HD			MAX (-0,58)*	MAX (-0,53)*	
KA	MAX (-0,57)* MEAN (-0,53)*	MAX (-0,51)*	MAX (-0,68)** SUN (-0,58)*	MAX (-0,52)*	
KÖN					
LÖW	MAX (-0,58)*	MAX (-0,57)*	MAX (-0,55)*	MAX (-0,57)*	
WAN					

Aussage:

- Die wenigsten und zugleich niedrigsten Korrelationen ergaben sich für die Klima- und Weindaten mit dem Mostertrag ($r \sim 0,5$).
- Für die Öchslegrade (zumeist positiv korreliert) und den Säuregehalt (überwiegend negativ korreliert) reichen die Korrelationskoeffizienten auf breiter Basis von 0,5 bis 0,8.
- Insgesamt zeigen die Sorten und Weinparameter bezüglich der Korrelationen spezifische Unterschiede je nach Station und Klimaparameter.

5.3.2 Multiple lineare Regressionen - Wein- und Klimadaten

a) Mostertrag und Klimadaten

Für die Kombination der Mostertragsdaten der einzelnen Varietäten mit den verfügbaren Klimaparametern unter Anwendung des multivariaten Ansatzes wurde im Vergleich zum univariaten Ansatz für keine der sieben Stationen eine signifikante Verbesserung erzielt. Es wurde kein gültiges Modell gefunden, welches mindestens zwei der untersuchten Klimaparameter integriert.

b) Öchsle und Klimadaten

Die Kombination von Öchslegraden und Klimaparametern mit Hilfe der multiplen linearen Regression führte im Unterschied zu a) an den Stationen Freiburg, Heidelberg, Karlsruhe und Löwenstein zu einer Erhöhung der Korrelationskoeffizienten um bis zu 0,2. Dennoch führte dieser Ansatz lediglich in einigen der insgesamt elf Varietäten zu stabilen Modellen, in die mehrere Variablen eingehen. Dabei wird ein maximaler Korrelationskoeffizient von ca. 0,8 erreicht. Zudem sind die einzelnen Weinsorten lediglich mit zwei Klimaparametern signifikant korreliert. An der Station Karlsruhe sind dies die Parameter SUN und WIND (Tab. 5-7, c), an den übrigen Stationen zumeist eine Kombination von zwei der drei Klimaparameter MAX, MEAN and MIN (Tab. 5-7, a, b und d).

Tab. 5-7 (a-f): Auswertung mit Hilfe multipler linearer Regressionen (Öchsle- und Klimadaten). Aufgelistet sind für die einzelnen Stationen diejenigen Taxa, für die ein gültiges Modell erzielt wurde.

Station	Weinsorte	r-Wert	r ² -Wert	Optionen Modell II	Optionen Modell III	Optionen Modell IV	Optionen Modell V	Sig. (2-seit.)
FR	BS	0,833	0,694	max, min	-	-	-	**
	K	0,796	0,633	max, min	-	-	-	*
	Ru	0,763	0,583	max, min	-	-	-	**
	Si	0,824	0,678	max, prec	-	-	-	*
HD	Lem	0,810	0,656	max, wind	-	-	-	*
	MT	0,787	0,620	max, mean	-	-	-	*
	P	0,803	0,644	max, mean	-	-	-	*
KA	RM	0,810	0,656	sun, wind	-	-	-	*
	MT	0,776	0,602	sun, wind	-	-	-	*
LÖW	WB	0,784	0,614	max, min	-	-	-	**
	BT	0,744	0,553	max, min	-	-	-	*
	P	0,729	0,531	max, min	-	-	-	*
	Sch	0,731	0,535	max, min	-	-	-	*

c) Säuregehalt und Klimadaten

Ähnlich zu b) wurden für die Kombination des Säuregehalts mit den Klimaparametern über die Methode der multiplen linearen Regression Steigerungen des Korrelationskoeffizienten im Bereich von 0,2 erzielt. Der betroffene Sortenumfang ist zwar geringer als bei den Öchslegraden, dennoch sind fünf der insgesamt sieben Stationen eingeschlossen. Es handelt sich dabei um die Stationen Freiburg, Gerlingen, Heidelberg, Karlsruhe und Löwenstein. Mit Ausnahme von Lemberger an der Station Gerlingen (Modell 3: MAX, MIN, SUN) stehen die einzelnen Sorten jeweils mit lediglich zwei Klimaparametern signifikant in Zusammenhang. Während dies an der Station Freiburg zumeist der Parameter PREC in Kombination mit einem anderen ist, sind dies an den übrigen Stationen je zwei der Klimaparameter MAX, MEAN und MIN bzw. der Parameter WIND an der Station Löwenstein (Tab. 5-8, a-e).

Tab. 5-8 (a-f): Auswertung mit Hilfe multipler linearer Regressionen (Säuregehalt- und Klimadaten). Aufgelistet sind für die einzelnen Stationen diejenigen Taxa, für die ein gültiges Modell erzielt wurde.

Station	Weinsorte	r-Wert	r ² -Wert	Optionen Modell II	Optionen Modell III	Optionen Modell IV	Optionen Modell V	Sig. (2-seit.)
FR	BS	0,719	0,517	mean, prec	-	-	-	*
	Ri	0,749	0,561	prec, mean	-	-	-	*
	Ru	0,711	0,505	max, prec	-	-	-	*
	Si	0,736	0,542	sun, wind	-	-	-	*
GER	WB	0,892	0,795	max, mean	-	-	-	**
	Lem	0,892	0,795	max, mean	max, mean, sun	-	-	**
	P	0,821	0,674	max, mean	-	-	-	**
	Ru	0,734	0,538	max, mean	-	-	-	*
	Si	0,833	0,694	max, mean	-	-	-	*
HD	Lem	0,726	0,527	max, min	-	-	-	*
	P	0,721	0,520	max, mean	-	-	-	*
KA	Lem	0,845	0,714	max, mean	-	-	-	*
LÖW	BS	0,759	0,576	max, wind	-	-	-	*
	BT	0,727	0,528	max, wind	-	-	-	*
	Lem	0,791	0,626	max, min	-	-	-	**

Aussage:

- Durch die Methode der multiplen linearen Regression kann eine Steigerung des Korrelationskoeffizienten um durchschnittlich 0,2 erreicht werden
- Es können lediglich für einige der untersuchten Sorten Modelle generiert werden - zumeist mit maximal zwei Klimaparametern
- Von einigen Ausnahmen abgesehen bestimmen dabei die Temperaturparameter MAX, MIN und MEAN die berechneten Modelle
- Die einzelnen Stationen unterliegen unterschiedlichen limitierenden Faktoren - dabei zeigt der Mostertrag die niedrigsten, die Öchslegrade die höchsten Werte

5.4 Korrelation der Pollen- und Weindaten

Innerhalb dieses Kapitels werden die Ergebnisse der einfachen und multiplen linearen Regressionen zwischen den in Kap. 4.1 und 4.2 beschriebenen Pollen- und Weindaten dargestellt. Für alle Korrelationen wurde der Korrelationskoeffizient r bzw. das Bestimmtheitsmaß r^2 berechnet. Des Weiteren ist in allen Tabellen die Signifikanz (2-seitig) auf dem Niveau von 0,05 (*) bzw. 0,01 (***) angegeben.

5.4.1 Einfache Lineare Regressionen - Pollen- und Weindaten

a) Tage mit Pollenflug und Mostertrag

Insgesamt variieren die Korrelationen zwischen den Tagen mit Pollenflug und des Mostertrags je nach betrachteter Station und gewähltem Taxon in den Vorzeichen der resultierenden Korrelationskoeffizienten. Dennoch sind die Vorzeichen an den einzelnen Stationen dann zumeist konsistent. Des Weiteren bewegen sich die Korrelationskoeffizienten in einem Bereich zwischen 0,6 und 0,9. Bei Betrachtung derjenigen Taxa, welche an den einzelnen Stationen zugleich hoch und signifikant korrelieren, fällt auf, dass an einer Station zumeist dieselben Pollentaxa mit den verschiedenen Varietäten in Zusammenhang stehen. Dies sind beispielsweise PINU, PLAT, CARP, FRAX und ARTE an der Station Freiburg und PLAN und URTI an der Station Königsfeld. Während Müller-Thurgau über die Stationen hinweg zudem im Vergleich aller Sorten die meisten Korrelationen aufweist, zeigt der Mostertrag von Schwarzriesling an der Station Freiburg mit dem Pollenflug mehrerer Taxa signifikante Ergebnisse. Eine detaillierte Übersicht der Zusammenhänge in Abhängigkeit zu den einzelnen Stationen und Varietäten kann Tab. 5-9 (a-b) entnommen werden.

Tab. 5-9 (a-b): Einfache lineare Regressionen: Berechnung des Korrelationskoeffizienten r für die Tage mit Pollenflug und den Mostertrag. a: Weißweinsorten, b: Rotweinsorten. Während die grau eingefärbten Bereiche fehlende Sorten kennzeichnen, indizieren die leeren Felder Korrelationskoeffizienten $\leq |0,4|$.

a)	KERNER	MÜLL.-TH.	RIESLING	RULÄNDER	SILVANER	WEIß. BURG.
FR	CARP (-0,88)* FRAX (-0,84)*	PINU (-0,81)* PLAT (-0,86)*	PINU (-0,91)* PLAT (-0,91)*	PINU (-0,84)* PLAT (-0,87)*	ARTE (-0,89)**	PINU (-0,76)* PLAT (-0,77)*
GER		ALNU (-0,82)*				
HD	ACER (0,90)*	ALNU (0,93)**	JUGL (0,93)** TILI (-0,92)**		SECA (0,89)*	
KA	ARTE (-0,82)*	POPU (-0,84)* RUME (-0,92)** SECA (-0,92)**		SECA (-0,81)*	QUER (0,88)*	
KÖN	RUME (-0,61)*	PLAN (0,64)* URTI (0,60)*	PLAN (0,65)* URTI (0,58)*	PLAN (0,75)** POAC (0,56)* URTI (0,72)**		PLAN (0,74)** URTI (0,70)**
LÖW	AESC (0,86)* SECA (-0,87)*				BETU (-0,86)*	QUER (-0,81)*
WAN	BETU (0,82)*	ALNU (0,84)* ARTE (0,84)*		BETU (0,90)*		PICE (-0,82)* SALI (0,82)*

b)	BLAUER SP.	BLAUER TR.	LEMBERGER	PORTUGIES.	SCHWARZR.
FR					ACER (0,96)* AESC (0,94)* ARTE (-0,93)* CARP (0,94)* FRAX (0,99)** PINU (0,88)* URTI (-0,90)*
GER					
HD	CHEN (-0,81)*			CHEN (-0,89)* SECA (0,85)*	
KA	POPU (-0,83)* RUME (-0,93)** SECA (-0,92)*		RUME (-0,85)* SECA (-0,83)*	SECA (-0,90)* URTI (-0,83)*	
KÖN	PLAN (0,75)** URTI (0,70)**				
LÖW					
WAN	BETU (0,89)*				

b) Tage mit Pollenflug und Öchslegrade

Die Korrelationen zwischen den Tagen mit Pollenflug und den Öchslegraden zeigen wie in a) sowohl negative als auch positive Zusammenhänge. Zumeist sind auch hier die Vorzeichen insbesondere über die einzelnen Stationen konsistent. Die Korrelationskoeffizienten bewegen sich zwischen Werten von 0,5 bis 0,9. Bei den hoch und signifikant korrelierenden Taxa zeigt sich ein Trend von ein bis drei Taxa, die an den einzelnen Stationen über mehrere Sorten hinweg korreliert sind. Dies sind beispielsweise CHEN, RUME und SECA an der Station

Karlsruhe, ALNU, ARTE und SECA an der Station Königfeld und FAGU, PLAN und RUME an der Station Wangen. Dabei weist die Station Wangen insgesamt hohe Zusammenhänge auf. Die Sorten Kerner, Riesling and Blauer Spätburgunder zeigen über alle Stationen hinweg die häufigsten Korrelationen. Im Einzelnen ergaben sich für die untersuchten Datensätze folgende Zusammenhänge:

Tab. 5-10 (a-b): Einfache lineare Regressionen: Berechnung des Korrelationskoeffizienten r für die Tage mit Pollenflug und die Öchslegrade. a: Weißweinsorten, b: Rotweinsorten. Während die grau eingefärbten Bereiche fehlende Sorten kennzeichnen, indizieren die leeren Felder Korrelationskoeffizienten $\leq |0,4|$.

a)	KERNER	MÜLL.-TH.	RIESLING	RULÄNDER	SILVANER	WEIß. BURG.
FR	LARI (-0,85)*					
GER						
HD	CARP (0,82)* PINU (0,90)*	CARP (0,85)* CHEN (-0,88)* SALI (0,92)**	JUGL (0,81)* ULMU (-0,82)*		SECA (0,95)*	
KA		CHEN (-0,95)**	RUME (-0,83)* SECA (-0,88)*	RUME (-0,82)* SECA (-0,89)*	CHEN (-0,86)*	CHEN (-0,82)* SECA (-0,86)*
KÖN	ALNU (-0,64)* RUME (0,69)*	ALNU (-0,64)*	ALNU (-0,65)* ARTE (0,57)* SECA (0,54)*	ALNU (-0,71)** SECA (0,55)*	ALNU (-0,67)** ARTE (0,56)* PICE (0,66)** POAC (0,58)*	ALNU (-0,70)** ARTE (0,58)*
LÖW	LARI (0,85)*		SECA (-0,91)*	POPU (-0,85)*		
WAN	AESC (0,84)* ARTE (0,85)* BETU (0,95)** CARP (0,86)* FRAX (0,84)* PLAN (0,83)* POAC (0,90)* RUME (0,84)* URTI (0,89)*	FAGU (0,89)* PLAN (0,84)* RUME (0,88)*	BETU (0,81)* FAGU (0,86)* PLAN (0,85)* RUME (0,87)* URTI (0,87)*	FAGU (0,97)** RUME (0,86)*		FAGU (0,91)* FRAX (0,84)* PLAN (0,83)* RUME (0,92)*

b)	BLAUER SP.	BLAUER TR.	LEMBERGER	PORTUGIES.	SCHWARZR.
FR	LARI (-0,76)*				ULMU (-0,91)*
GER					
HD	SECA (0,85)*			CARP (0,82)* SALI (0,90)*	
KA	CHEN (-0,86)* SECA (-0,86)*	CHEN (-0,85)*	CHEN (-0,96)**	SECA (-0,84)*	CHEN (-0,96)**
KÖN	ALNU (-0,71)** ARTE (0,54)* POAC (0,54)*				
LÖW			SECA (-0,86)*		
WAN	FAGU (0,84)* PLAN (0,85)* RUME (0,86)* URTI (0,83)*		AESC (0,86)* CARP (0,81)* PINU (0,86)* PLAN (0,85)* RUME (0,83)*		

c) Tage mit Pollenflug und Säuregehalt

Je nach den in die Korrelationen eingehenden Einzelwerten variieren auch bei der Kombination der Tage mit Pollenflug und dem Säuregehalt die Vorzeichen der Korrelationskoeffizienten. Dennoch ergeben sich hier übergeordnet an allen untersuchten Stationen positive Zusammenhänge mit Korrelationskoeffizienten zwischen 0,6 und 0,9. Taxa, welche an den einzelnen Stationen zugleich hoch und signifikant korrelieren, wiederholen sich an manchen Stationen über die untersuchten Sorten hinweg in ein oder zwei Taxa. Dies ist beispielsweise an der Station Gerlingen SECA und an der Station Heidelberg TILI und URTI. Insgesamt ist zu beobachten, dass die Anzahl der Korrelationen mit dem Parameter Säuregehalt im Vergleich zu den Korrelationen mit Mostertrag und Öchslegrad zurückgeht. Auffällig ist zudem das Fehlen von Korrelationen für die Sorte Blauer Spätburgunder. In Tab. 5-11 (a-b) sind die Ergebnisse im Einzelnen dargestellt:

Tab. 5-11 (a-b): Einfache lineare Regressionen: Berechnung des Korrelationskoeffizienten r für die Tage mit Pollenflug und den Säuregehalt. a: Weißweinsorten, b: Rotweinsorten. Der grau eingefärbte Bereich bezeichnet fehlende Sorten.

a)	KERNER	MÜLL.-TH.	RIESLING	RULÄNDER	SILVANER	WEIß. BURG.
FR		POPU (0,82)*	FRAX (-0,85)*	AESC (-0,83)* URTI (0,84)*	QUER (-0,82)* URTI (0,93)**	ALNU (0,86)*
GER	SECA (0,86)*			SECA (0,88)* TILI (0,90)* URTI (0,99)**		SECA (0,84)* TILI (0,97)** URTI (0,92)*
HD	PLAT (0,89)*	RUME (0,89)*	URTI (0,91)*		RUME (0,91)*	
KA						
KÖN	POAC (-0,65)*				PICE (-0,64)*	
LÖW	FAGU (0,93)*				ALNU (-0,92)*	
WAN		BETU (-0,98)**		BETU (0,99)**		ALNU (0,90)* FRAX (0,92)* POAC (0,94)*

b)	BLAUER SP.	BLAUER TR.	LEMBERGER	PORTUGIES.	SCHWARZR.
FR					
GER			SECA (0,86)*	SECA (0,99)**	
HD			ARTE (0,95)* CARP (0,94)* PLAT (0,88)*	ARTE (0,89)* PLAT (0,89)* TILI (0,95)*	RUME (0,91)*
KA				PLAN (0,92)*	
KÖN					
LÖW		FAGU (0,98)**	QUER (0,89)*	POPU (-0,96)**	BETU (0,90)*
WAN			CARP (0,97)**		

d) Relative Pollensumme und Mostertrag

Die Korrelationskoeffizienten der Korrelationen zwischen der relativen Pollensumme und dem Mostertrag variieren in ihren Vorzeichen insbesondere in Abhängigkeit zur gewählten Station und den einzelnen Pollentaxa. Die Korrelationskoeffizienten bewegen sich zwischen Werten von 0,5 bis 0,9. Bei Betrachtung der an den einzelnen Stationen hoch und zugleich signifikant korrelierenden Taxa zeigt sich, dass sich des Öfteren ein bis drei Taxa an den verschiedenen Sorten wiederholen. Dies erklärt zudem die über die einzelnen Sorten hinweg an einer Station weitgehend bestehende Konstanz der Vorzeichen. Sich wiederholende Taxa sind beispielsweise an der Station Freiburg ARTE, BETU und CARP. Mit Blick auf die Weinsorten zeigt sich, dass an den einzelnen Stationen der Mostertrag der Weißweinsorten häufiger mit den relativen Pollensummen der einzelnen Taxa korreliert ist als dies bei den Rotweinsorten der Fall ist. Im Detail zeigen sich die in Tab. 5-12 (a-b) aufgetragenen Ergebnisse:

Tab. 5-12 (a-b): Einfache lineare Regressionen: Berechnung des Korrelationskoeffizienten r für die relative Pollensumme und den Mostertrag. a: Weißweinsorten, b: Rotweinsorten. Während die grau eingefärbten Bereiche fehlende Sorten kennzeichnen, indizieren die leeren Felder Korrelationskoeffizienten $\leq |0,4|$.

a)	KERNER	MÜLL.-TH.	RIESLING	RULÄNDER	SILVANER	WEIß. BURG.
FR	ARTE (0,84)* RUME (-0,82)*	ARTE (0,80)* BETU (0,86)* CARP (0,89)**	BETU (0,85)* CARP (0,84)*	ARTE (0,82)* BETU (0,88)** CARP (0,89)**	LARI (-0,78)* QUER (0,79)*	ARTE (0,80)* BETU (0,81)* CARP (0,80)*
GER	ALNU (0,79)*	SECA (0,78)*	ALNU (0,85)*	ALNU (0,83)*		
HD				ACER (0,88)* SECA (0,98)**	ULMU (-0,82)*	SECA (0,82)*
KA	PICE (0,83)*	BETU (-0,87)* FRAX (-0,93)**	ACER (-0,82)* BETU (-0,85)* FRAX (-0,82)* POAC (0,91)*	BETU (-0,82)* FRAX (-0,86)*		
KÖN		PINU (0,54)* QUER (0,57)*	ALNU (-0,60)* RUME (0,55)*	QUER (0,64)*	PINU (0,58)*	QUER (0,54)*
LÖW	CARP (0,83)* CORY (0,96)**	FAGU (-0,85)* JUGL (0,94)**		JUGL (0,88)*		
WAN	POAC (0,91)* ULMU (0,85)*			POAC (0,87)*		QUER (-0,92)**

b)	BLAUER SP.	BLAUER TR.	LEMBERGER	PORTUGIES.	SCHWARZR.
FR	PICE (-0,78)*				PLAT (0,96)** QUER (0,88)*
GER					
HD	SECA (0,83)*		PLAN (0,88)* PLAT (-0,83)* RUME (0,91)*		SECA (0,82)* ULMU (-0,81)*
KA	FRAX (-0,86)*		ARTE (-0,92)**	BETU (-0,87)* FRAX (-0,93)**	
KÖN	ALNU (-0,57)*				
LÖW	JUGL (0,96)**		JUGL (0,98)**		JUGL (0,82)*
WAN			POAC (0,91)* ULMU (0,85)*		

e) Relative Pollensumme und Öchslegrade

Die Korrelationen der relativen Pollensummen mit den Öchslegraden verhalten sich hinsichtlich ihrer Koeffizienten und deren Vorzeichen ähnlich wie die Korrelationen mit den Mosterträgen. Insgesamt zeigen diese hier jedoch einen überwiegend negativen Zusammenhang. Die Koeffizienten bewegen sich zwischen Werten von 0,5 bis 0,9. Bei den hoch und signifikant korrelierenden Taxa zeigt sich ein Trend von ein bis zwei Taxa, die an den einzelnen Stationen über mehrere Sorten hinweg korreliert sind. Dies sind beispielsweise CORY, PICE und ULMU an der Station Freiburg sowie FAGU und ARTE an der Station Wangen. Im Einzelnen ergaben sich für die untersuchten Datensätze folgende Zusammenhänge:

Tab. 5-13 (a-b): Einfache lineare Regressionen: Berechnung des Korrelationskoeffizienten r für die relative Pollensumme und die Öchslegrade. a: Weißweinsorten, b: Rotweinsorten. Während die grau eingefärbten Bereiche fehlende Sorten kennzeichnen, indizieren die leeren Felder Korrelationskoeffizienten $\leq |0,4|$.

a)	KERNER	MÜLL.-TH.	RIESLING	RULÄNDER	SILVANER	WEIß. BURG.
FR	CHEN (-0,84)* PICE (-0,95)** PLAN (-0,84)* ULMU (-0,91)*	PICE (-0,93)** ULMU (-0,79)*	CORY (0,83)* PICE (-0,76)* POPU (0,78)*	CORY (0,86)* POPU (0,81)*	PICE (-0,86)* ULMU (-0,78)	PICE (-0,91)** ULMU (-0,78)*
GER						CORY (0,85)*
HD	SALI (-0,88)*		ULMU (-0,82)*			
KA		ALNU (-0,89)* ARTE (-0,91)*	ARTE (-0,87)*	ALNU (-0,88)* POPU (-0,93)** SECA (-0,84)*	ALNU (-0,92)* ARTE (-0,87)*	ALNU (-0,84)* POPU (-0,85)*
KÖN		SECA (-0,56)* TILI (0,55)*	ARTE (0,64)* URTI (0,54)*		FAGU (0,57)* PLAN (-0,56)*	ARTE (0,61)* TILI (0,54)* URTI (0,57)*
LÖW			JUGL (0,83)*	FRAX (-0,98)**	FRAX (-0,84)* POPU (-0,81)*	FRAX (-0,89)* JUGL (0,93)**
WAN	ARTE (0,89)* FAGU (-0,83)*	FAGU (-0,95)**	FAGU (-0,94)**	FAGU (-0,99)**		ARTE (0,82)* FAGU (-0,99)**

b)	BLAUER SP.	BLAUER TR.	LEMBERGER	PORTUGIES.	SCHWARZR.
FR	PICE (-0.95)** ULMU (-0.84)*				CHEN (-0.99)** PICE (-0.96)** PLAN (-0.92)* ULMU (-0.97)** URTI (0.92)*
GER				POAC (-0.78)*	POAC (-0.82)*
HD			SALI (-0.90)*		
KA	ALNU (-0.88)* ARTE (-0.83)* POPU (-0.88)*	ARTE (-0.95)**	ARTE (-0.86)*	ALNU (-0.87)* POPU (-0.93)** SECA (-0.86)*	ALNU (-0.84)* ARTE (-0.86)* POPU (-0.90)*
KÖN					
LÖW	FRAX (-0.90)*	JUGL (0.92)**		FRAX (-0.85)*	FRAX (-0.93)**
WAN	FAGU (-0.92)*		PLAN (0.92)*		

f) Relative Pollensumme und Säuregehalt

Auch die Korrelationen der relativen Pollensummen mit dem Säuregehalt der einzelnen Varietäten zeigen in Abhängigkeit zu den Stationen und den gewählten Pollentaxa Vorzeichenwechsel. Dabei zeigen die meisten Korrelationen einen positiven Zusammenhang. Die Korrelationskoeffizienten bewegen sich zwischen 0,6 und 0,9. Bei den hoch und signifikant korrelierenden Taxa zeigt sich auch hier ein Trend von ein bis zwei Taxa, die an den einzelnen Stationen über mehrere Sorten hinweg korreliert sind. Dies sind beispielsweise an der Station Karlsruhe die Taxa ARTE und PLAN. Ähnlich der Korrelationen der Tage mit Pollenflug und des Säuregehalts zeigt sich auch bei dessen Korrelation mit der relativen Pollensumme eine geringere Anzahl an Korrelationen. So ergeben sich bei der Sorte Schwarzriesling und Blauer Trollinger lediglich an der Station Karlsruhe signifikante Korrelationen. Insgesamt ergeben sich für die ausgewerteten Datensätze folgende Zusammenhänge:

Tab. 5-14 (a-b): Einfache lineare Regressionen: Berechnung des Korrelationskoeffizienten r für die relative Pollensumme und den Säuregehalt. a: Weißweinsorten, b: Rotweinsorten. Während die grau eingefärbten Bereiche fehlende Sorten kennzeichnen, indizieren die leeren Felder Korrelationskoeffizienten $\leq |0,4|$.

a)	KERNER	MÜLL.-TH.	RIESLING	RULÄNDER	SILVANER	WEIß. BURG.
FR						
GER		CORY (0,86)*		ALNU (0,82)* BETU (0,86)* POAC (0,87)*		BETU (0,81)*
HD	POPU (0,93)*		FAGU (0,91)*	CHEN (-0,95)* URTI (0,99)**		CHEN (-0,94)* TILI (0,91)* URTI (0,93)*
KA				PLAN (0,91)* POPU (-0,92)*	ARTE (0,90)*	POPU (-0,95)*
KÖN			URTI (-0,61)*		POPU (0,60)*	
LÖW	PLAN (0,89)*	JUGL (-0,98)**	POPU (-0,92)*			JUGL (-0,90)*
WAN	CARP (-0,89)*					ARTE (0,89)*

b)	BLAUER SP.	BLAUER TR.	LEMBERGER	PORTUGIES.	SCHWARZR.
FR	POPU (0,84)* SALI (-0,82)*				
GER			BETU (0,83)*	ALNU (0,89)* BETU (0,96)**	
HD			BETU (-0,93)* CORY (0,93)*	BETU (-0,88)*	
KA	ARTE (0,92)* PLAN (0,92)*	ARTE (0,89)* PLAN (0,95)*	PLAN (0,96)*		ARTE (0,90)* PLAN (0,96)**
KÖN					
LÖW	JUGL (-0,89)* PLAN (0,95)*		PLAN (0,96)* QUER (0,89)*	TILI (-0,95)* ULMU (-0,91)*	
WAN			FAGU (0,91)* FRAX (0,98)** URTI (0,90)*		

g) Absolute Pollensumme und Mostertrag

Die Korrelationskoeffizienten der Korrelationen zwischen der absoluten Pollensumme und dem Mostertrag variieren in ihren Vorzeichen ebenfalls in Abhängigkeit zur gewählten Station und den einzelnen Pollentaxa. Die Korrelationskoeffizienten bewegen sich zwischen Werten von 0,6 bis 0,9. Bei Betrachtung der an den einzelnen Stationen hoch und zugleich signifikant korrelierenden Taxa zeigt sich bei den verschiedenen Sorten, wie bereits bei vorherig untersuchten Datensätzen, die teilweise Wiederholung von Taxa - hier bis zu zwei. Dies sind exemplarisch an der Station Freiburg die Taxa ARTE und BETU. Der Vergleich der einzelnen Stationen und Varietäten ist in Tab. 5-15 (a-b) dargestellt.

Tab. 5-15 (a-b): Einfache lineare Regressionen: Berechnung des Korrelationskoeffizienten r für die absolute Pollensumme und den Mostertrag. a: Weißweinsorten, b: Rotweinsorten. Während die grau eingefärbten Bereiche fehlende Sorten kennzeichnen, indizieren die leeren Felder Korrelationskoeffizienten $\leq |0,4|$.

a)	KERNER	MÜLL.-TH.	RIESLING	RULÄNDER	SILVANER	WEIß. BURG.
FR	RUME (-0,91)*	ARTE (0,86)* BETU (0,85)*	ARTE (0,85)* BETU (0,82)*	ARTE (0,88)** BETU (0,87)*	PINU (0,77)*	ARTE (0,83)* BETU (0,81)*
GER			SECA (0,76)*			
HD				SECA (0,85)*	SALI (0,94)** SECA (0,89)*	POPU (-0,83)* SECA (0,89)*
KA		BETU (-0,83)* FRAX (-0,95)** POAC (-0,82)* SECA (-0,89)*	BETU (-0,86)* POAC (-0,89)*	FRAX (-0,83)* QUER (0,84)*		QUER (0,96)**
KÖN	PINU (-0,62)*				ALNU (-0,65)*	
LÖW	AESC (0,83)* CORY (0,89)* SECA (-0,85)*	FAGU (-0,90)*	FAGU (-0,83)*	FAGU (-0,85)*	FAGU (-0,83)*	
WAN	AESC (0,81)* POAC (0,94)** URTI (0,83)*	AESC (0,85)* ARTE (0,87)*	FAGU (0,85)*	POAC (0,90)*		

b)	BLAUER SP.	BLAUER TR.	LEMBERGER	PORTUGIES.	SCHWARZR.
FR	PICE (-0,91)**				ACER (0,92)* ARTE (-0,92)* PLAT (0,95)* QUER (0,90)* RUME (0,92)*
GER					
HD	SECA (0,97)**		CORY (-0,82)*	CHEN (-0,92)*	SECA (0,90)*
KA	FRAX (-0,92)* SECA (-0,91)*	URTI (-0,91)*	FRAX (-0,83)* SECA (-0,86)*	RUME (-0,85)* SECA (-0,86)*	QUER (0,89)*
KÖN					
LÖW	FAGU (-0,84)*			FAGU (-0,86)*	
WAN					

h) Absolute Pollensumme und Öchslegrade

Die Korrelationskoeffizienten, welche sich aus der Korrelation der absoluten Pollensumme mit den Öchslegraden ergeben, zeigen zwar Unterschiede in ihrem Vorzeichen, sind jedoch überwiegend negativ. Die Koeffizienten nehmen dabei Werte zwischen 0,6 und 0,9 ein. Bei den hoch und signifikant korrelierenden Taxa zeigt sich bei dieser Datenkombination ein Trend von ein bis drei Taxa, die an den einzelnen Stationen über mehrere Sorten hinweg korreliert sind. Für die Station Karlsruhe sind dies beispielsweise ALNU, FRAX und POPU. An dieser Station sind im Vergleich aller untersuchten Stationen zudem die meisten

Korrelationen festzustellen. Im Einzelnen ergeben sich folgende Beziehungen für die durchgeführten Berechnungen:

Tab. 5-16 (a-b): Einfache lineare Regressionen: Berechnung des Korrelationskoeffizienten r für die absolute Pollensumme und die Öchslegrade. a: Weißweinsorten, b: Rotweinsorten. Während die grau eingefärbten Bereiche fehlende Sorten kennzeichnen, indizieren die leeren Felder Korrelationskoeffizienten $\leq |0,4|$.

a)	KERNER	MÜLL.-TH.	RIESLING	RULÄNDER	SILVANER	WEIß. BURG.
FR	CHEN (-0,95)** ULMU (-0,92)*	PICE (-0,76)* ULMU (-0,81)*	CORY (0,78)*		ULMU (-0,80)*	PICE (-0,80)* ULMU (-0,80)*
GER			CORY (0,76)*			
HD		CHEN (-0,99)**	ULMU (-0,93)**	RUME (0,84)*	CHEN (-0,87)* QUER (0,84)*	
KA	CHEN (-0,83)*	ALNU (-0,92)** CHEN (-0,96)** POPU (-0,92)**	ARTE (-0,81)* FRAX (-0,88)* POPU (-0,83)* SECA (-0,91)*	ALNU (-0,90)* FRAX (-0,82)* POPU (-0,93)** SECA (-0,93)**	ALNU (-0,92)** CHEN (-0,87)* POPU (-0,90)* SECA (-0,81)*	ALNU (-0,86)* CHEN (-0,83)* FRAX (-0,82)* POPU (-0,93)** SECA (-0,92)*
KÖN	POAC (0,64)*	ALNU (-0,71)**	ALNU (-0,60)* ARTE (0,66)** URTI (0,63)*	ALNU (-0,76)** ARTE (0,60)*	FAGU (0,62)* PICE (0,63)*	ALNU (-0,76)** ARTE (-0,66)* URTI (-0,59)*
LÖW			SECA (-0,88)*	FRAX (-0,97)** POPU (-0,95)**	FRAX (-0,83)* POPU (-0,83)*	FRAX (-0,90)*
WAN	ARTE (0,82)*					

b)	BLAUER SP.	BLAUER TR.	LEMBERGER	PORTUGIES.	SCHWARZR.
FR	PICE (-0,79)* ULMU (-0,86)*				CHEN (-0,97)** PICE (-0,94)* ULMU (-0,97)**
GER					
HD	CHEN (-0,89)*			CHEN (-0,96)**	CHEN (-0,90)*
KA	ALNU (-0,91)* CHEN (-0,86)* FRAX (-0,81)* POPU (-0,95)** SECA (-0,92)**	ARTE (-0,85)* CHEN (-0,87)*	ARTE (-0,84)* CHEN (-0,98)** POPU (-0,89)*	ALNU (-0,88)* POPU (-0,88)* SECA (-0,88)*	ALNU (-0,89)* CHEN (-0,96)** POPU (-0,96)** SECA (-0,83)*
KÖN	ALNU (-0,78)** ARTE (0,57)*				
LÖW	FRAX (-0,92)*			FRAX (-0,84)* POPU (-0,84)*	FRAX (-0,94)** POPU (-0,88)*
WAN			PLAN (0,90)*		

i) Absolute Pollensumme und Säuregehalt

Die Korrelationskoeffizienten, welche sich aus der Korrelation der absoluten Pollensumme der untersuchten Taxa mit dem Säuregehalt der einzelnen Sorten ergeben, zeigen zwar Unterschiede in ihrem Vorzeichen, sind jedoch überwiegend positiv. Die Koeffizienten nehmen dabei Werte zwischen 0,5 und 0,9 ein. Bei den hoch und signifikant korrelierenden Taxa zeigt sich dabei ein Trend von ein bis zwei Taxa, die an den betrachteten Stationen über mehrere Sorten hinweg korreliert sind. Dies sind zum Beispiel an der Station Heidelberg die Taxa BETU und POPU. Insgesamt ist zu beobachten, dass auch bei der absoluten Pollensumme die Anzahl der Korrelationen mit dem Parameter Säuregehalt im Vergleich zu den Korrelationen mit Mostertrag und Öchslegrad zurückgeht. Auffällig ist zudem das Fehlen von Korrelationen für die Sorte Blauer Trollinger sowie die lediglich eine, an der Station Freiburg auftretende, signifikante Korrelation für Müller-Thurgau. Die Gesamtsituation für die hier durchgeführten Korrelationen stellt sich wie folgt dar:

Tab. 5-17 (a-b): Einfache lineare Regressionen: Berechnung des Korrelationskoeffizienten r für die absolute Pollensumme und den Säuregehalt. a: Weißweinsorten, b: Rotweinsorten. Während die grau eingefärbten Bereiche fehlende Sorten kennzeichnen, indizieren die leeren Felder Korrelationskoeffizienten $\leq |0,4|$.

a)	KERNER	MÜLL.-TH.	RIESLING	RULÄNDER	SILVANER	WEIß. BURG.
FR	POPU (0,91)*	POPU (0,87)*		QUER (-0,81)*		POPU (0,88)*
GER	ALNU (0,87)*			ALNU (0,90)* BETU (0,94)** POAC (0,87)*		
HD	BETU (-0,90)* POPU (0,99)**		BETU (-0,89)* FAGU (0,96)* POPU (0,89)* URTI (0,91)*	URTI (0,98)**		TILI (0,94)* URTI (0,90)*
KA						
KÖN					POPU (0,59)*	
LÖW					POPU (-0,90)*	
WAN						

b)	BLAUER SP.	BLAUER TR.	LEMBERGER	PORTUGIES.	SCHWARZR.
FR	POPU (0,87)*				ARTE (0,96)*
GER	ALNU (0,88)*		ALNU (0,82)* BETU (0,84)*	BETU (0,92)** SECA (0,95)**	ALNU (0,89)*
HD	FRAX (-0,89)*		CARP (0,89)* JUGL (-0,92)*	TILI (0,91)*	
KA				PLAN (0,94)*	PLAN (0,89)*
KÖN	RUME (-0,56)*				
LÖW	CARP (0,88)*		CARP (0,89)* QUER (0,90)*	TILI (-0,88)*	
WAN	QUER (-0,98)**		FRAX (0,95)* PICE (0,90)* URTI (0,88)*		

Aussage:

- Die Korrelationen der Pollen- und Weindaten erweisen sich als deutlich besser als die Korrelationen der Pollen- mit den Klimadaten bzw. der Wein- mit den Klimadaten (insgesamt ergeben sich hier deutlich höhere Zusammenhänge bzw. Korrelationskoeffizienten)

5.4.2 Multiple lineare Regressionen - Pollen und Weindaten

Über den Ansatz der multiplen linearen Regression wurde im Vergleich zur einfachen linearen Regression (Kap. 5.4.1) eine Steigerung des Bestimmtheitsmaßes r^2 um 0,1 bis 0,2 erreicht. Dabei bleibt festzuhalten, dass bei allen mit dem Pollen- und Weindatensatz durchgeführten Kombinationen die Bildung eines gültigen Modells insbesondere von der ausgewählten Station und den einzelnen Varietäten abhängig ist. So führte dieser Ansatz an den einzelnen Stationen lediglich in einigen der insgesamt elf Weinsorten zu stabilen Modellen, in welche mehrere Variablen eingehen - dies sind zumeist zwei und in Einzelfällen drei der untersuchten Taxa. Insgesamt konnten für jede der ausgewählten Kombinationen signifikante Korrelationen berechnet werden. In Abhängigkeit zur gewählten Station, den einzelnen Weinparametern und den jeweiligen Taxa ergaben sich Korrelationskoeffizienten zwischen 0,8 und 0,9 (Tab. 5-18 bis Tab. 5-26).

a) Tage mit Pollenflug und Mostertrag

Tab. 5-18 (a-f): Auswertung mit Hilfe multipler linearer Regressionen (Tage mit Pollenflug und Mostertrag). Aufgelistet sind für die einzelnen Stationen diejenigen Weinsorten, für die ein gültiges Modell erzielt wurde.

Station	Weinsorte	r-Wert	r ² -Wert	Optionen Modell II	Optionen Modell III	Sig. (2-seit.)
FR	WB	0.943	0.889	PLAT, BETU	-	*
	MT	0.981	0.961	PLAT, BETU	-	**
	Ri	0.996	0.992	PLAT, POAC	PLAT, POAC, AESC	*
	Ru	0.985	0.969	PLAT, BETU	-	**
HD	K	0.999	0.999	ACER, CHEN	ACER, CHEN, PINU	*
	P	0.982	0.964	CHEN, ALNU	-	*
KA	BS	0.984	0.968	RUME, ALNU	-	*
	Si	0.999	0.999	QUER, BETU	QUER, BETU, POPU	*
KÖN	K	0.861	0.741	RUME, CARP	-	**
LÖW	K	0.974	0.948	SECA, RUME	-	*
	Si	0.972	0.945	BETU, FRAX	-	*
WAN	K	0.980	0.960	BETU, FAGU	-	*

b) Tage mit Pollenflug und Öchslegrade

Tab. 5-19 (a-f): Auswertung mit Hilfe multipler linearer Regressionen (Tage mit Pollenflug und Öchslegrade). Aufgelistet sind für die einzelnen Stationen diejenigen Weinsorten, für die ein gültiges Modell erzielt wurde.

Station	Weinsorte	r-Wert	r ² -Wert	Optionen Modell II	Optionen Modell III	Sig. (2-seit.)
FR	K	0.999	0.998	LARI, JUGL	LARI, JUGL, RUME	*
HD	BS	0.997	0.995	SECA, PLAN	-	**
	K	0.994	0.989	PINU, SALI	-	**
	Ri	0.999	0.997	ULMU, JUGL	ULMU, JUGL, CHEN	*
	Si	0.995	0.990	SECA, TILI	-	*
KA	BS	0.999	0.998	CHEN, SECA	CHEN, SECA, SALI	*
	WB	0.989	0.978	SECA, CORY	-	*
	Ri	0.998	0.996	SECA, PICE	-	**
	Sch	0.991	0.983	CHEN, SECA	-	*
	Si	0.979	0.958	CHEN, QUER	-	*
KÖN	WB	0.828	0.685	ALNU, CHEN	-	*
LÖW	K	0.982	0.964	LARI, POPU	-	*
	Lem	0.972	0.945	SECA, ULMU	-	*
	Ri	0.982	0.965	SECA, ULMU	-	*
	Ru	0.980	0.961	POPU, LARI	-	*
WAN	BS	0.999	0.999	RUME, ULMU	RUME, ULMU, TILI	*
	WB	0.999	0.999	RUME, CORY	RUME, CORY, BETU	*
	MT	0.998	0.996	FAGU, CARP	FAGU, CARP, ARTE	*
	Ri	0.974	0.949	RUME, PLAT	-	*

c) Tage mit Pollenflug und Säuregehalt

Tab. 5-20 (a-f): Auswertung mit Hilfe multipler linearer Regressionen (Tage mit Pollenflug und Säuregehalt). Aufgelistet sind für die einzelnen Stationen diejenigen Weinsorten, für die ein gültiges Modell erzielt wurde.

Station	Weinsorte	r-Wert	r ² -Wert	Optionen Modell II	Optionen Modell III	Sig. (2-seit.)
FR	Ri	0.986	0.973	FRAX, FAGU	-	*
	Si	0.992	0.985	URTI, JUGL	-	*
HD	K	0.990	0.980	PLAT, POPU	-	*
	Ri	0.997	0.994	URTI, CORY	-	*
	Si	0.999	0.997	ARTE, PLAN	ARTE, PLAN, PINU	*
LÖW	Lem	0.998	0.996	QUER, LARI	-	*
	Sch	0.996	0.991	BETU, URTI	-	*
WAN	WB	0.997	0.995	POAC, FAGU	-	*
	Lem	0.999	0.998	CARP, SALI	-	*

d) Relative Pollensumme und Mostertrag

Tab. 5-21 (I): Auswertung mit Hilfe multipler linearer Regressionen (relative Pollensumme und Mostertrag). Aufgelistet sind für die einzelnen Stationen diejenigen Weinsorten, für die ein gültiges Modell erzielt wurde.

Station	Weinsorte	r-Wert	r ² -Wert	Optionen Modell II	Optionen Modell III	Sig. (2-seit.)
FR	BS	0.941	0.885	PICE, LARI	-	*
	MT	0.995	0.990	CARP, SALI	CARP, SALI, RUME	*
	Ru	0.998	0.996	CARP, POPU	CARP, POPU, PINU	**
	Si	0.997	0.994	ARTE, PICE	-	**
HD	WB	0.999	0.999	SECA, POPU	SECA, POPU, SALI	*
	Lem	0.989	0.979	RUME, URTI	-	*
	Ru	0.999	0.998	SECA, JUGL	-	**
	Si	0.999	0.997	ARTE, PLAN	ARTE, PLAN, PINU	*

Tab. 5-21 (II): Auswertung mit Hilfe multipler linearer Regressionen (relative Pollensumme und Mostertrag). Aufgelistet sind für die einzelnen Stationen diejenigen Weinsorten, für die ein gültiges Modell erzielt wurde.

Station	Weinsorte	r-Wert	r ² -Wert	Optionen Modell II	Optionen Modell III	Sig. (2-seit.)
KA	Lem	0.984	0.969	ARTE, ACER	-	*
	MT	0.988	0.977	FRAX, PLAN	-	*
	P	0.999	0.998	SECA, PLAT	-	**
	Ri	0.983	0.967	POAC, PLAN	-	*
	Ru	0.978	0.957	FRAX, PLAN	-	*
KÖN	BS	0.920	0.846	ALNU, QUER	ALNU, QUER, ARTE	*
	WB	0.876	0.767	QUER, ALNU	QUER, ALNU, FRAX	*
	MT	0.737	0.543	QUER, ARTE	-	*
	Ri	0.894	0.800	ALNU, QUER	ALNU, QUER, SECA	*
	Ru	0.902	0.814	QUER, ALNU	QUER, ALNU, FRAX	*
	Si	0.738	0.544	PINU, POAC	-	*
LÖW	BS	0.997	0.994	JUGL, AESC	-	**
	K	0.999	0.999	CORY, AESC	CORY, AESC, JUGL	*
	Lem	0.997	0.994	JUGL, FAGU	-	*
	Ru	0.975	0.950	JUGL, PLAN	-	*
	Sch	0.982	0.964	JUGL, FAGU	-	*
WAN	K	0.992	0.985	POAC, CARP	-	*
	Si	0.999	0.997	ARTE, PLAN	ARTE, PLAN, PINU	*

e) Relative Pollensumme und Öchslegrade

Tab. 5-22 (a-f): Auswertung mit Hilfe multipler linearer Regressionen (relative Pollensumme und Öchslegrade). Aufgelistet sind für die einzelnen Stationen diejenigen Weinsorten, für die ein gültiges Modell erzielt wurde.

Station	Weinsorte	r-Wert	r ² -Wert	Optionen Modell II	Optionen Modell III	Sig. (2-seit.)
FR	BS	0.986	0.972	PICE, FRAX	-	*
	WB	0.999	0.999	PICE, POPU	PICE, POPU, PLAN	*
	K	0.992	0.985	PICE, PLAT	-	*
	Ri	0.996	0.991	CORY, CARP	CORY, CARP, QUER	*
	Ru	0.957	0.916	CORY, BETU	-	*
	Sch	0.999	0.999	CHEN, POPU	-	*
GER	P	0.939	0.882	POAC, ALNU	-	*
HD	K	0.998	0.997	SALI, JUGL	SALI, JUGL, ALNU	*
	Lem	0.999	0.998	SALI, POPU	SALI, POPU, FRAX	*
KA	BT	0.992	0.985	ARTE, RUME	-	*
	Sch	0.985	0.971	POPU, URTI	-	*
	Si	0.999	0.999	ALNU, CORY	ALNU, CORY, ACER	*
KÖN	WB	0.777	0.604	ARTE, SECA	-	*
LÖW	BS	0.991	0.982	FRAX, URTI	-	*
	Ri	0.966	0.933	JUGL, AESC	-	*
	Ru	0.995	0.991	FRAX, AESC	-	*
	Sch	0.992	0.983	FRAX, AESC	-	*
	Si	0.967	0.936	FRAX, LARI	-	*
WAN	BS	0.994	0.989	FAGU, CARP	-	**
	WB	0.998	0.997	FAGU, PICE	-	*
	K	0.981	0.963	ARTE, PINU	-	*
	Lem	0.985	0.970	PLAN, CARP	-	*
	MT	0.996	0.991	FAGU, CARP	-	*
	Ri	0.994	0.987	FAGU, PINU	-	*

f) Relative Pollensumme und Säuregehalt

Tab. 5-23 (a-f): Auswertung mit Hilfe multipler linearer Regressionen (relative Pollensumme und Säuregehalt). Aufgelistet sind für die einzelnen Stationen diejenigen Weinsorten, für die ein gültiges Modell erzielt wurde.

Station	Weinsorte	r-Wert	r ² -Wert	Optionen Modell II	Optionen Modell III	Sig. (2-seit.)
GER	Lem	0.998	0.996	BETU, SECA	-	**
HD	WB	0.997	0.995	CHEN, TILI	-	*
	K	0.994	0.989	POPU, FAGU	-	*
	P	0.999	0.998	BETU, PLAN	-	**
	Ri	0.999	0.998	FAGU, ALNU	-	*
KA	BT	0.996	0.992	PLAN, CARP	-	*
KÖN	Si	0.904	0.817	POPU, SALI	POPU, SALI, BETU	*
LÖW	BS	0.998	0.996	PLAN, JUGL	-	*
	WB	0.995	0.990	JUGL, URTI	-	*
	K	0.991	0.982	PLAN, RUME	-	*
	Lem	0.996	0.993	PLAN, ULMU	-	*
	P	0.998	0.996	TILI, POPU	-	*
	Ri	0.994	0.988	POPU, POAC	-	*

g) Absolute Pollensumme und Mostertrag

Tab. 5-24 (a-f): Auswertung mit Hilfe multipler linearer Regressionen (absolute Pollensumme und Mostertrag). Aufgelistet sind für die einzelnen Stationen diejenigen Weinsorten, für die ein gültiges Modell erzielt wurde.

Station	Weinsorte	r-Wert	r ² -Wert	Optionen Modell II	Optionen Modell III	Sig. (2-seit.)
FR	BS	0.982	0.965	PICE, PINU	-	*
	WB	0.998	0.995	ARTE, POAC	ARTE, POAC, JUGL	*
	Ri	0.997	0.994	ARTE, ALNU	ARTE, ALNU, LARI	*
	Sch	0.998	0.995	PLAT, POPU	-	*
	Si	0.999	0.999	ARTE, LARI	ARTE, LARI, AESC	*
HD	WB	0.998	0.996	SECA, BETU	-	*
	Ru	0.978	0.957	SECA, ULMU	-	*
	Si	0.990	0.980	SALI, CHEN	-	*
KA	BS	0.983	0.967	FRAX, QUER	-	*
	BT	0.984	0.969	URTI, PICE	-	*
	P	0.987	0.975	SECA, PINU	-	*
	Ri	0.998	0.996	POAC, QUER	POAC, QUER, CARP	*
	Ru	0.976	0.952	QUER, FRAX	-	*
	Sch	0.983	0.967	QUER, CHEN	-	*
KÖN	Si	0.828	0.686	ALNU, BETU	-	*
LÖW	BS	0.987	0.973	FAGU, PLAN	-	*
	K	0.994	0.989	CORY, CARP	-	**
	MT	0.983	0.967	FAU, PLAN	-	*
	P	0.994	0.987	FAGU, CORY	-	**
	Ri	0.988	0.977	FAGU, CARP	-	*
	Ru	0.974	0.948	PLAN	-	*
	Si	0.975	0.951	FAGU, BETU	-	*
WAN	K	0.999	0.999	POAC, CARP	POAC, CARP, PLAT	*

h) Absolute Pollensumme und Öchslegrade

Tab. 5-25 (a-f): Auswertung mit Hilfe multipler linearer Regressionen (absolute Pollensumme und Öchslegrade). Aufgelistet sind für die einzelnen Stationen diejenigen Weinsorten, für die ein gültiges Modell erzielt wurde.

Station	Weinsorte	r-Wert	r ² -Wert	Optionen Modell II	Optionen Modell III	Sig. (2-seit.)
FR	BS	0.999	0.997	ULMU, BETU	ULMU, BETU, JUGL	*
	K	0.993	0.985	CHEN, TILI	-	*
	Ri	0.992	0.984	CORY, ULMU	CORY, ULMU, CHEN	*
	Sch	0.999	0.998	CHEN, PLAN	-	*
	Si	0.993	0.986	ULMU, CORY	ULMU, CORY, AESC	*
HD	BS	0.986	0.973	CHEN, URTI	-	*
	Ri	0.999	0.998	ULMU, ACER	ULMU, ACER, RUME	*
	Ru	0.978	0.957	RUME, CHEN	-	*
	Sch	0.992	0.983	CHEN, SECA	-	*
KA	Lem	0.995	0.991	CHEN, ARTE	-	*
	Sch	0.995	0.990	POPU, RUME	-	*
KÖN	BS	0.940	0.883	ALNU, CARP	ALNU, CARP, URTI	*
	WB	0.974	0.948	ALNU, CARP	ALNU, CARP, URTI	**
	MT	0.935	0.875	ALNU, CARP	ALNU, CARP, TILI	*
	Ru	0.871	0.758	ALNU, CARP	-	*
	Si	0.791	0.625	PICE, POAC	-	*
LÖW	WB	0.999	0.998	FRAX, ALNU	FRAX, ALNU, CORY	*
	P	0.982	0.964	POPU, URTI	-	*
	Ru	0.994	0.987	FRAX, CARP	-	*
	Si	0.999	0.998	POPU, RUME	POPU, RUME, CORY	*
WAN	Lem	0.999	0.998	PLAN, QUER	PLAN, QUER, PINU	*

i) Absolute Pollensumme und Säuregehalt

Tab. 5-26 (a-f): Auswertung mit Hilfe multipler linearer Regressionen (absolute Pollensumme und Säuregehalt). Aufgelistet sind für die einzelnen Stationen diejenigen Weinsorten, für die ein gültiges Modell erzielt wurde.

Station	Weinsorte	r-Wert	r ² -Wert	Optionen Modell II	Optionen Modell III	Sig. (2-seit.)
FR	BS	0.999	0.997	POPU, ALNU	POPU, ALNU, ARTE	*
	WB	0.998	0.996	POPU, FAGU	POPU, FAGU, CORY	*
	K	0.999	0.999	POPU, CORY	-	**
	MT	0.999	0.998	POPU, RUME	POPU, RUME, FAGU	*
	Ru	0.964	0.930	QUER, POPU	-	*
GER	BS	0.976	0.953	ALNU	ALNU, ARTE	-
	Sch	0.988	0.975	ALNU	ALNU, POAC	-
HD	BS	0.996	0.992	FRAX, QUER	-	*
	WB	0.995	0.990	TILI, CHEN	-	*
	Lem	0.994	0.988	JUGL, ULMU	-	*
	P	0.996	0.992	TILI, JUGL	-	*
KA	P	0.997	0.995	PLAN, PICE	-	*
KÖN	Si	0.912	0.831	POPU, POAC	POPU, POAC, SALI	*
LÖW	BS	0.996	0.992	CARP, PLAN	-	*
	P	0.996	0.993	TILI, SECA	-	*
WAN	Lem	0.996	0.991	FRAX, ULMU	-	*
	MT	0.991	0.982	ULMU, ALNU	-	*

Aussage:

- Durch die Methode der multiplen linearen Regression kann eine Steigerung des Korrelationskoeffizienten um durchschnittlich 0,2 erreicht werden
- Es können lediglich für einige der untersuchten Stationen Modelle generiert werden - zumeist mit maximal zwei bis drei Taxa.
- Die Zusammenhänge erweisen sich als standortspezifisch und sortenabhängig - und werden zugleich durch diese Faktoren limitiert

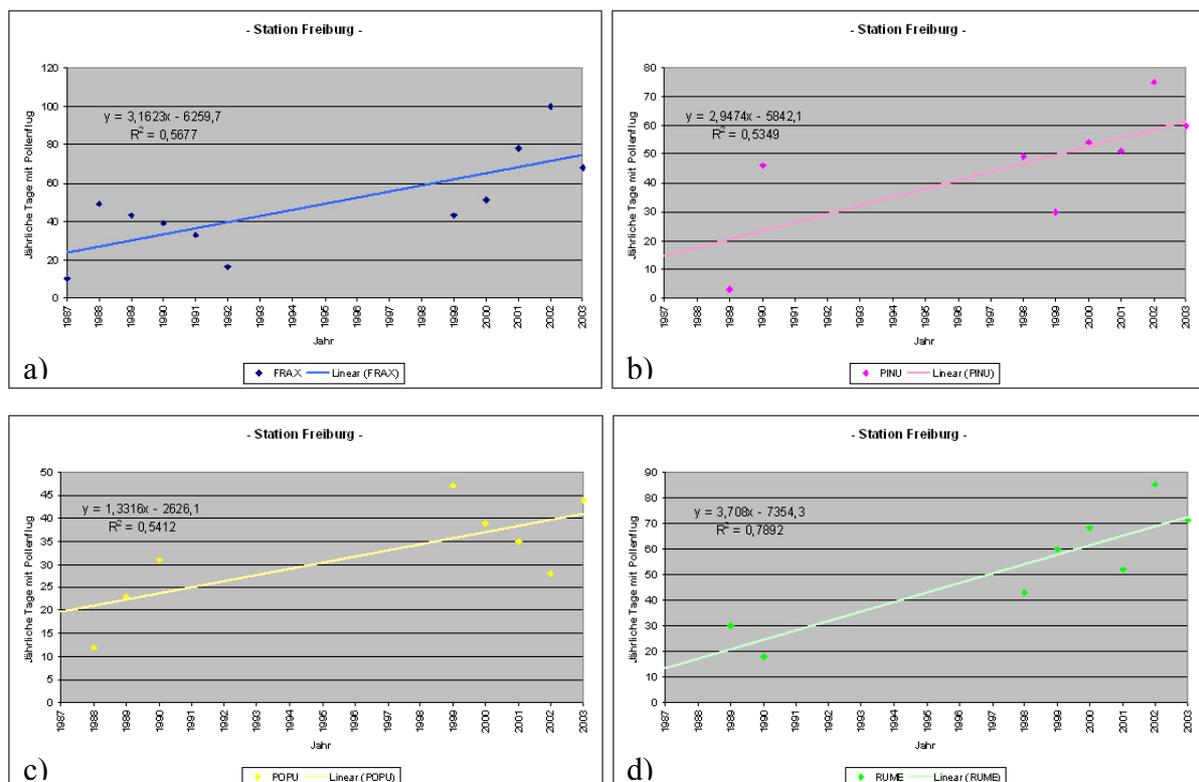
5.5 Phänologische Studie

5.5.1 Phänologie der Pollendaten des PID

Die Trendanalyse der Pollendaten des PID erbrachte sowohl für die jährlichen Tage mit Pollenflug (I.) als auch für die jährliche Pollensumme (II.) lediglich für einige der insgesamt 25 untersuchten Taxa ein signifikantes Ergebnis. Zudem zeigt sich beim Vergleich der auf dem Niveau von 0,05 signifikant korrelierenden Taxa, dass diese sich an den einzelnen Stationen zumeist unterscheiden.

I. Trendanalyse - Jährliche Tage mit Pollenflug

An der Station Freiburg hat sich die jährliche Anzahl der Tage mit Pollenflug für folgende Taxa signifikant erhöht: ca. 50 Tage für FRAX, ca. 48 Tage für PINU, ca. 21 Tage für POPU, ca. 59 Tage für RUME und ca. 39 Tage für SALI. Einzig TILI zeigt über die beobachteten Jahre eine Abnahme um ca. -19 Tage (Abb. 5-12, a-f).



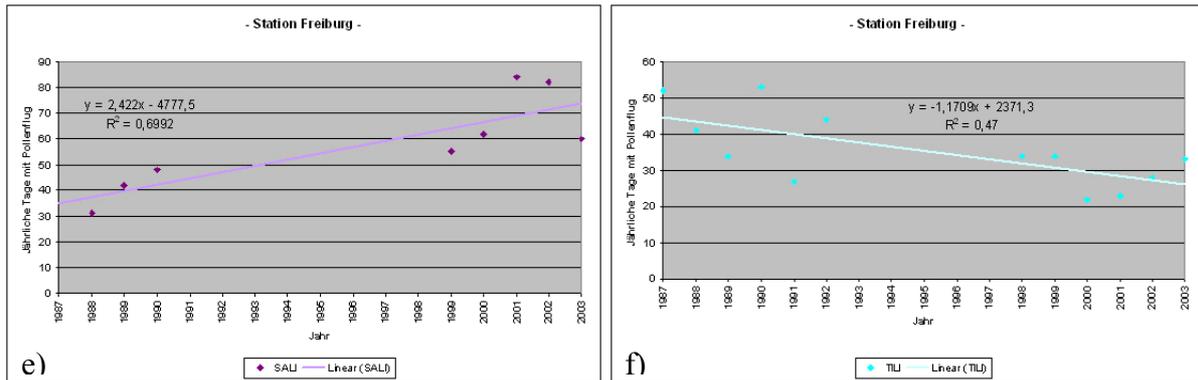


Abb. 5-12 (a-f): Trendanalyse - Jährliche Tage mit Pollenflug für die Station Freiburg. Die Taxa sind auf dem Niveau von 0,05 zweiseitig signifikant. a) FRAX, b) PINU, c) POPU, d) RUME, e) SALI, f) TILI.

An der Station Gerlingen ergaben sich für die untersuchten Taxa keine signifikanten Trends.

Die Station Heidelberg ist durch einen Anstieg von ca. 50 Tagen für CHEN und eine Abnahme von -13 Tagen für SECA charakterisiert (Abb. 5-13, a-b).

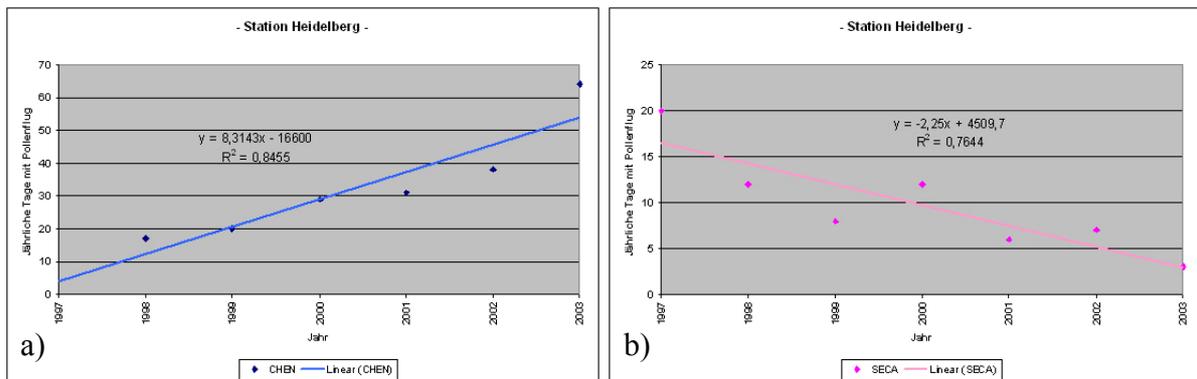


Abb. 5-13 (a-f): Trendanalyse - Jährliche Tage mit Pollenflug für die Station Heidelberg. Die Taxa sind auf dem Niveau von 0,05 zweiseitig signifikant. a) CHEN, b) SECA.

Drei Taxa zeigen an der Station Karlsruhe für die Tage mit Pollenflug einen signifikanten Anstieg - AESC, LARI und ULMU. Der Anstieg beträgt ca. 19 Tage für AESC, ca. 10 Tage für LARI und ca. 16 Tage für ULMU (Abb. 5-14, a-c).

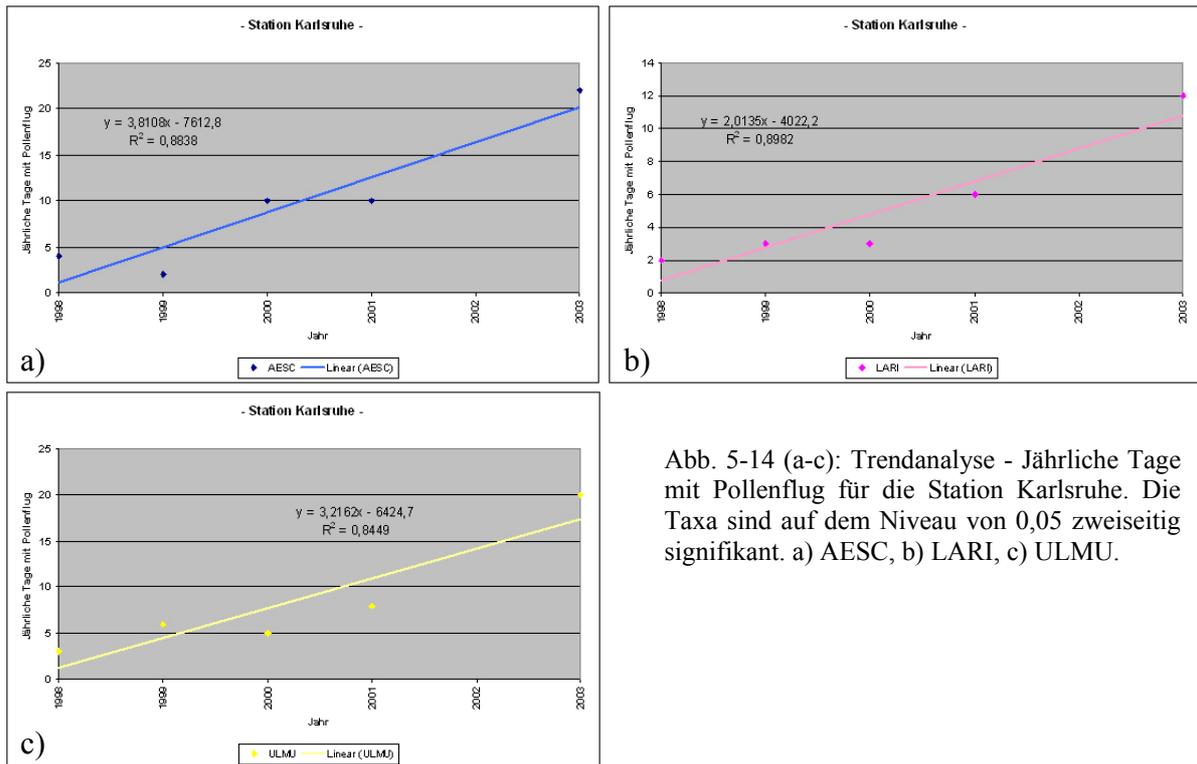
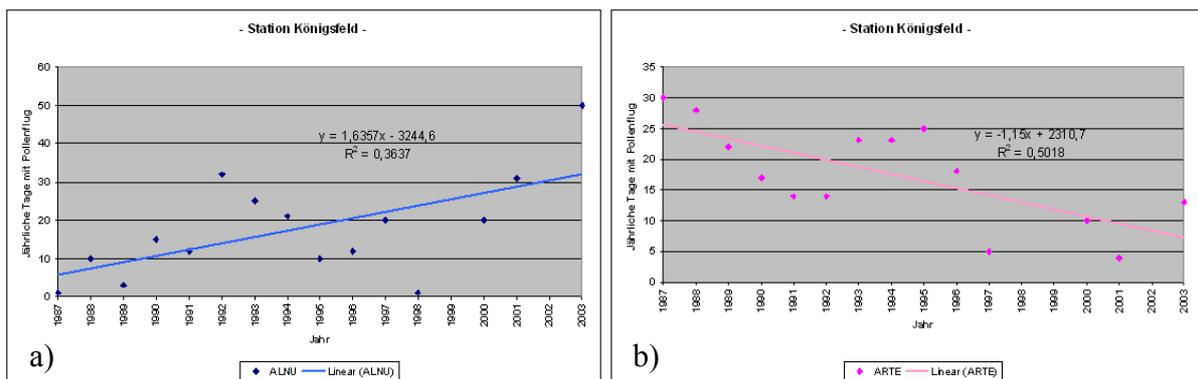


Abb. 5-14 (a-c): Trendanalyse - Jährliche Tage mit Pollerflug für die Station Karlsruhe. Die Taxa sind auf dem Niveau von 0,05 zweiseitig signifikant. a) AESC, b) LARI, c) ULMU.

An der Station Königsfeld wurden von den insgesamt 25 analysierten Taxa fünf signifikante Taxa extrahiert. Dabei zeigt ALNU einen Anstieg, während ARTE, PICE, POAC und SECA über die Jahre abnehmen. Im Einzelnen zeigt sich folgender Trend: ca. 26 Tage für ALNU, ca. -18 Tage für ARTE, ca. -32 Tage für PICE, ca. -45 Tage für POAC und ca. -18 Tage für SECA (Abb. 5-15, a-e).



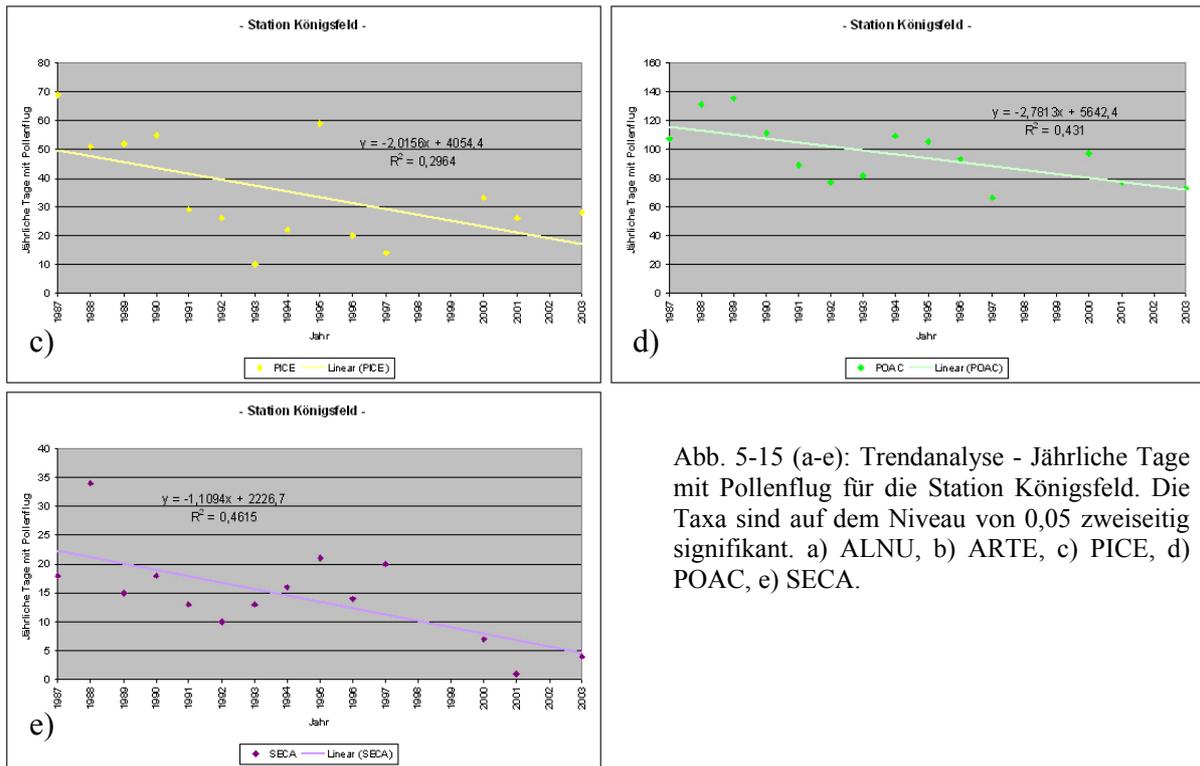
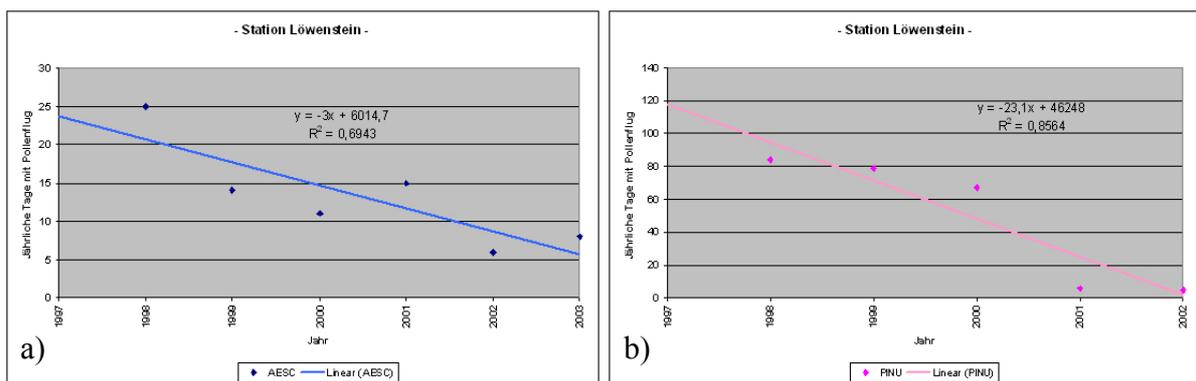


Abb. 5-15 (a-e): Trendanalyse - Jährliche Tage mit Pollenflug für die Station Königsfeld. Die Taxa sind auf dem Niveau von 0,05 zweiseitig signifikant. a) ALNU, b) ARTE, c) PICE, d) POAC, e) SECA.

Die Station Löwenstein zeichnet sich hinsichtlich der Tage mit Pollenflug durch einen negativen Trend für AESC und PINU sowie durch einen positiven Trend für SECA aus. Für AESC ist dies eine Abnahme von ca. -18 Tagen, für PINU von ca. -116 Tagen. Der Anstieg für SECA beträgt 35 Tage (Abb. 5-16, a-c).



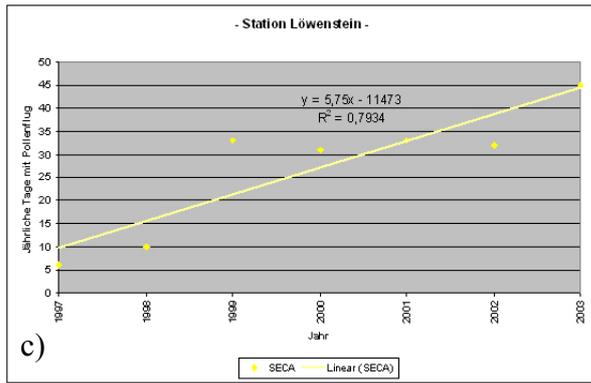
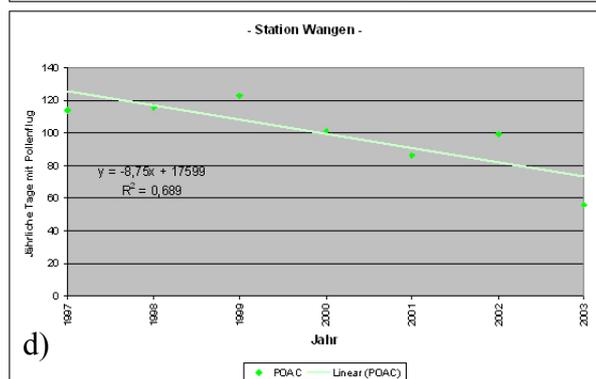
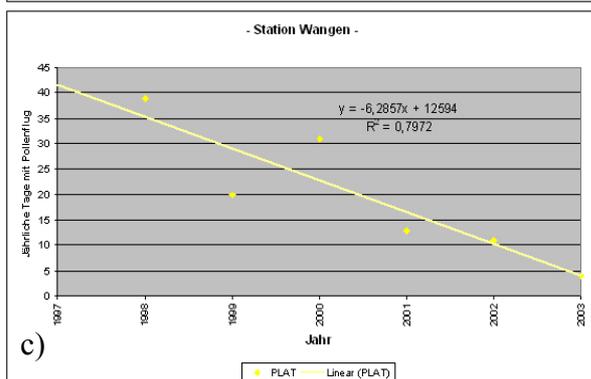
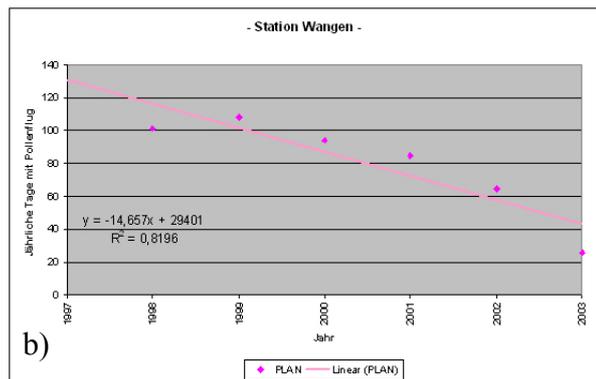
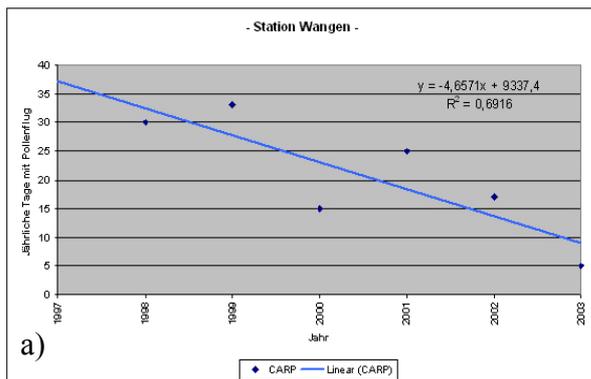


Abb. 5-16 (a-c): Trendanalyse - Jährliche Tage mit Pollenflug für die Station Löwenstein. Die Taxa sind auf dem Niveau von 0,05 zweiseitig signifikant. a) AESC, b) PINU, c) SECA.

Insgesamt sechs signifikante Taxa, alle mit negativem Trend, finden sich an der Station Wangen. Die Anzahl der jährlichen Tage mit Pollenflug hat wie folgt abgenommen: ca. -28 Tage für CARP, ca. -88 Tage für PLAN, ca. -38 Tage für PLAT, ca. -53 Tage für POAC, ca. -42 Tage für POPU und ca. -69 Tage für RUME (Abb. 5-17, a-f).



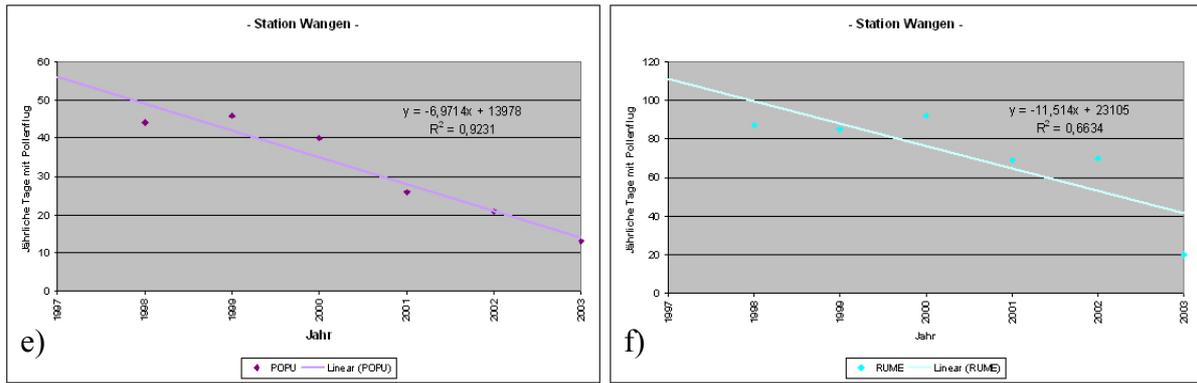
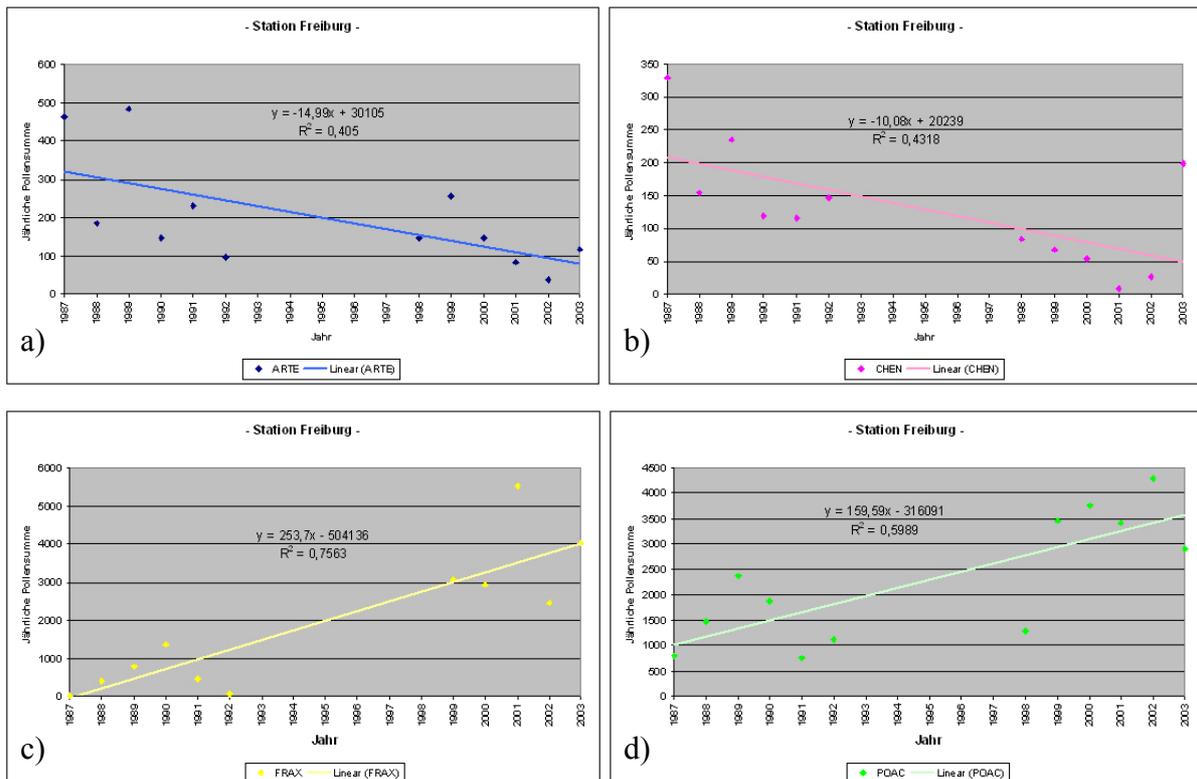
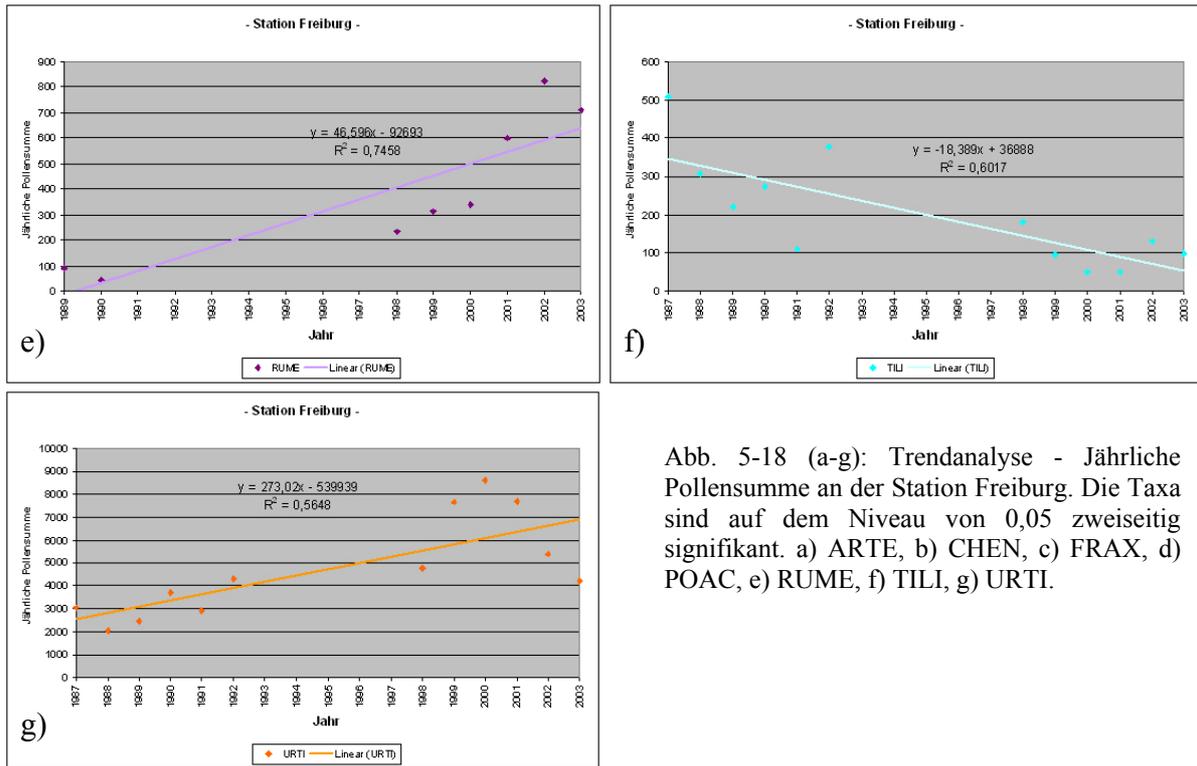


Fig. 5-17 (a-f): Trendanalyse - Jährliche Tage mit Pollenflug für die Station Wangen. Die Taxa sind auf dem Niveau von 0,05 zweiseitig signifikant. a) CARP, b) PLAN, c) PLAT, d) POAC, e) POPU, f) RUME.

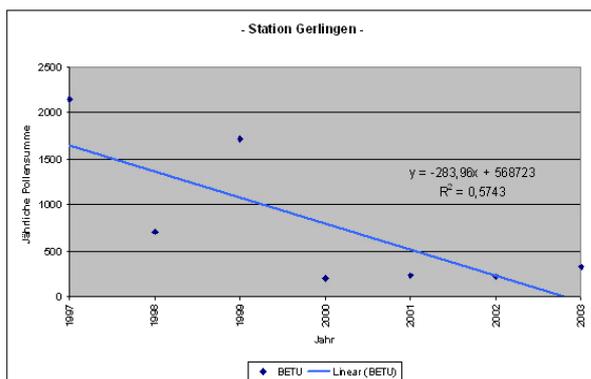
II. Trendanalyse - Jährliche Pollensumme

An der Station Freiburg hat die jährliche Pollensumme signifikant um -240 Pollen für ARTE, um -161 Pollen für CHEN und um -294 Pollen für TILI abgenommen. Des Weiteren zeigen vier Taxa einen signifikanten Anstieg der jährlichen Pollensumme: FRAX um 4059 Pollen, POAC um 2553 Pollen, RUME um 652 Pollen und URTI um 4368 Pollen (Abb. 5-18, a-g).





Die Station Gerlingen ist für die betrachtete Zeitspanne aus den insgesamt 25 analysierten Taxa durch ein signifikantes Taxon gekennzeichnet. Dies ist BETU mit einer Abnahme von 1704 Pollen (Abb. 5-19).



An der Station Heidelberg zeigen zwei Taxa eine signifikante Abnahme. Dies sind -53 Pollen für AESC und -38 Pollen für SECA (Abb. 5-20, a-b).

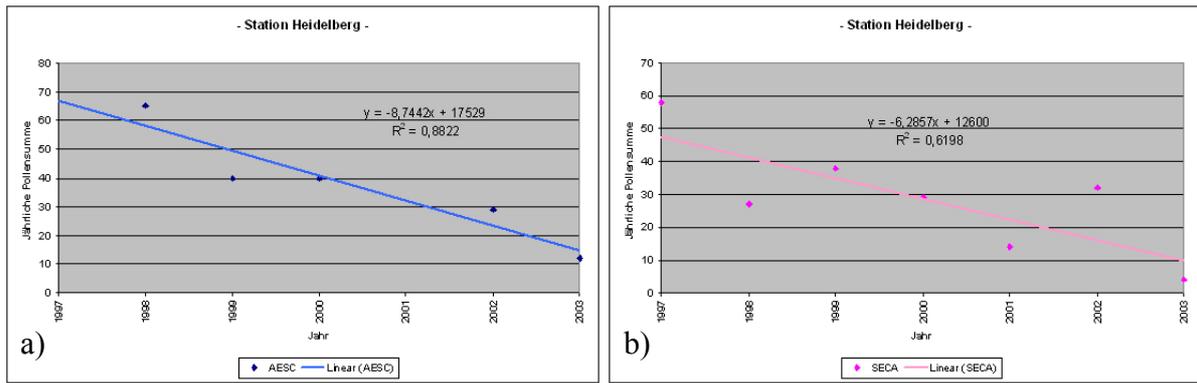


Abb. 5-20 (a-b): Trendanalyse - Jährliche Pollensumme an der Station Heidelberg. Die Taxa sind auf dem Niveau von 0,05 zweiseitig signifikant. a) AESC, b) SECA.

In dem beobachteten Zeitraum wurden für die Station Karlsruhe insgesamt vier Taxa mit ansteigendem Trend gefunden. Die Anzahl der Pollen stieg um 44 für AESC, 143 für ARTE, 20 für LARI und 4758 für URTI (Abb. 5-21, a-d).

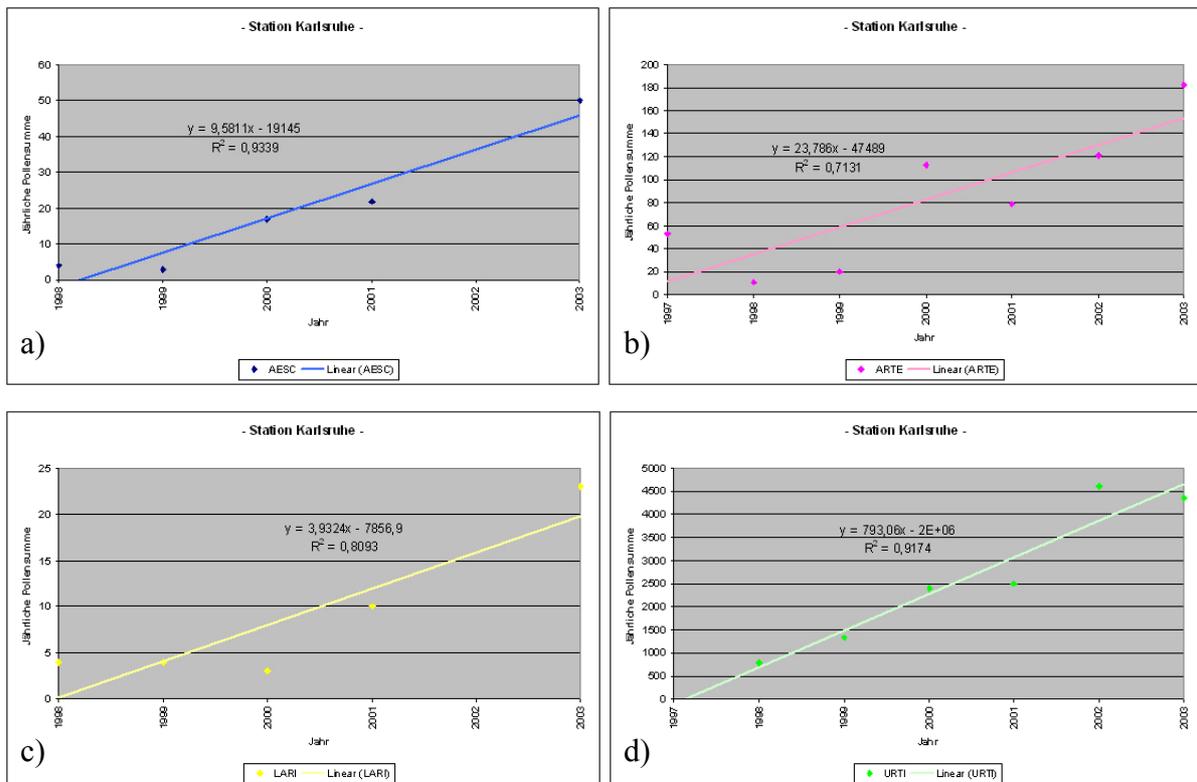


Abb. 5-21 (a-d): Trendanalyse - Jährliche Pollensumme an der Station Karlsruhe. Die Taxa sind auf dem Niveau von 0,05 zweiseitig signifikant. a) AESC, b) ARTE, c) LARI, d) URTI.

Die Station Königsfeld zeichnet sich zum einen durch einen Anstieg von 721 Pollen für ALNU, zum anderen durch eine Abnahme um -46 Pollen für ARTE aus (Abb. 5-22, a-b).

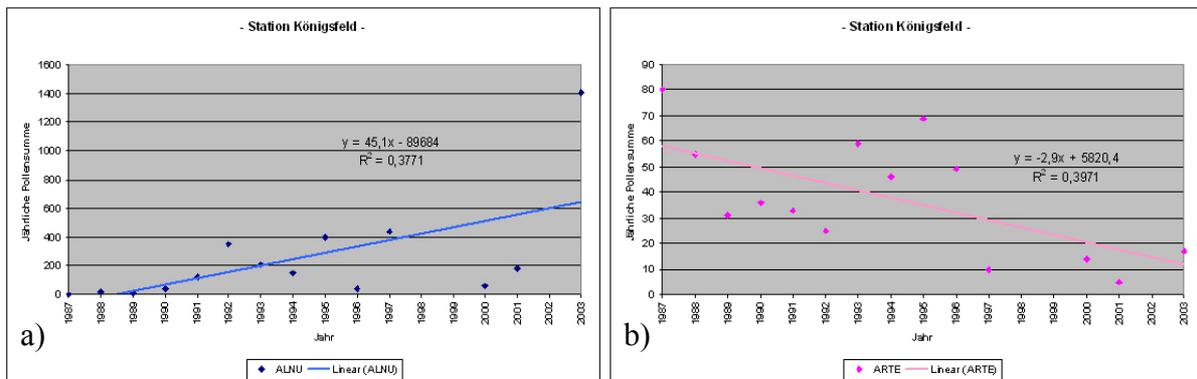


Abb. 5-22 (a-b): Trendanalyse - Jährliche Pollensumme an der Station Königsfeld. Die Taxa sind auf dem Niveau von 0,05 zweiseitig signifikant. a) ALNU, b) ARTE.

Die Station Löwenstein ist für die betrachtete Zeitspanne aus den insgesamt 25 analysierten Taxa durch ein signifikantes Taxon gekennzeichnet. Dies ist SECA mit einer Zunahme um 144 Pollen (Abb. 5-23).

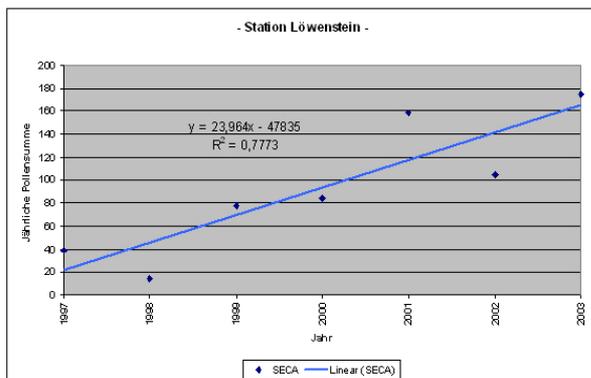


Abb. 5-23: Trendanalyse - Jährliche Pollensumme an der Station Löwenstein. SECA ist auf dem Niveau von 0,05 zweiseitig signifikant.

An der Station Wangen wurden aus den insgesamt 25 analysierten Taxa sechs Taxa mit signifikantem Trend bezüglich der jährlichen Pollensumme extrahiert. Dabei zeigen alle diese Taxa für den betrachteten Zeitraum eine Abnahme. Im Einzelnen ergibt sich folgende Situation: -117 Pollen für AESC, -5253 Pollen für FRAX, -723 Pollen für PLAN, -370 Pollen für POPU, -176 Pollen für ULMU und -4160 Pollen für URTI (Abb. 5-24, a-f).

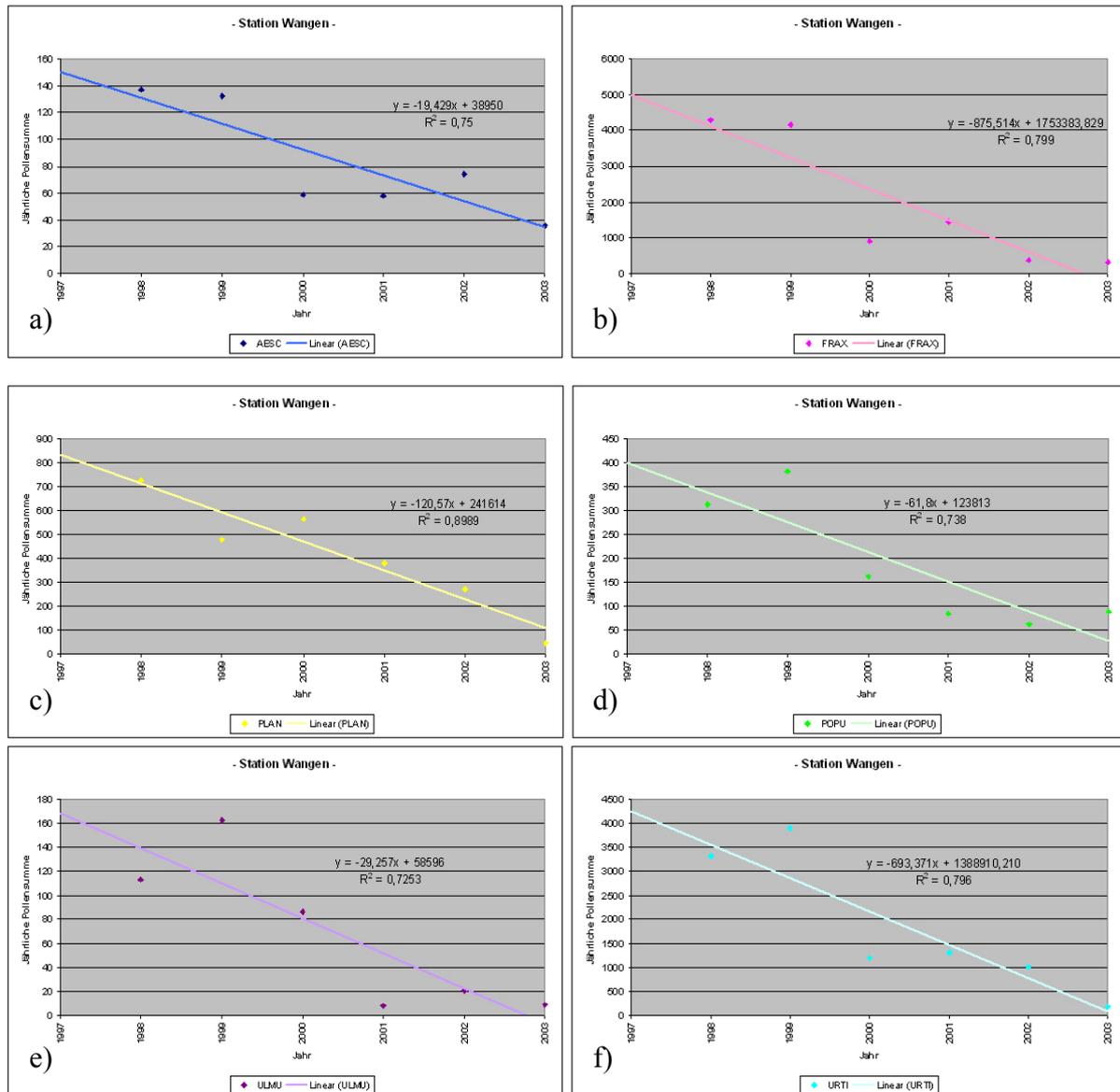


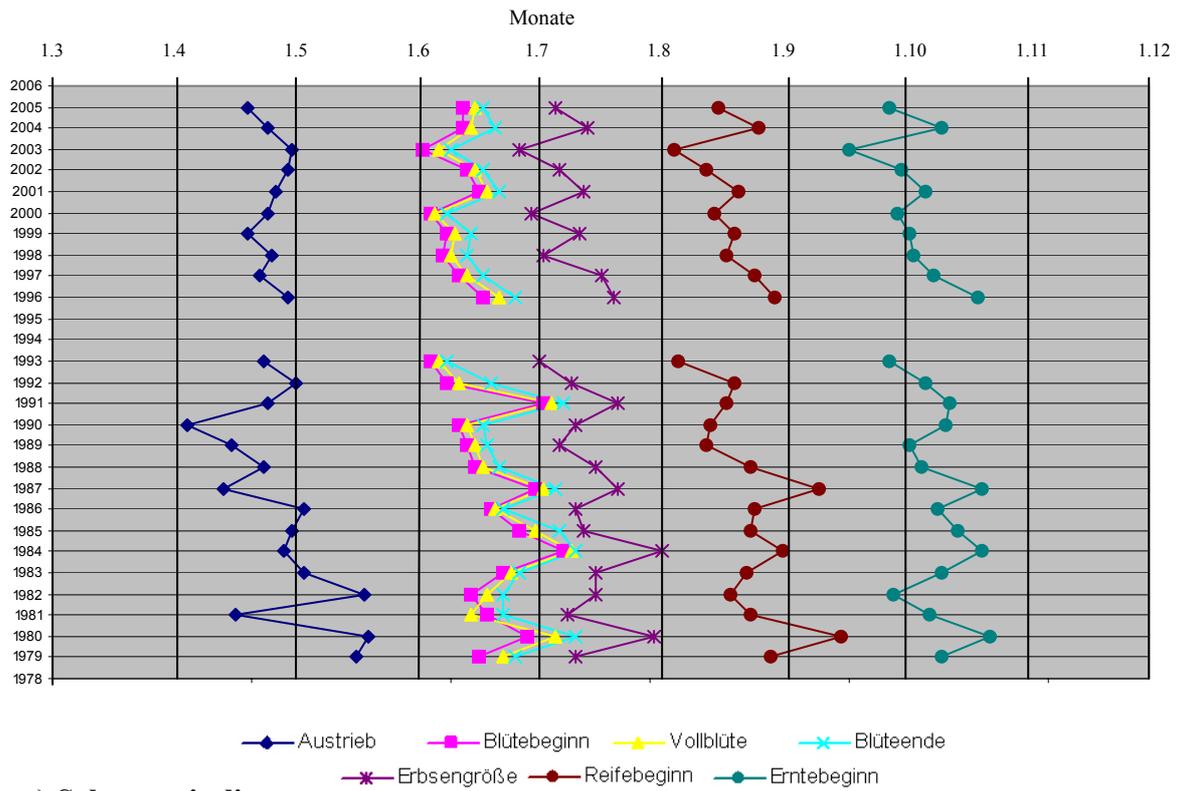
Abb. 5-24 (a-f): Trendanalyse - Jährliche Pollensumme an der Station Wangen. Die Taxa sind auf dem Niveau von 0,05 zweiseitig signifikant. a) AESC, b) FRAX, c) PLAN, d) POPU, e) ULMU, f) URTI.

Aussage:

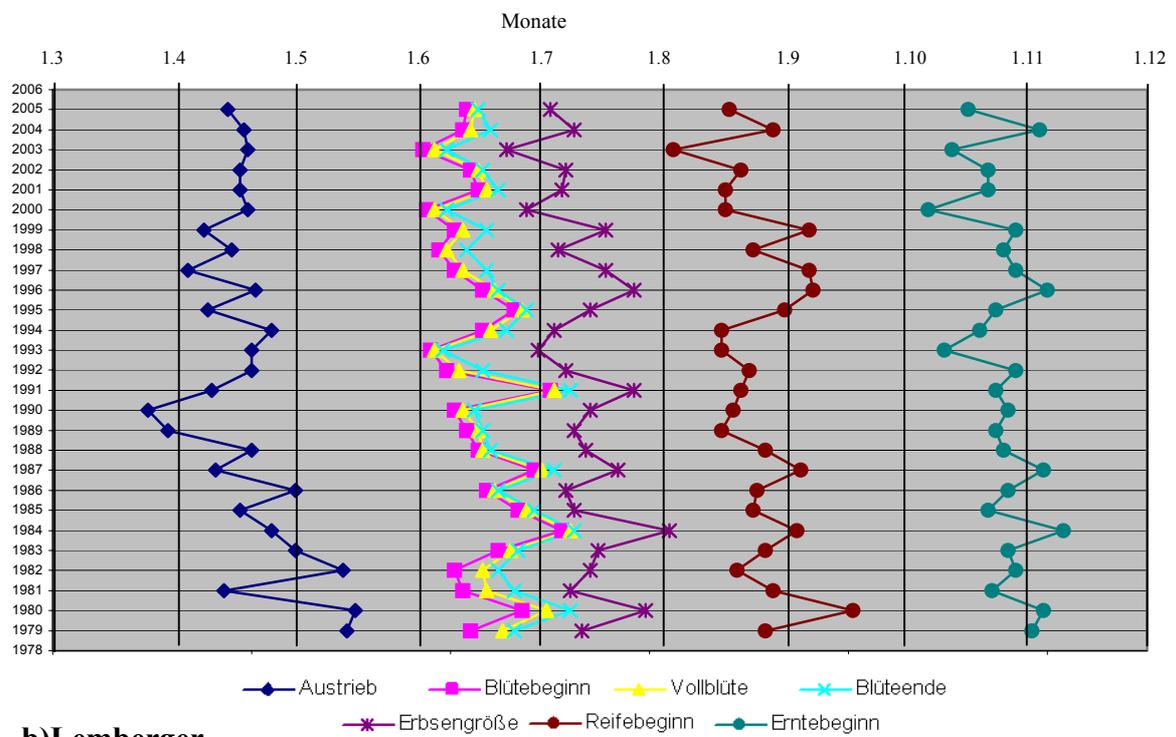
- Die einzelnen Taxa reagieren sowohl bei den jährlichen Tagen mit Pollenflug als auch bei der jährlichen Pollensumme unterschiedlich
- Es wird festgestellt, dass es einigen Taxa besser, anderen schlechter geht - dabei ist der Trend einer Ab- oder Zunahme für ein und dasselbe Taxon dann jedoch bei beiden betrachteten Parametern gleich
- Das über den Untersuchungszeitraum zu beobachtende Phänomens einer Ab- bzw. Zunahme ist ursächlich auf den stattfindenden Klimawandel zurückzuführen
- Dabei unterscheiden sich die Taxa in ihrem Verhalten auch teilweise in Abhängigkeit zu den einzelnen Regionen - somit resultieren die sich ändernden Klimabedingungen in unterschiedlichen Auswirkungen auf die einzelnen Standorte (regionaler Charakter)

5.5.2 Beobachtung der jährlichen Variabilität phänologischer Stadien verschiedener Weinsorten an der LVWO in Weinsberg

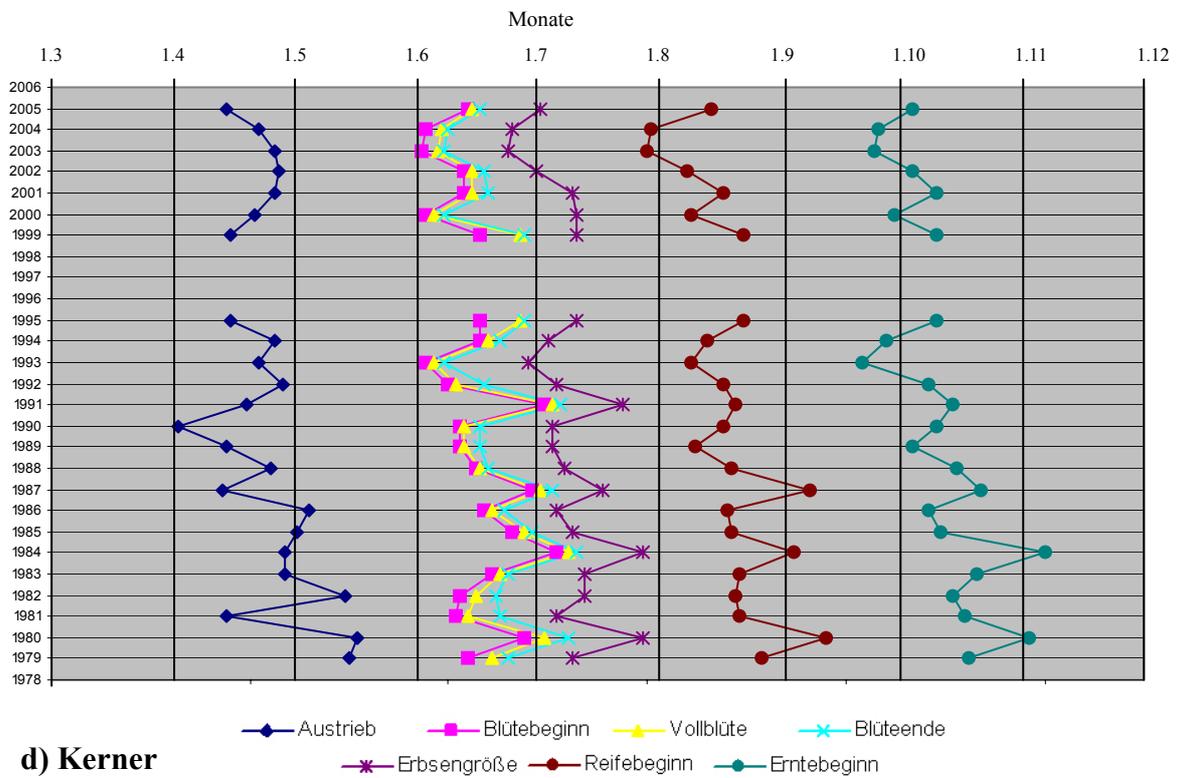
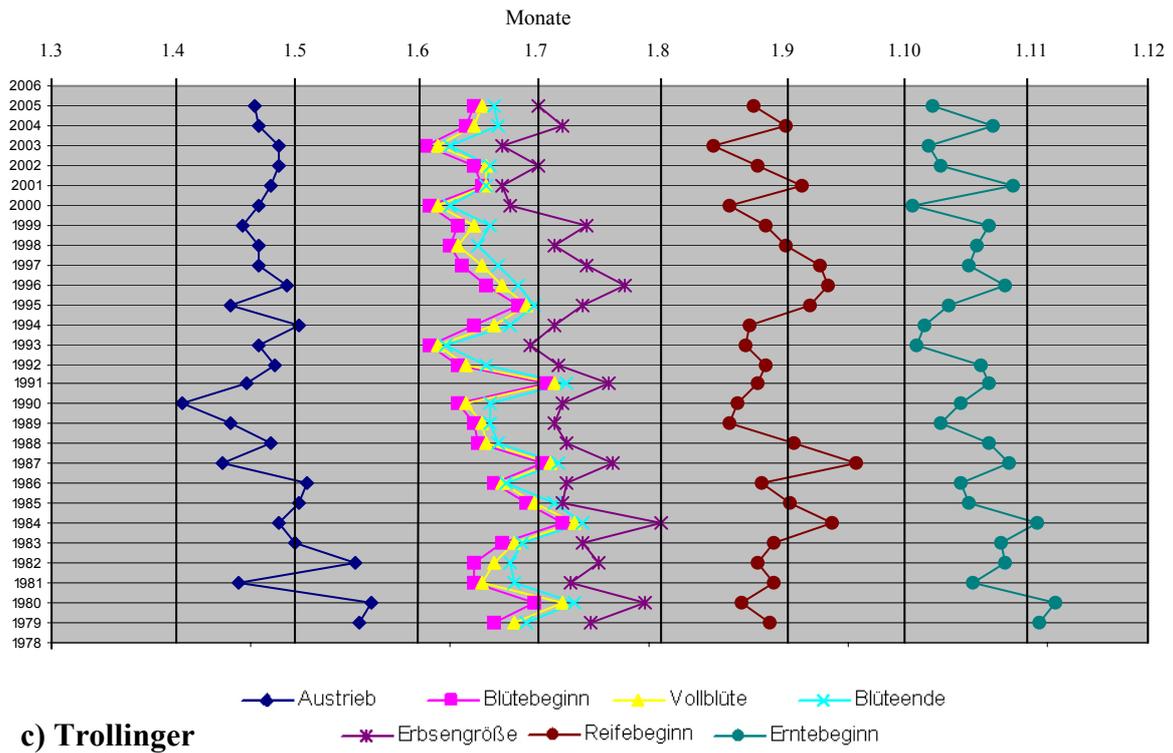
Die phänologischen Stadien der sieben beobachteten Weinsorten (a) - (g) wurden in Abb. 5-25 geplottet, um ihre jährliche Variabilität aufzuzeigen. Dabei wurden die phänologischen Abschnitte gemäß ihres jährlichen Eintritts in die Vegetationsphase angeordnet.

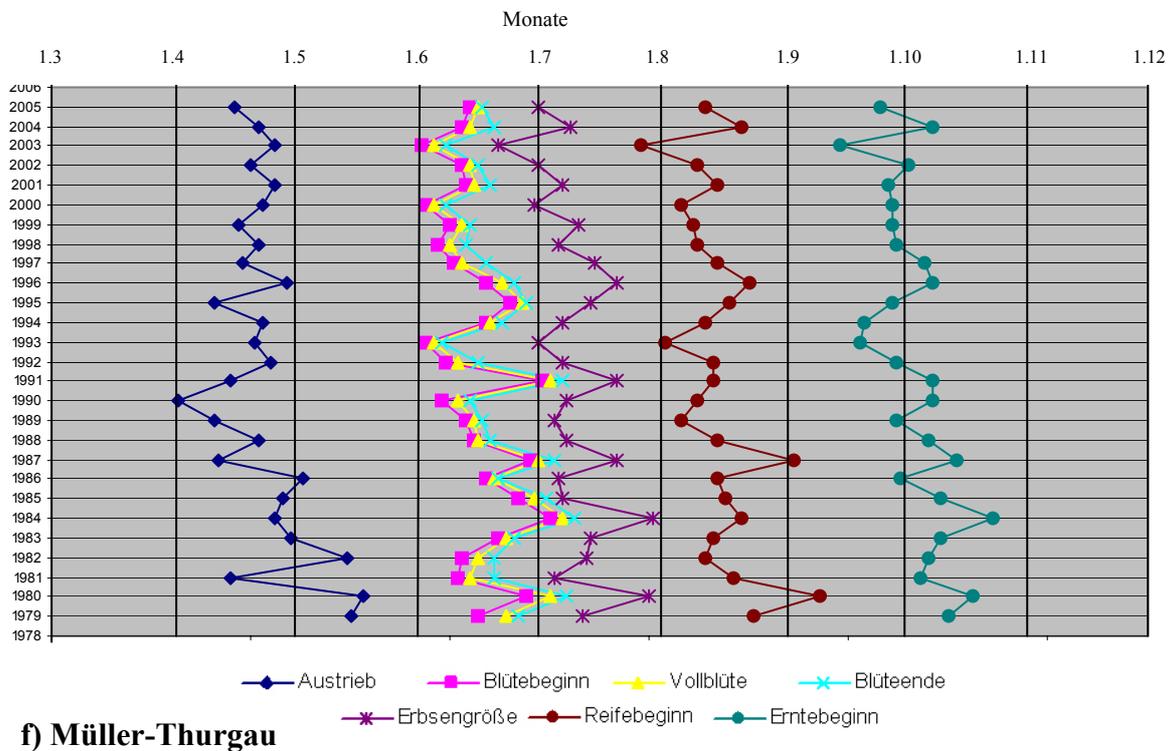
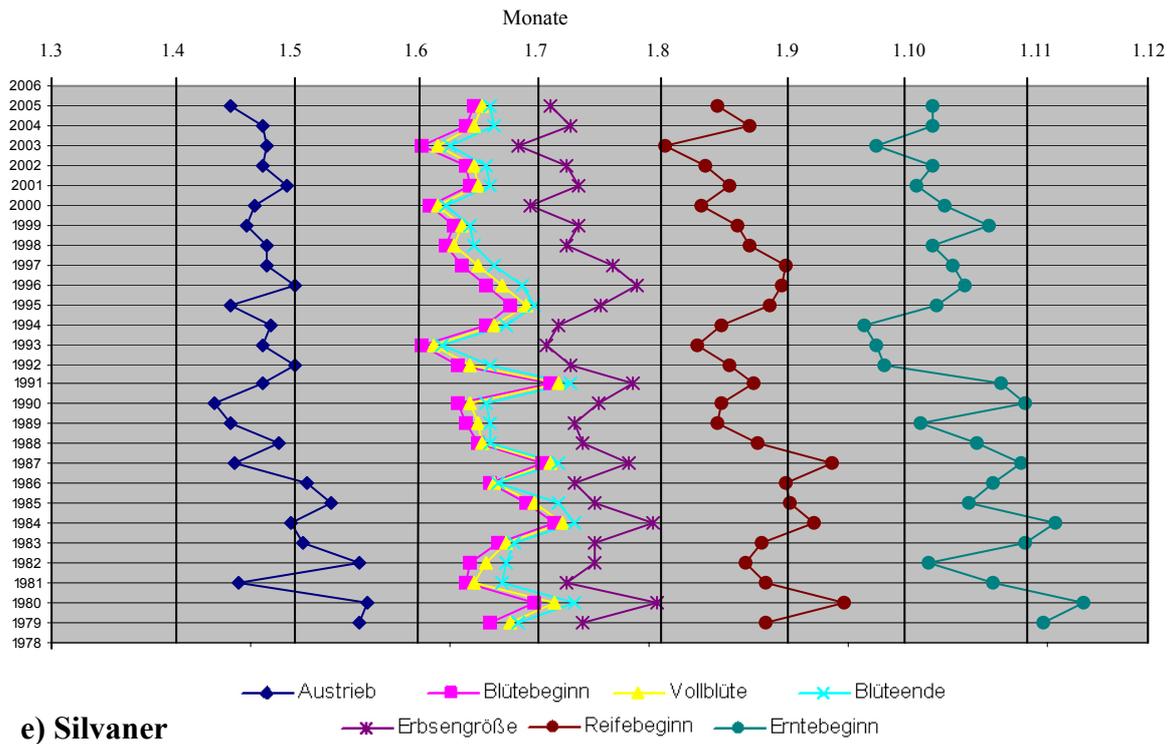


a) Schwarzriesling



b) Lemberger





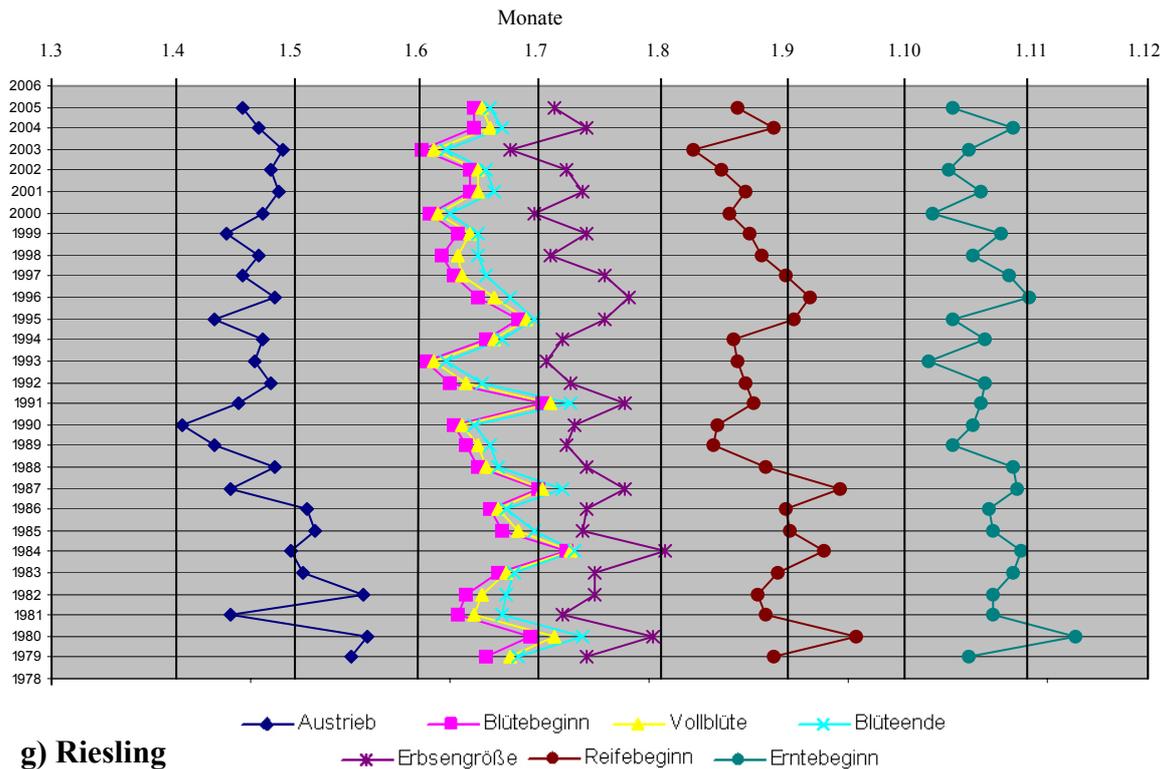


Abb. 5-25 (a-g): Jährliche Variabilität der phänologischen Stadien untersuchter Weinsorten. a) Schwarzriesling (1979-1993 und 1996-2005), b) Lemberger (1979-2005), c) Trollinger (1979-2005), d) Kerner (1979-1995 und 1999-2005), e) Silvaner (1979-2005), f) Müller-Thurgau (1979-2005) und g) Riesling (1979-2005).

In der vorgelegten Studie (Abb. 5-25, Tab. 5-27) wird die niedrigste Varianz bei den Sorten (a) und (b) für den Beginn der Ernte ($SD = 8,4$ bzw. $8,0$ Tage) und die höchste jeweils für den Austrieb ($SD = 10,4$ bzw. $12,4$ Tage) erreicht. Die Sorte (c) zeigt die niedrigste Varianz für den Reifebeginn ($SD = 8,7$ Tage), während die höchste Varianz äquivalent zu den Sorten (a) und (b) für den Austrieb ($SD = 10,4$ Tage) erzielt wird. Für die Sorte (d) resultiert die Erbsengröße mit der niedrigsten Varianz ($SD = 8,8$ Tage) und das Blüteende mit der höchsten ($SD = 12,3$ Tage). Die Erbsengröße stellt auch bei Sorte (e) die niedrigste Varianz ($SD = 8,7$ Tage) und der Reifebeginn die höchste ($SD = 14,4$ Tage). Bei den beiden Sorten (f) und (g) wird die niedrigste Varianz für den Reifebeginn erzielt ($SD = 8,6$ bzw. $8,1$ Tage) und die höchste jeweils für den Austrieb ($SD = 10,5$ bzw. $11,1$ Tage).

Aus diesen Beobachtungen wird ersichtlich, dass nicht ein und dieselben phänologischen Abschnitte über alle untersuchten Sorten hinweg die niedrigsten oder höchsten Varianzen aufweisen. Einerseits unterscheiden sich die einzelnen Sorten untereinander schon in der Stärke der Varianzen der jeweils gleichen phänologischen Abschnitte, andererseits unterscheiden sich die Sorten intern bezüglich der verschiedenen phänologischen Stadien. Dennoch wird deutlich, dass der Austrieb generell, über alle untersuchten Sorten hinweg, hohe Varianzen mit einer Standardabweichung von ungefähr 10 Tagen aufweist - in vier der insgesamt sieben Sorten sogar die höchsten aller untersuchten phänologischen Abschnitte. Es bleibt also festzuhalten, dass sich die einzelnen Sorten bezüglich der betrachteten Abschnitte individuell unterschiedlich verhalten.

Dabei weichen insbesondere die beiden Sorten Kerner und Silvaner von den anderen beobachteten Sorten durch die höchste Varianz für das Blüteende bzw. den Erntebeginn ab. Gerade der Erntebeginn weist bei den anderen Sorten niedrige, wenn nicht sogar die niedrigsten Werte auf. Dennoch ist die Dimension der Varianzen nicht unbedingt abschnittsabhängig, sondern vielmehr sortenbedingt. Insgesamt kann daraus abgeleitet werden, dass die einzelnen Varietäten, obwohl sie den gleichen Klimabedingungen ausgesetzt sind, auf Umweltveränderungen unterschiedlich reagieren.

Tab. 5-27: Standardabweichung der ausgewählten Sorten (a-g) in Tagen [d]. Die Analyse wurde für maximal 27 Beobachtungsjahre durchgeführt (Details siehe Kap. 4.4).

<u>phänologische Stadien:</u>	(a) Schwarzwiesling	(b) Lemberger	(c) Trollinger	(d) Kerner	(e) Silvaner	(f) Müller-Thurgau	(g) Riesling
Austrieb	10,4	12,4	10,4	10,9	10,2	10,5	11,1
Blütebeginn	9,1	9,1	8,9	9,3	9,2	8,9	9,0
Vollblüte	9,5	9,2	9,2	9,7	9,1	9,1	8,9
Blüteende	9,4	9,0	9,0	12,3	9,2	9,3	9,1
Erbsengröße	8,7	9,2	9,9	8,8	8,7	8,8	8,7
Reifebeginn	9,5	9,6	8,7	10,7	10,4	9,0	9,7
Erntebeginn	8,4	8,0	9,5	11,2	14,4	8,6	8,1

5.5.3 Phänologische Entwicklung von Wein an der LVWO in Weinsberg - Vegetationszyklen und -phasen für ausgewählte Sorten

Anhand von langjährigen Datenreihen (max. 1979-2005), welche für die einzelnen Weinsorten ausgewertet wurden, wurden für diese individuelle Profile erstellt. Diese auf die jährliche Entwicklung der Pflanzen zurückzuführenden Profile zeigen die mittleren Eintrittstermine der sieben untersuchten phänologischen Abschnitte (Tab. 5-28). So kann für jede der analysierten Sorten eine zeitliche Klassifikation und zugleich ein Bezugsrahmen für den jährlichen Vegetationszyklus gegeben werden. Aus den Einzelprofilen wurde zudem ein die Sorten vergleichender Überblick in Form eines phänologischen Kalenders erstellt. Dieses Diagramm ähnelt einem Pollenkalender und sollte ebenso gelesen werden (Abb. 5-26).

Gemittelt über alle untersuchten Weinsorten und Jahre resultierte der 22. April als Termin für den Beginn des Austriebs. Von den ausgewerteten Sorten treibt dabei Lemberger am frühesten ab 17. April, während Schwarzriesling und Silvaner den spätesten Austrieb mit dem 25. April zeigen. Insgesamt besteht also zwischen den einzelnen Sorten eine zeitliche Differenz bzw. Verzögerung von rund einer Woche.

Die Blüte beginnt gemittelt über alle Sorten am 14. Juni, mit den frühesten Sorten Schwarzriesling, Lemberger and Kerner alle am 14. Juni und der spätesten Sorte Trollinger am 16. Juni. Die Vollblüte wird für alle Sorten 3 Tage nach dem Blütebeginn erzielt, also am 17. Juni. Die Blütephase dauert im Schnitt 7 Tage bis zum 20. Juni. Bezüglich der einzelnen Sorten zeigen diese eine Dauer von 7 Tagen, ausgenommen Kerner mit 8 Tagen. Bei Betrachtung des Blüteendes ergibt sich also für die einzelnen Sorten eine sehr eng liegende zeitliche Abfolge mit Terminen zwischen dem 20. und 22. Juni, wobei dieses bei Trollinger am spätesten erfolgt.

Durchschnittlich erreichen die Beeren am 9. Juli Erbsengröße. Am frühesten für Trollinger und Kerner, beide am 8. Juli, am spätesten für Lemberger, Silvaner und Riesling, alle am 11. Juli. Die Reife wird für alle Sorten im August mit einem mittleren Wert um den 21. erreicht. Dabei liegt der Reifezeitpunkt für die beiden Sorten Müller-Thurgau und Kerner in der Mitte des Monats, am 14. bzw. 17. August. Die verbleibenden Sorten erreichen ihre Reife am Ende bzw. im letzten Drittel des Monats. Riesling und Trollinger zeigen hier die spätesten Termine mit dem 25. bzw. 28. August. Abschließend erfolgt die Ernte innerhalb des Zeitraumes

Oktober, mit einer Differenz von bis zu 22 Tagen je nach Sorte. Durchschnittlich erfolgt die Ernte am 13. Oktober - mit Müller-Thurgau als frühester Sorte (2. Oktober) und Lemberger als spätester (24. Oktober). Insgesamt ergibt sich Lemberger somit nicht nur als Sorte mit dem frühesten Austrieb, sondern zudem auch mit dem spätesten Erntezeitpunkt. Somit besitzt diese Sorte die längste Vegetationszeit aller innerhalb dieser Studie betrachteten Sorten.

Insgesamt bleibt bei dieser Untersuchung festzuhalten, dass die verschiedenen Sorten bezüglich ihrer zeitlichen Einordnung in den Vegetationszyklus im Monat übereinstimmen. Dennoch ergeben sich für die Sorten klare, nicht zu vernachlässigende Unterschiede. Es handelt sich hierbei um komplexe Zusammenhänge, welche keine einfachen Schlussfolgerungen zulassen. So ist es beispielsweise nicht möglich, zu einer einfachen Aussage bezüglich der einzelnen phänologischen Stadien und deren Interaktion zu kommen wie im Sinne von „je früher eine Sorte einen bestimmten phänologischen Abschnitt erreicht, desto eher folgt dann der nächste“. Die Untersuchungen geben klare Anzeichen dafür, dass jede Weinsorte äußerst spezifische Anforderungen an ihre jeweilige phänologische Entwicklung stellt.

Tab. 5-28: Überblick über die mittleren Eintrittstermine der untersuchten phänologischen Stadien. Die Abschnitte werden für alle analysierten Sorten dargestellt. Die Analyse wurde für maximal 27 Beobachtungsjahre durchgeführt (Details siehe Kap. 4.4).

<u>phänologische Stadien:</u>	(a) Schwarzriesling	(b) Lemberger	(c) Trollinger	(d) Kerner	(e) Silvaner	(f) Müller-Thurgau	(g) Riesling	Sorten (Ø)
Austrieb	25.04	17.04	24.04	23.04	25.04	22.04	23.04	22.04
Blütebeginn	14.06	14.06	16.06	14.06	15.06	14.06	15.06	14.06
Vollblüte	17.06	17.06	19.06	17.06	18.06	17.06	18.06	17.06
Blüteende	20.06	20.06	22.06	21.06	21.06	20.06	21.06	20.06
Erbsengröße	10.07	11.07	08.07	08.07	11.07	09.07	11.07	09.07
Reifebeginn	19.08	24.08	28.08	17.08	22.08	14.08	25.08	21.08
Erntebeginn	05.10	24.10	17.10	09.10	14.10	02.10	20.10	13.10

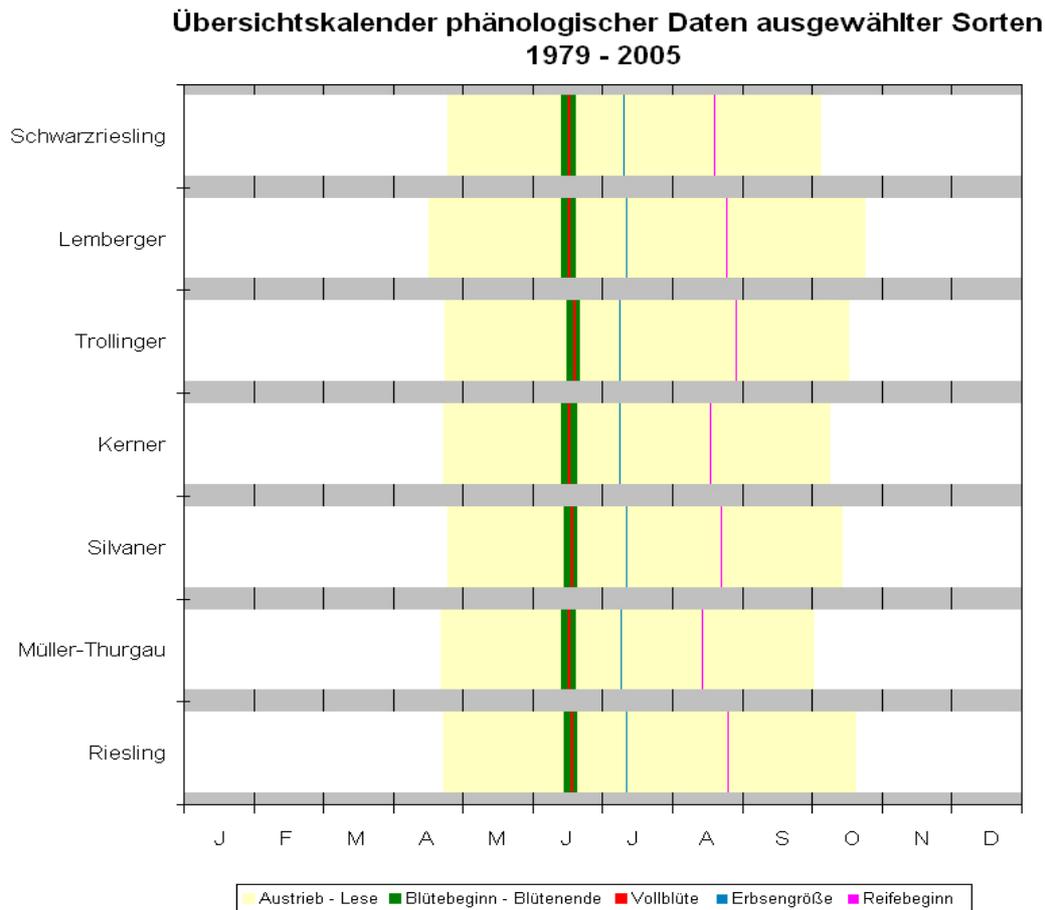


Abb. 5-26: Kalendarischer Überblick phänologischer Daten ausgewählter Weinsorten. Maximaler untersuchter Zeitabschnitt: 1979-2005.

Wird die komplett betrachtete Zeitspanne von 27 Jahren in zwei Abschnitte so genannter „partieller langjähriger Mittelwerte“ unterteilt (14jährige Intervalle: 1979 bis 1992 und 1992 bis 2005), so ist es möglich, die für alle Sorten existenten Verschiebungen der phänologischen Stadien zu erkennen und zu visualisieren (Tab. 5-29). Es ergibt sich daraus ein generell früherer Beginn aller phänologischen Abschnitte in Richtung Jahresanfang (Abb. 5-27). Im Rahmen dieser Untersuchungen ergeben sich erneut sortenabhängige Unterschiede, welche nachfolgend beschrieben werden. Dabei wurden innerhalb der folgenden Analysen die Sorten (a) und (d) auf Grund ihrer unvollständigen Zeitreihe ausgeschlossen.

In einem ersten Schritt wurden die Sorten und ihre Entwicklung über die Jahre einzeln betrachtet, in einem zweiten Schritt wurden diese dann zusammengefasst, um zu über die Sorten hinweg gemittelten Werten zu kommen (Tab. 5-29).

Beginnend mit dem Austrieb wurde eine mittlere Abweichung von 5,2 Tagen berechnet. Dabei zeigt Trollinger mit 3,9 Tagen die geringsten Verschiebungen und Silvaner mit 6,6 Tagen die größten. Die Blüte beginnt insgesamt 8,8 Tage früher, wobei Müller-Thurgau und Riesling mit 8,4 Tagen den geringsten und Trollinger und Silvaner mit 9,4 Tagen den höchsten Versatz zeigen. Die Vollblüte beginnt im Mittel 9,4 Tage früher. Dabei zeigt Riesling mit 8,8 Tagen die niedrigsten und Lemberger mit 9,8 Tagen die höchsten Werte. Hinsichtlich des Blüteendes wird eine mittlere Abweichung von 9,5 Tagen erzielt - Müller-Thurgau mit den geringsten Veränderungen (9,3 Tage) und Trollinger mit den stärksten (9,8 Tage). Bei den untersuchten Sorten wird die Erbsengröße im Mittel 7,6 Tage früher erreicht. Dabei zeigt Trollinger mit 9,1 Tagen die stärkste Verfrühung und Müller-Thurgau und Riesling mit 6,8 bzw. 6,9 Tagen die geringste. Der Reifebeginn, mit einem Mittelwert von 5,3 Tagen, zeigt insgesamt die stärksten Schwankungen unter den untersuchten Sorten. So beträgt die Veränderung bei Lemberger über die Jahre lediglich 0,5 Tage, dagegen bei Silvaner ganze 9,7 Tage. Auch der Erntebeginn zeigt bei den einzelnen Sorten starke Unterschiede. Der niedrigste Wert ergibt sich mit 5,9 Tagen für Lemberger, der höchste für Silvaner mit einer Verfrühung von 17,6 Tagen. Für alle ausgewerteten Sorten wurde ein Mittelwert von 9,6 Tagen berechnet.

Übergeordnet ergibt sich somit für den Verlauf der beiden Zeitintervalle unabhängig von der Sorte somit ein klarer Versatz. Die Abweichung, sprich die Verfrühung, gemittelt über alle Sorten und phänologischen Abschnitte beträgt ca. 8 Tage. Aber es wird bei der dargelegten Untersuchung erneut deutlich, dass sich die einzelnen Sorten und phänologischen Stadien sehr unterschiedlich verhalten und kein einheitliches Muster entsteht. Diese Unterschiede werden bei den beiden phänologischen Abschnitten Reifebeginn und Erntebeginn am deutlichsten. Dies impliziert zudem, dass die einzelnen Sorten in ihren verschiedenen Entwicklungsstadien sehr differenziert auf Umwelt- bzw. Klimaveränderungen reagieren.

Tab. 5-29: Überblick über die mittleren Abweichungen der zwei Zeitabschnitte 1979 bis 1992 und 1992 bis 2005 (partielle langjährige Mittelwerte). Die Verfrühungen der phänologischen Abschnitte in Tagen sind für diejenigen Sorten (a) bis (g) angegeben, welche über den Zeitabschnitt 1979 bis 2005 durchgängig erfasst wurden. Somit wurden die Sorten (a) und (d) wegen der fehlenden Jahre 1994 bis 1995 bzw. 1996 bis 1998 aus den Analysen ausgeschlossen.

<u>phänologische Stadien:</u>	(a) Schwarzriesling	(b) Lemberger	(c) Trollinger	(d) Kerner	(e) Silvaner	(f) Müller-Thurgau	(g) Riesling	Sorten (Ø)
Austrieb	-	5,6	3,9	-	6,6	4,1	6,0	5,2
Blütebeginn	-	8,5	9,4	-	9,4	8,4	8,4	8,8
Vollblüte	-	9,8	9,6	-	9,4	9,2	8,8	9,4
Blüteende	-	9,6	9,8	-	9,6	9,3	9,4	9,5
Erbsengröße	-	7,6	9,1	-	7,5	6,8	6,9	7,6
Reifebeginn	-	3,3	0,5	-	9,7	6,6	6,3	5,3
Erntebeginn	-	5,9	8,6	-	17,6	10,4	5,5	9,6
Abweichung (mean)	-	7,2	7,3	-	10,0	7,8	7,3	7,9

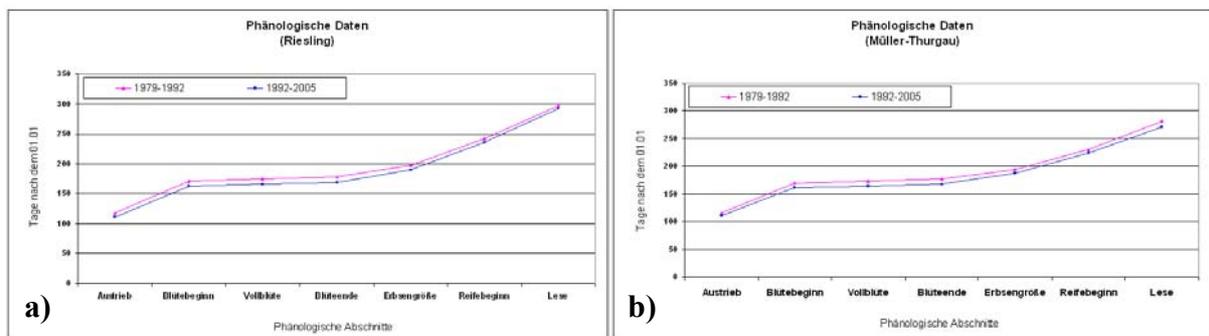


Abb. 5-27 (a-b): Versatz des mittleren Verlaufs am Beispiel von a) Riesling und b) Müller-Thurgau. Vierzehnjähriges Mittelungsintervall - 1979 bis 1992 bzw. 1992 bis 2005.

5.5.4 Trend- und Andaueranalysen für ausgewählte Weinsorten des LVWO Datensatzes

a) Trendanalysen

Wie in Kap. 5.5.3 dargestellt sind die phänologischen Abschnitte durch eine über die Jahre bestehende hohe Variabilität gekennzeichnet. Mit Hilfe der Programme SPSS[®] 12.0.1 und EXCEL wurde eine Trendanalyse für die gesamte verfügbare Zeitspanne von 27 Jahren (1979 bis 2005) durchgeführt, wobei die Jahre 1994 bis 1995 bzw. 1996 bis 1998 für die Sorten (a) und (d) fehlen. Die phänologischen Stadien wurden dabei einer statistischen Zeitreihenanalyse unterzogen und zugleich der lineare Trend bestimmt. Des Weiteren wurde die Signifikanz berechnet, um die Stärke des Trends hinsichtlich der natürlichen Variabilität der Zeitreihen abzuschätzen. Die Ergebnisse dieser Untersuchungen weisen durchgängig negative Trends mit weitgehend signifikanten Werten (sig. < 0,05) auf (Tab. 5-30 und Tab. 5-31).

Tab. 5-30: Trendanalysen der phänologischen Stadien für die Sorten (a) bis (g). Angeben ist der lineare Trend in Tagen [d]. Die Analyse wurde für maximal 27 Beobachtungsjahre durchgeführt. Werte über einem Signifikanzlevel von 0,05 sind hervorgehoben.

<u>phänologische Stadien:</u>	(a) Schwarzriesling	(b) Lemberger	(c) Trollinger	(d) Kerner	(e) Silvaner	(f) Müller-Thurgau	(g) Riesling	Sorten (Ø)*
Austrieb	-12,2	-18,8	-14,2	-15,1	-17,8	-14,4	-16,5	-16,1
Blütebeginn	-16,7	-13,3	-15,5	-14,5	-15,3	-14,0	-13,6	-14,7
Vollblüte	-17,4	-16,7	-16,9	-14,4	-16,0	-16,1	-15,0	-16,1
Blüteende	-18,0	-17,1	-17,4	-16,8	-16,8	-16,5	-16,4	-17,0
Erbsengröße	-13,3	-13,9	-19,0	-15,7	-14,0	-14,4	-13,3	-14,8
Reifebeginn	-15,0	-10,6	-2,9	-23,2	-20,2	-14,3	-15,7	-17,7
Erntebeginn	-13,6	-11,0	-16,7	-24,9	-29,3	-17,6	-10,8	-17,7

*die Berechnung beinhaltet nur signifikante Werte

Tab. 5-31: Trendanalysen der phänologischen Stadien für die Sorten (a) bis (g). Angegeben ist die Signifikanz (zweiseitig). Die Analyse wurde für maximal 27 Beobachtungsjahre durchgeführt. Signifikanzen über dem Niveau von 0,05 sind hervorgehoben.

<u>phänologische Stadien:</u>	(a) Schwarzriesling	(b) Lemberger	(c) Trollinger	(d) Kerner	(e) Silvaner	(f) Müller-Thurgau	(g) Riesling
Austrieb	0,069	0,015	0,031	0,032	0,004	0,031	0,018
Blütebeginn	0,002	0,020	0,004	0,015	0,006	0,011	0,015
Vollblüte	0,002	0,003	0,002	0,021	0,004	0,004	0,006
Blüteende	0,001	0,002	0,001	0,005	0,003	0,003	0,003
Erbsengröße	0,013	0,015	0,001	0,004	0,010	0,008	0,015
Reifebeginn	0,010	0,084	0,616	0,000	0,001	0,011	0,009
Erntebeginn	0,009	0,029	0,004	0,000	0,001	0,001	0,035

Beim Austrieb sind es die Sorten (b) und (e), welche mit -18,8 und -17,8 Tagen die stärksten Verschiebungen in Richtung eines früheren Beginns aufweisen. Die geringsten Veränderungen resultieren für die Sorten (c) und (f) mit einem immerhin noch 2 Wochen früheren Einsatz. Im Mittel ergibt sich für die signifikanten Werte der untersuchten Sorten hinsichtlich des Austriebs eine Verfrühung von -16,1 Tagen. Beim Blütebeginn zeigt Sorte (a) mit -16,7 Tagen die stärksten Verschiebungen, während Sorte (b) mit 13,3 Tagen die geringsten Veränderungen aufweist. Im Mittel wurde ein früherer Blütebeginn von -14,7 Tagen berechnet. Die Vollblüte, mit einem übergeordneten Versatz von -16,1 Tagen, zeigt bei den einzelnen Sorten die höchsten Werte für die Sorte (a) mit -17,4 Tagen und die niedrigsten Werte für die Sorte (d) mit -14,4 Tagen. Sorte (a) zeigt auch beim Blüteende mit -18,0 Tagen die größte Veränderung, während Sorte (g) einen Wert von -16,4 Tagen aufweist. Die durchschnittliche Verschiebung für alle untersuchten Sorten beträgt beim Blüteende für den ausgewerteten Zeitraum -17,0 Tage. Ein sehr hoher Wert wird bei der Erbsengröße, welche durchschnittlich eine Verfrühung von -14,8 Tagen aufweist, für die Sorte (c) mit -19,0 Tagen erreicht. Dagegen zeigen die beiden Sorten (a) und (g) lediglich eine Verfrühung von -13,3 Tagen. Beim Reifebeginn, welcher im Mittel einen Versatz von -17,7 Tagen aufzeigt, erreichen die beiden Sorten (b) und (c) keine Signifikanz. Zudem zeigen die Sorten (d) und

(e) mit einer Verfrühung von -23,2 bzw. -20,2 Tagen im Vergleich sämtlicher phänologischer Stadien sehr hohe Werte. Niedrige Werte in einem Bereich zwischen -14,0 und -15,0 Tagen zeigen dagegen die Sorten (a), (f) und (g). Die stärksten Unterschiede zwischen den einzelnen Sorten bestehen jedoch beim Erntebeginn. Mit einem Mittelwert von -17,7 Tagen zeigt so die Sorte (d) den extrem hohen Wert von -29,3 Tagen, während Sorte (b) den vergleichsweise niedrigen Wert von -11 Tagen aufweist.

Die Ergebnisse der Trendanalyse bekräftigen die Resultate aus Kap. 5.5.3, welche aufzeigen, dass die einzelnen Sorten, trotz eines generell früheren Einsatzes der einzelnen phänologischen Phasen von 2 bis 3 Wochen, sehr unterschiedlich auf die stattfindenden klimatischen Veränderungen reagieren.

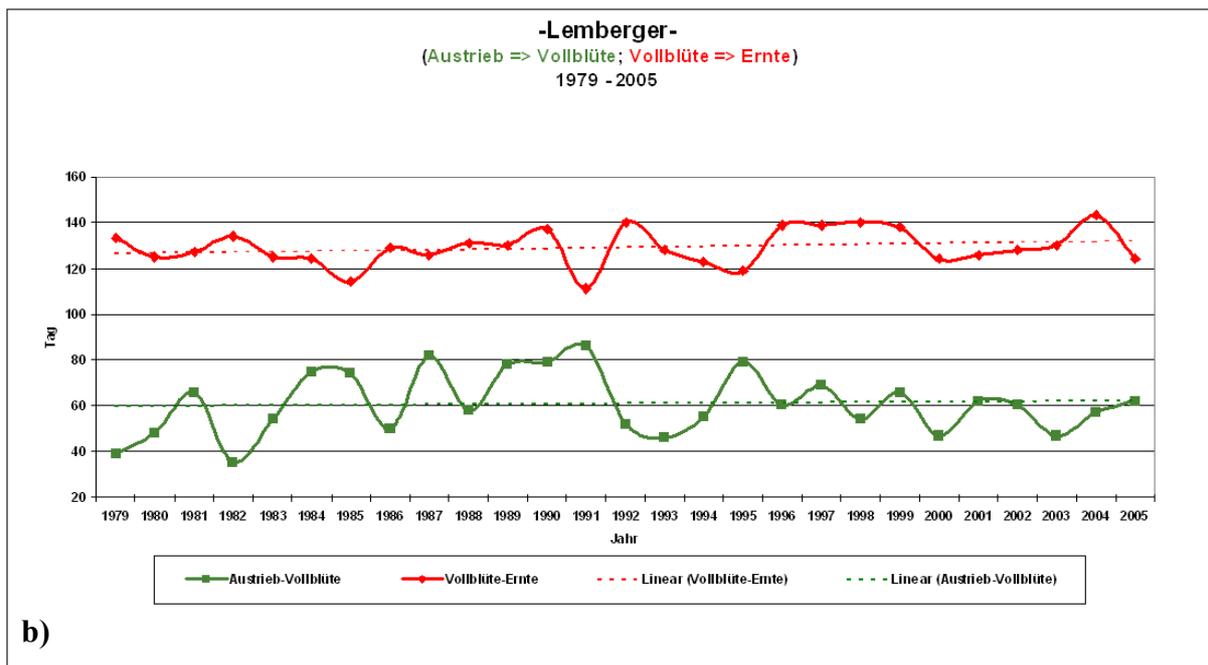
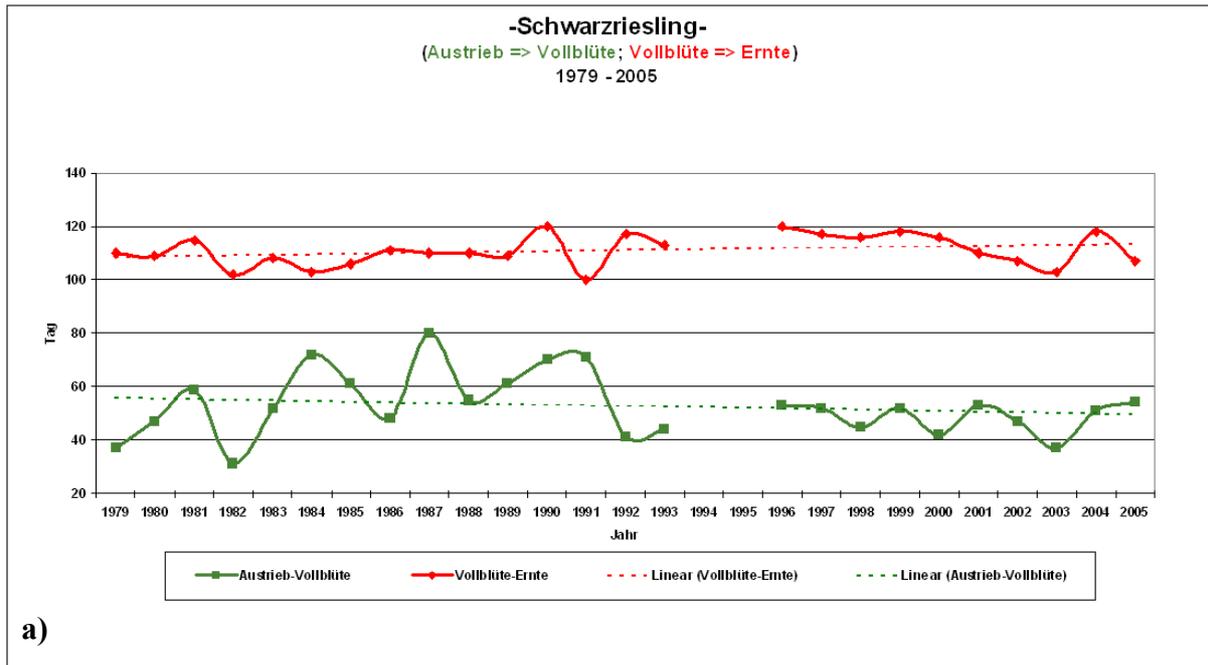
b) Andaueranalysen

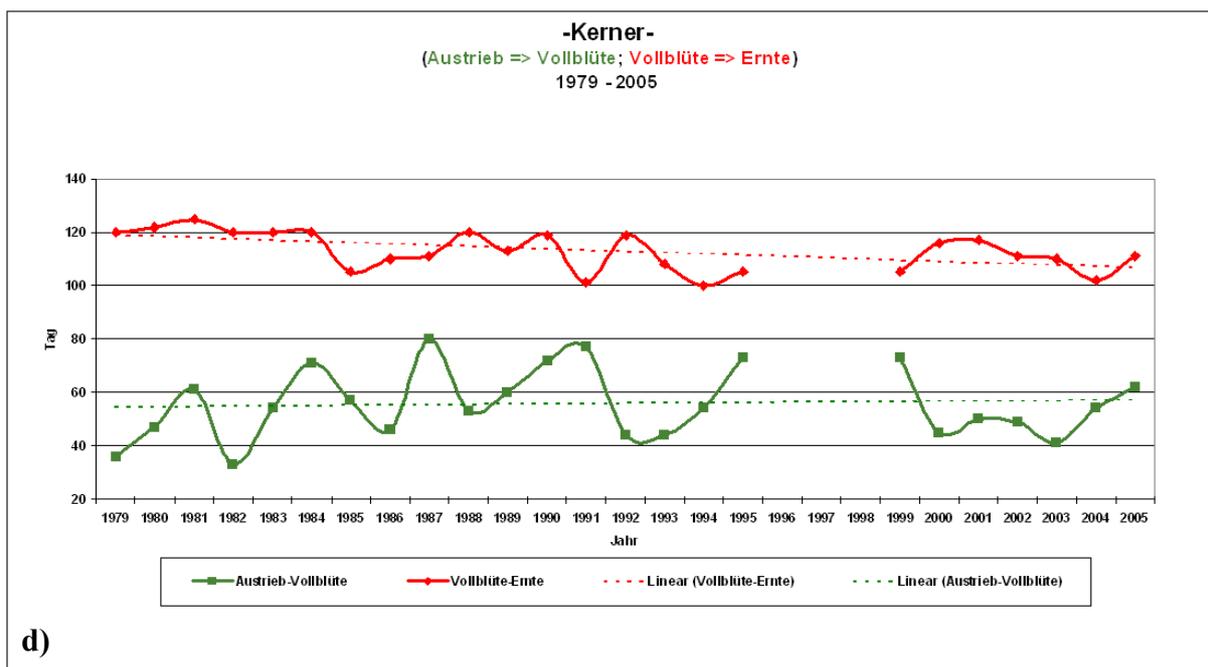
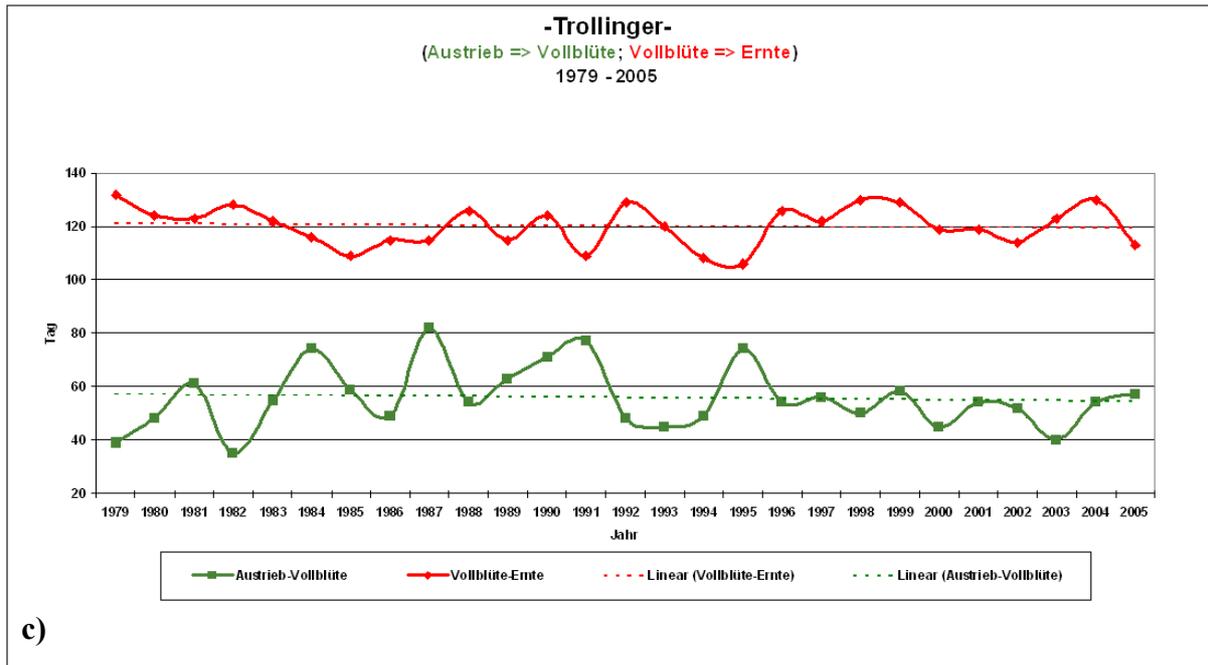
Die durchgeführten Andaueranalysen zeigen ein sehr differenziertes Bild auf. Dies gilt sowohl für die beiden untersuchten phänologischen Phasen innerhalb einer Weinsorte als auch im Vergleich der einzelnen Weinsorten untereinander. Dennoch ergibt sich für sämtliche diesbezüglich durchgeführten Analysen lediglich für die Sorte Kerner ein signifikanter Wert, und zwar für den Phasenabschnitt Vollblüte bis Ernte (Tab. 5-32). Dabei hat sich hier die Zeitspanne um -12 Tage verkürzt. Mit Ausnahme der Sorten Lemberger (7,7 Tage) und Riesling (15,6 Tage) hat sich der gesamte Vegetationsablauf verkürzt, jedoch je nach Weinsorte in unterschiedlichem Ausmaß (zwischen -1 bis -12 Tagen). Es wird damit offensichtlich, dass die untersuchten Phasenabschnitte in ihrer Ausdehnung starken Schwankungen unterworfen sind. In Abb. 5-28 (a-g) sind jeweils die ausgewählten Sorten chronologisch in ihrem Andauerverhalten über die ausgewerteten Jahre bezüglich der beiden Phasenabschnitte Austrieb bis Vollblüte und Vollblüte bis Ernte aufgetragen.

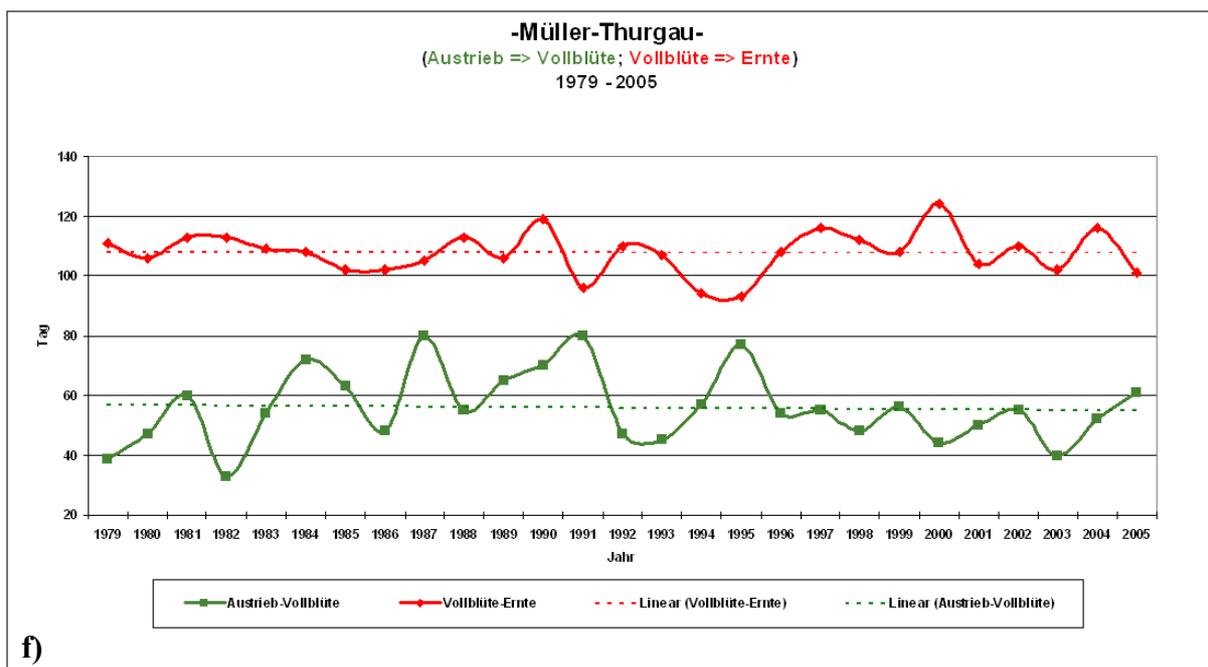
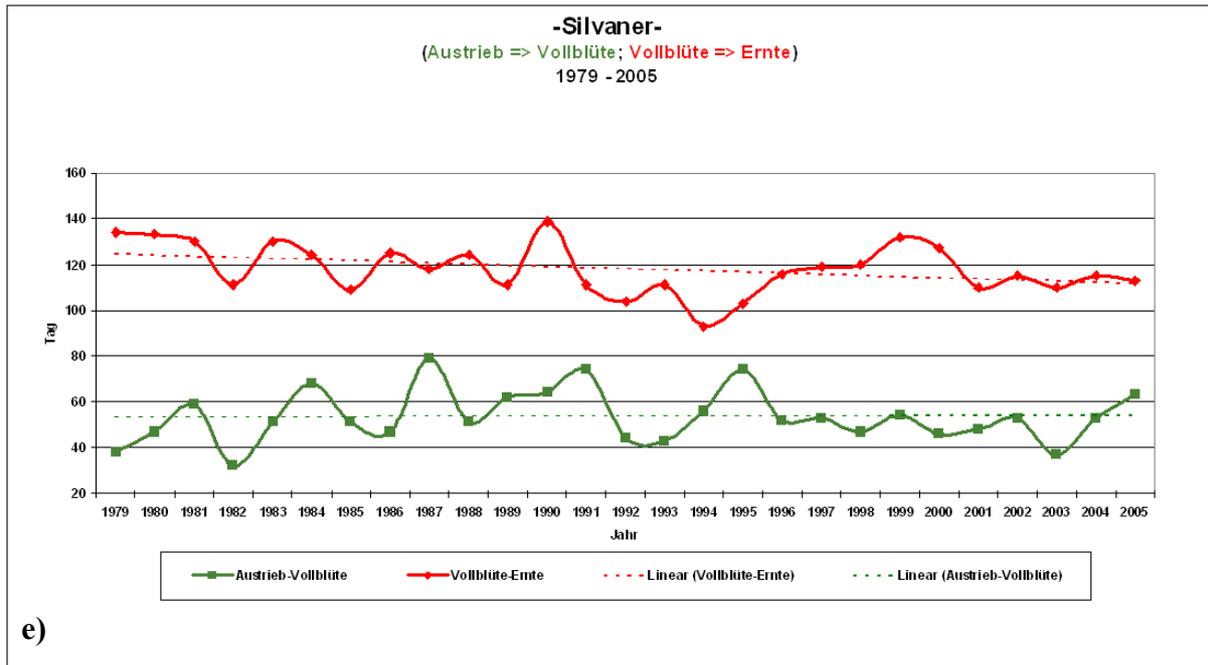
Insgesamt legt die Untersuchung auch bezüglich der Andauer ausgewählter phänologischer Phasen offen, dass die Länge der Phasen und ihre Veränderung über die beobachteten Jahre von der jeweils betrachteten Sorte abhängig sind. Dabei weist die Mehrheit der Sorten eine Verkürzung der Phasenabschnitte auf, wobei die Signifikanzen im Unterschied zur Trendanalyse bei der Andaueranalyse extrem niedrig sind.

Tab. 5-32: Andaueranalyse. Angegeben ist die Veränderung der Dauer in Tagen [d]. Werte über einem Signifikanzlevel von 0,05 sind hervorgehoben.

<u>phänolog.</u> <u>Phasen:</u>		(a) Schwarzriesling	(b) Lemberger	(c) Trollinger	(d) Kerner	(e) Silvaner	(f) Müller-Thurgau	(g) Riesling
Austrieb - Vollblüte	TREND	-5,8	1,9	-2,7	2,5	0,7	-1,9	11,5
Vollblüte - Ernte	TREND	4,8	5,8	-1,6	-12,2	-13,3	-0,3	4,1
SUMME		-1,0	7,7	-4,3	-9,7	-12,6	-2,2	15,6
Austrieb - Vollblüte	SIGN.	0,463	0,829	0,729	0,784	0,923	0,819	0,749
Vollblüte - Ernte	SIGN.	0,208	0,261	0,746	0,009	0,057	0,950	0,433
Austrieb - Vollblüte	SD	12,0	13,8	12,0	13,5	11,7	12,5	12,2
Vollblüte - Ernte	SD	5,7	7,9	7,6	6,4	10,4	7,4	8,1
Austrieb - Vollblüte	MEAN	52,60	60,74	55,67	55,67	53,56	55,82	55,71
Vollblüte - Ernte	MEAN	111,00	129,15	120,22	112,92	118,04	107,70	124,30







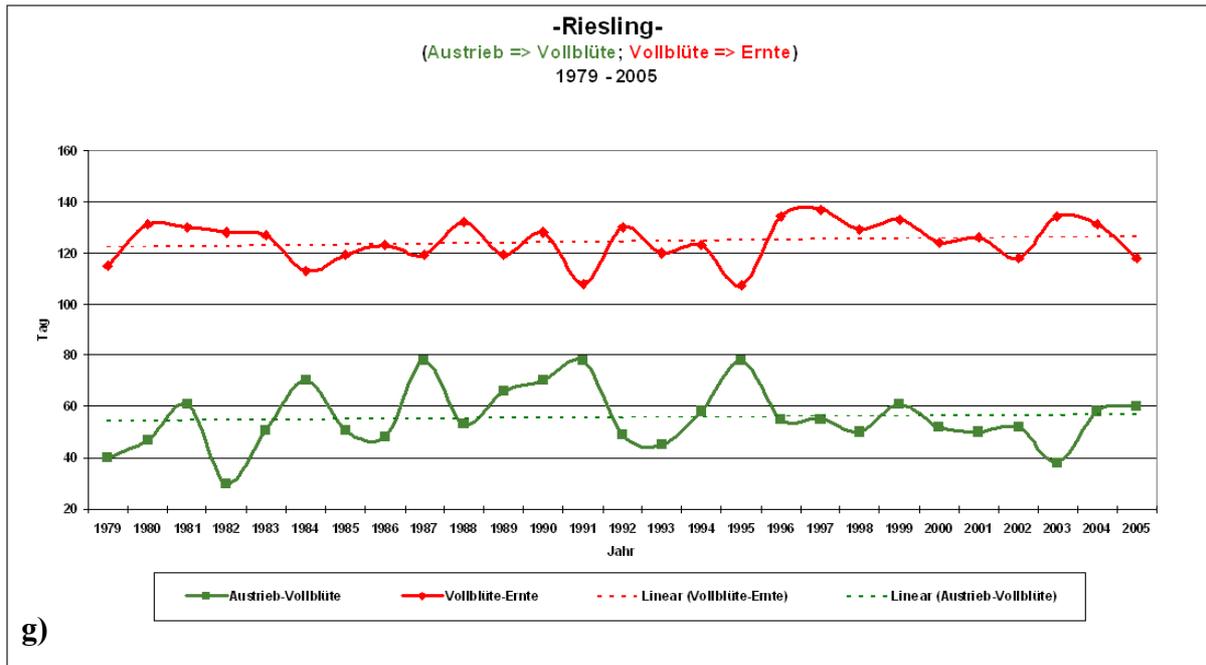


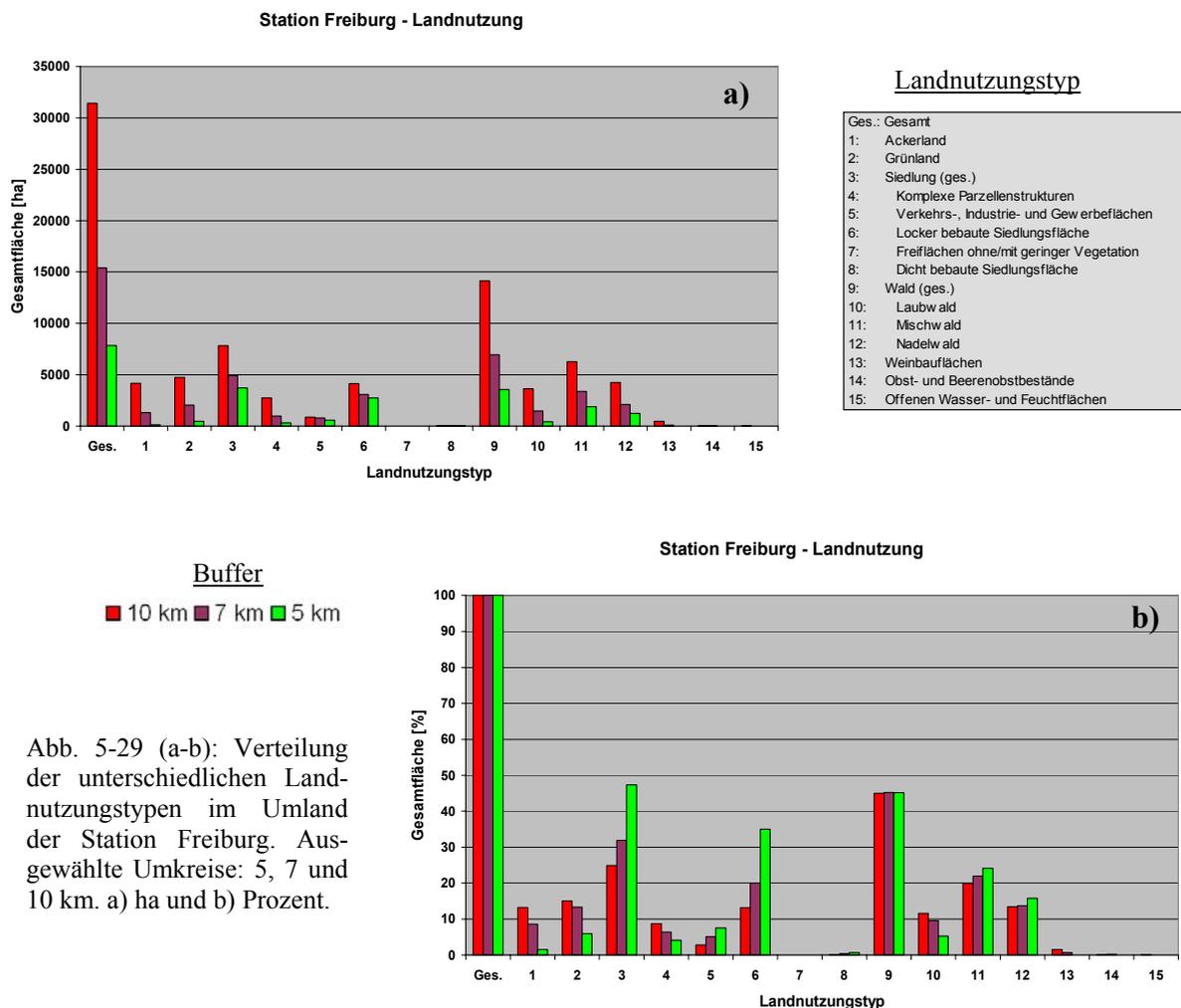
Abb. 5-28 (a-g): Andauer und linearer Trend der beiden phänologischen Phasen Austrieb bis Vollblüte und Vollblüte bis Ernte.

5.6 Landnutzungs-/Vegetationsanalyse

5.6.1 Bewertung der Umgebungsvegetation der Pollenstationen

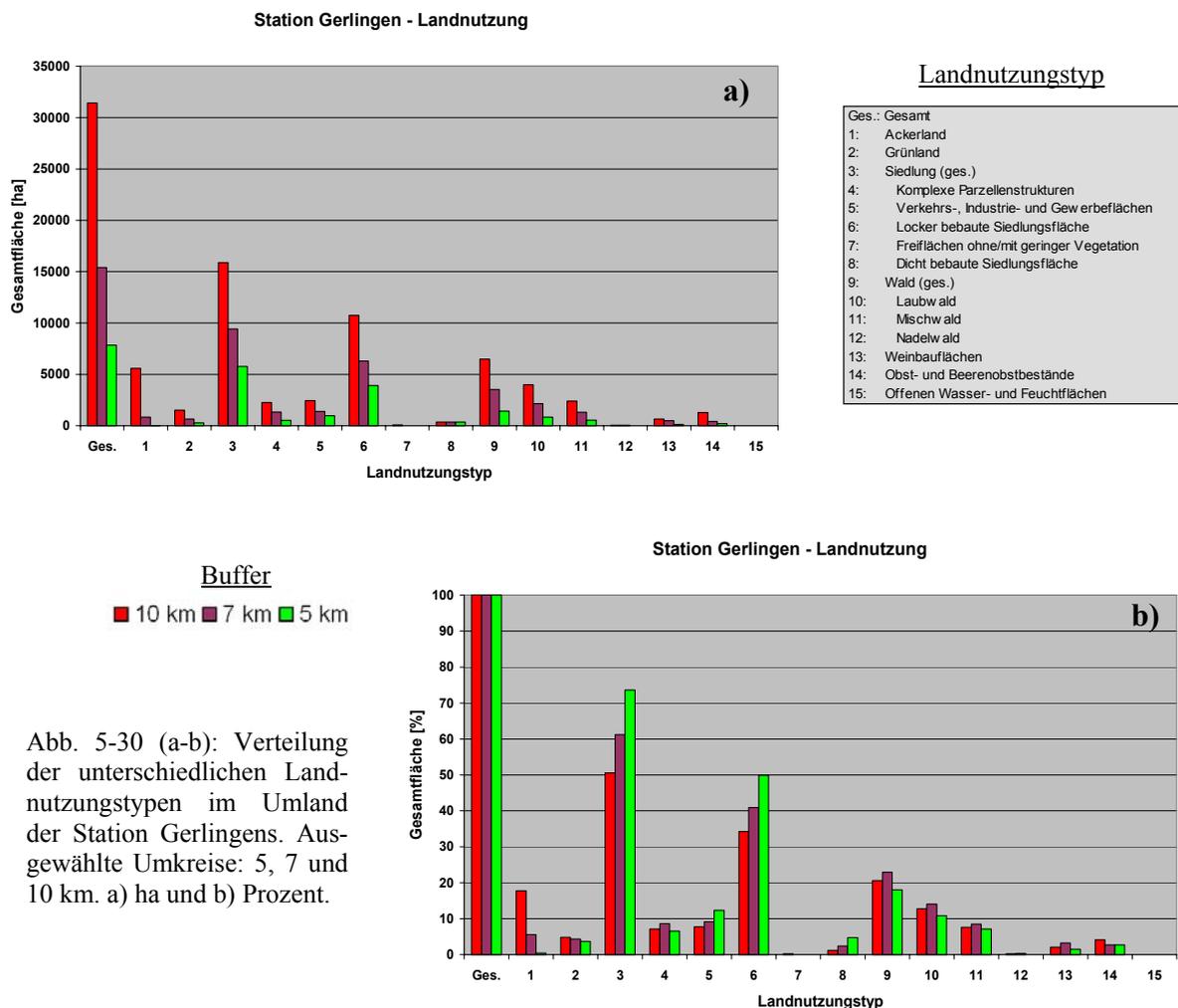
a) Station Freiburg

Die Flächenstatistik mit Bezug zur Landnutzung ergibt hinsichtlich deren Verteilung folgendes Bild: Der Siedlungsanteil liegt für die Umkreise 5, 7 und 10 km bei 47, 32 bzw. 25% der Gesamtfläche. Der Waldanteil liegt für alle Radien bei ca. 45% mit einem insgesamt hohen Mischwaldanteil. Die Landnutzungstypen 7 und 8, welche den Siedlungsstrukturen zugehört werden, können an dieser Station vernachlässigt werden. Die Acker- und Grünlandflächen umfassen jeweils unter 15% bzw. 4.734 ha der Gesamtfläche. Die Weinbauflächen machen sich innerhalb des 10 km Umkreises mit rund 470 ha bemerkbar. Nennenswerte Obst- und Beerenobstbestände sind nicht vorhanden (Abb. 5-29, a-b).



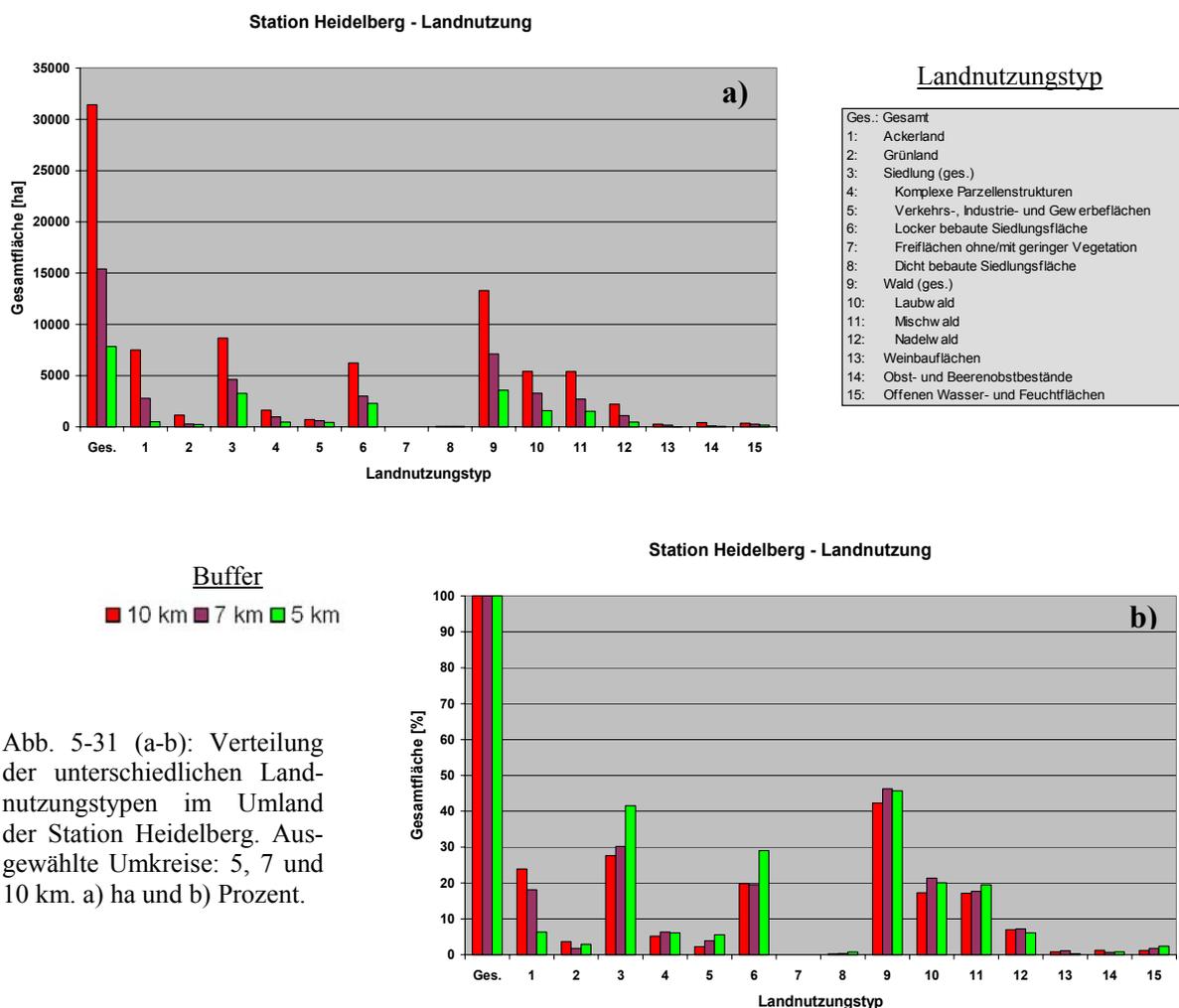
b) Station Gerlingen

Die Station Gerlingen ist durch einen hohen Siedlungsanteil mit Schwerpunkt auf den locker bebauten Siedlungsflächen gekennzeichnet (zwischen 50 und 70% der Gesamtfläche; in Abhängigkeit zum gewählten Radius). Insgesamt beinhaltet der 10 km Umkreis beispielsweise rund 15.900 ha Siedlungsfläche. Der Waldanteil ist mit 18 bis 23% eher niedrig. Insbesondere Nadelwälder sind eher untergeordnet vertreten, während der größte Teil von Laubwäldern eingenommen wird. Nach Anordnung der Umkreise in absteigender Reihenfolge sind dies: 4.015 ha, 2.166 ha und 853 ha bzw. 11 bis 14% der Gesamtfläche. Des Weiteren ist der Anteil der Acker- und Grünlandflächen zumeist gering. Lediglich der 10 km Umkreis zeigt einen Anstieg von 856 ha im 7 km Umkreis auf dann 5.586 ha. Innerhalb der ausgewerteten Umkreise ergibt sich jeweils ein nennenswerter Anteil an Weinbauflächen sowie an Obst- und Beerenobstbeständen. Insbesondere Letztgenannte bedecken innerhalb des 10 km Radius ca. 4% bzw. 1.290 ha der Gesamtfläche (Abb. 5-30, a-b).



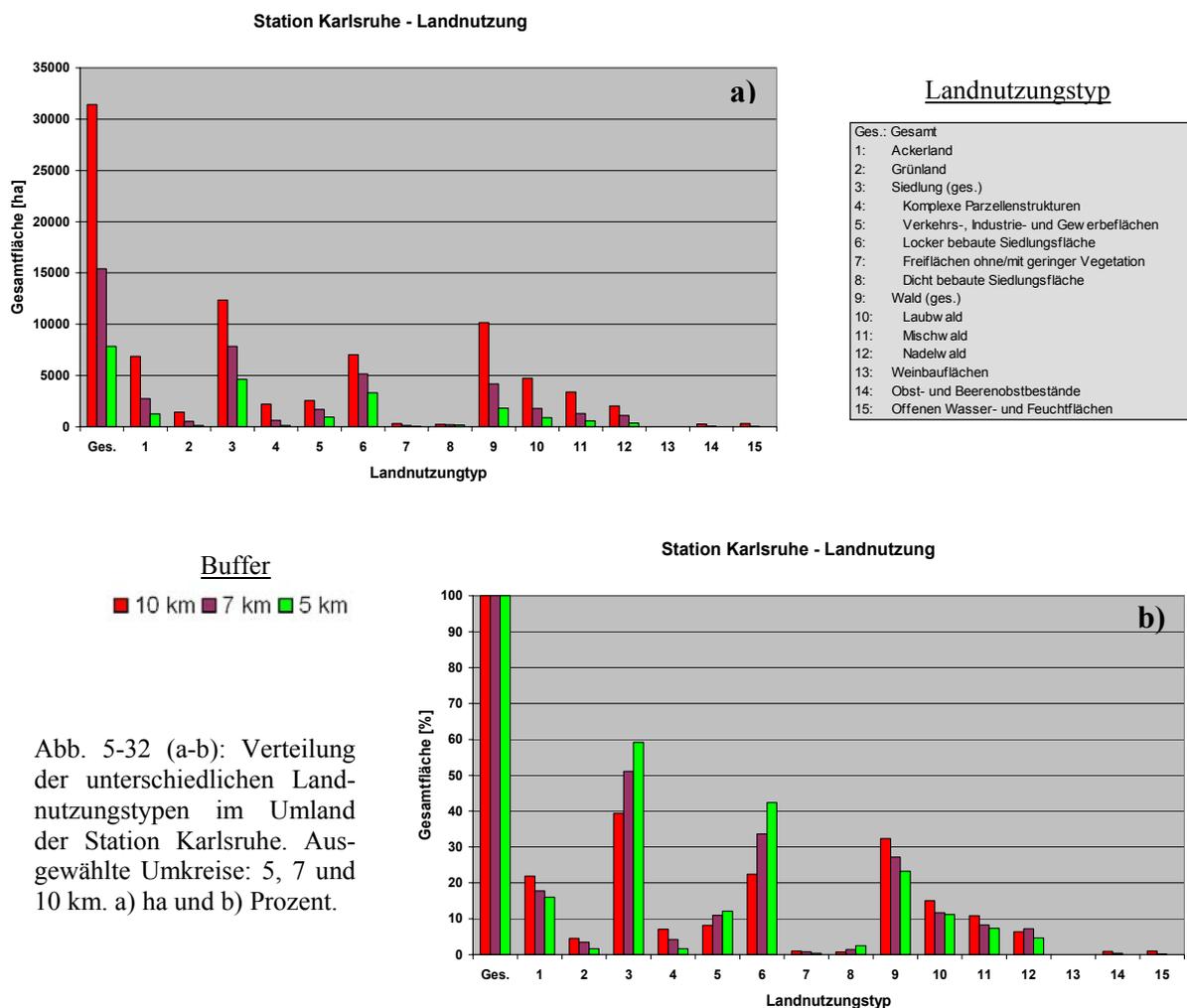
c) Station Heidelberg

Insbesondere innerhalb des 10 km Umkreises ist der Standort durch einen beachtlichen Ackerlandanteil von 7.515 ha gekennzeichnet. Die Siedlungsfläche summiert sich innerhalb des 5 km Radius auf 40% bzw. 3.263 ha der Gesamtfläche. Bei Berechnung des 10 km Umkreises fällt diese dann wieder auf ein Niveau von 30% bzw. 8.668 ha ab. Ähnlich zu den vorangehenden Stationen Freiburg und Gerlingen überwiegt an der Station Heidelberg beim Siedlungsanteil die locker bebaute Siedlungsfläche, jedoch mit geringerem Abstand zu den Landnutzungstypen 4, 5, 7 und 8. Der Waldanteil liegt bei allen ausgewerteten Umkreisen bei über 40% (bei absteigender Radiengröße sind dies: 3.587 ha, 7.123 ha und 13.289 ha). Dabei sind Laub- und Mischwälder zu gleichen Teilen vertreten (17 bis 21% je nach Umkreis). Die Nadelwaldfläche liegt generell unter 10% (max. 2.199 ha). Neben Weinbauflächen sowie Obst- und Beerenobstbeständen existieren zugleich nennenswerte Anteile an offenen Wasser- bzw. Feuchtflächen (Abb. 5-31, a-b).



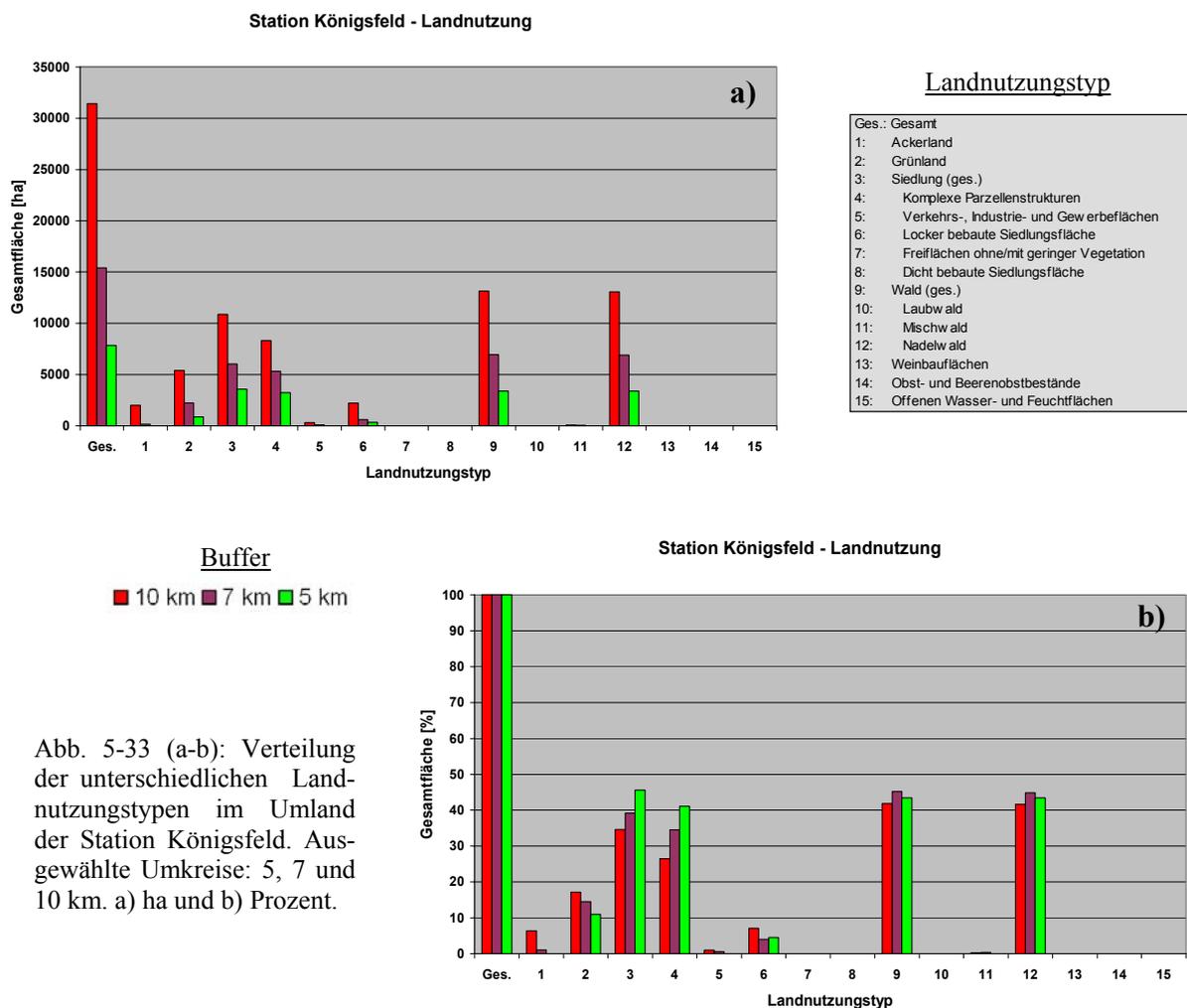
d) Station Karlsruhe

Wie die Station Heidelberg wird auch die Station Karlsruhe durch einen umfangreichen Ackerlandanteil, zwischen 16 bis 22% je nach Umkreis, charakterisiert. Zudem erreicht die Siedlungsfläche hohe Werte zwischen 40 bis 60% der Gesamtfläche. Für die Umkreise in absteigender Reihenfolge sind dies Flächensummen von 4.643 ha, 7.860 ha und 12.359 ha. Auch im Umland dieser Station überwiegt der Landnutzungstyp 6, wobei auch die Typen 7 und 8 mit minimalem Anteil vorhanden sind. Hinsichtlich des Waldes bedeckt dieser Flächenanteile zwischen 23 und 32%. Der Laubwaldanteil liegt vor den Misch- und Nadelwaldflächen (letztere mit max. 6% innerhalb des 10 km Radius). Weinbauflächen fehlen weitgehend, während Obst- und Beerenobstbestände sowie offene Wasser- bzw. Feuchtfelder in geringem Maße vorhanden sind (Abb. 5-32, a-b).



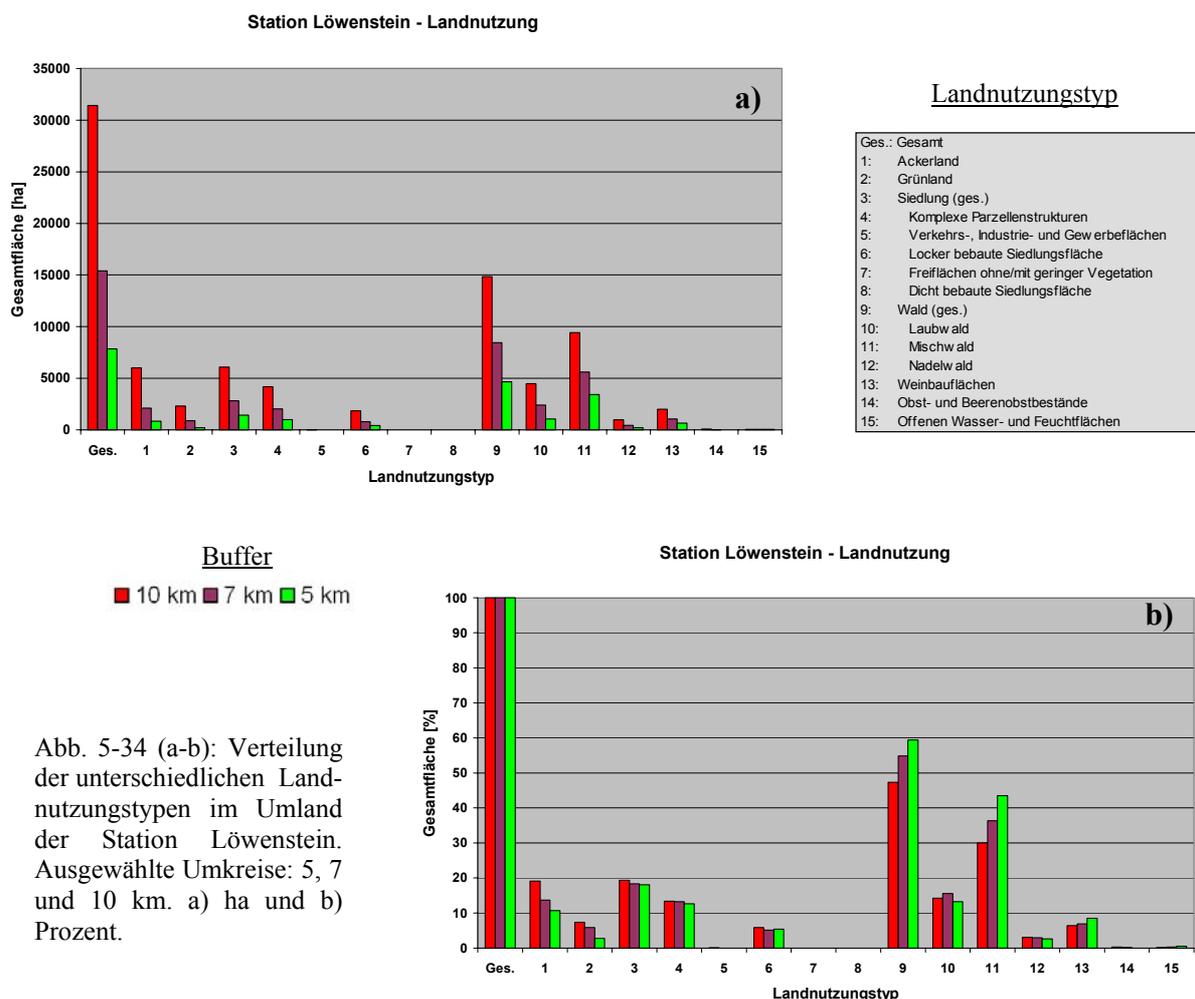
e) Station Königsfeld

Die Umgebung der Station Königsfeld wird insbesondere durch einen hohen Waldanteil geprägt. Dieser Landschaftstyp macht innerhalb der untersuchten Umkreise ca. 40% der Gesamtfläche aus. Es handelt sich dabei zu 99% um Nadelwald, den Landschaftstyp 12. Des Weiteren setzt sich die Siedlungsfläche zu einem hohen Anteil aus komplexen Parzellenstrukturen zusammen. Diese machen je nach gewähltem Radius zwischen 27 bis 41% der Gesamtfläche aus. Im Unterschied zu den vorangegangenen Stationen ist der Anteil des Landschaftstypen 6 mit 7% bzw. 2.221 ha extrem niedrig. Beim Vergleich von Acker- und Grünland zeigt sich, dass Königsfeld hauptsächlich von Landschaftstyp 2 umgeben ist. Mit abnehmendem Radius ergeben sich hierfür folgende Flächensummen: 5.394 ha, 2.235 ha und 862 ha). Innerhalb der ausgewählten Umkreise fehlen Weinbauflächen sowie Obst- und Beerenobstbestände weitgehend (Abb. 5-33, a-b).



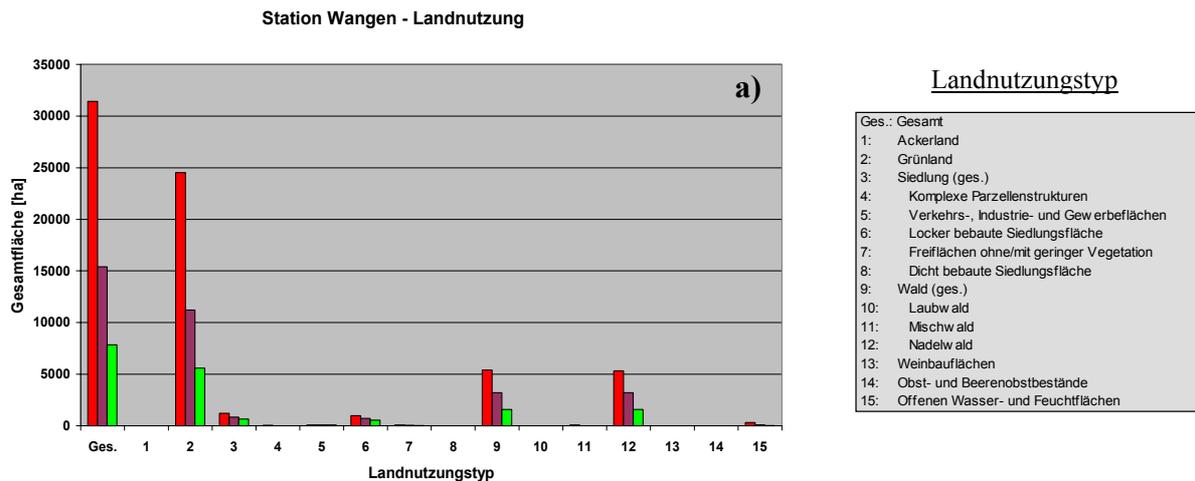
f) Station Löwenstein

Ähnlich zu Station Königsfeld wird auch das Umland der Station Löwenstein zu einem Großteil von Waldflächen bedeckt - jedoch im Unterschied zumeist Mischwald und Laubwald. In Abhängigkeit zum gewählten Umkreis stellt der Wald dabei zwischen 47 und 59% der Gesamtfläche. Nadelwälder sind hier nur untergeordnet vertreten. Hinsichtlich der Siedlungsflächen besteht auch in der Umgebung der Station Löwenstein ein klares Übergewicht auf komplexen Parzellenstrukturen - jedoch ist insgesamt der Siedlungsanteil hier weit geringer als im Umland der Station Königsfeld. Ebenso sind locker bebaute Siedlungsflächen weitaus seltener als an den Station a bis d. Des Weiteren sind Weinbauflächen relativ zahlreich. Sie entsprechen je nach gewähltem Radius 6 bis 8% der Gesamtfläche, das sind ca. 2.000 ha innerhalb des 10 km Umkreises. Bis auf einen 20%igen Flächenanteil von Ackerland innerhalb des 10 km Umkreises nehmen sowohl Acker- als auch Grünland zumeist ca. 10% der Gesamtfläche ein (Abb. 5-34, a-b).



g) Station Wangen

Die Station Wangen wird insbesondere durch ausgedehnte Grünlandflächen gekennzeichnet. Dieser Landschaftstyp erreicht innerhalb von jedem der drei untersuchten Umkreise Werte von über 70% der Gesamtfläche. Im Einzelnen sind dies 5.580 ha für den 5 km Radius, 11.228 ha für den 7 km Radius und 24.508 ha für den 10 km Radius. Zusätzlich ist die Umgebung des Standortes durch das nahezu vollständige Fehlen von Ackerland sowie den im Vergleich zu den restlichen Stationen extrem niedrigen Siedlungsanteil gekennzeichnet. Dabei reichen die Werte in absteigender Reihenfolge der Umkreise von 8 bis 4% und nehmen eine maximale Fläche von 1.210 ha innerhalb des 10 km Umkreises ein. Des Weiteren setzt sich die Siedlungsfläche zum Großteil aus Landschaftstyp 6, der locker bebauten Siedlungsfläche zusammen. Der Waldanteil schwankt an der Station Wangen um die 20% und besteht zumeist aus Nadelwald (Abb. 5-35, a-b).



Buffer

■ 10 km ■ 7 km ■ 5 km

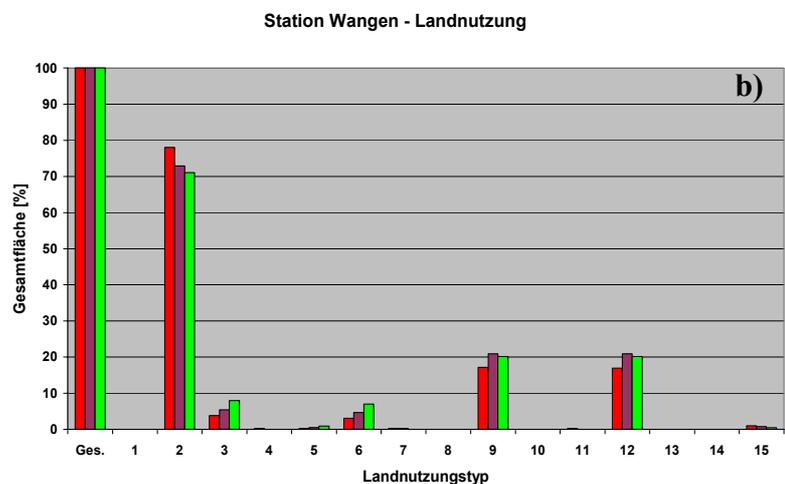


Abb. 5-35 (a-b): Verteilung der unterschiedlichen Landnutzungstypen im Umland der Station Wangen. Ausgewählte Umkreise: 5, 7 und 10 km. a) ha und b) Prozent.

5.6.2 Korrelation des Pollenflugs mit der Umgebungsvegetation

Bei der Korrelation der verschiedenen Landschaftstypen (Fläche in ha), sprich der Umgebungsvegetation der untersuchten Pollenstationen, mit den jeweiligen Pollenstationen wurden für verschiedene Wertepaare Korrelationskoeffizienten von $-0,4 \geq r \geq 0,4$ gefunden. Dabei erbrachte die Auswertung der Pollenflugdaten a) relative Pollensumme (pollen_rel) und b) absolute Pollensumme (pollen_sum) jedoch nur in einigen Fällen ein statistisch signifikantes Ergebnis (sig. $< 0,01$ bzw. $0,05$). Des Weiteren ergibt sich bezüglich der Vorzeichen der Wertepaare für $r \geq |0,4|$, unabhängig von ihrer Signifikanz, eine zumeist klare Gliederung der verschiedenen Landschaftstypen inklusive ihrer Untergruppen. Dies zeigt sich insofern, als dass die einzelnen Typen auch in ihren Vorzeichen weitgehend über alle drei untersuchten Umkreise hinweg übereinstimmen. So korreliert beispielsweise Ackerland überwiegend positiv mit den untersuchten Taxa. Eine Ausnahme ist bei Landschaftstyp 1 dabei unter anderem PLAN. Landschaftstyp 2, Gründland, zeigt hinsichtlich der Vorzeichen die stärksten Unterschiede. Sowohl die gesamte Siedlungsfläche als auch ihre Untergruppen sind überwiegend negativ mit den einzelnen Taxa korreliert. Ausgenommen ist hier beispielsweise ACER. Dagegen sind die gesamte Waldfläche und die Untergruppen Laub- und Mischwald überwiegend positiv korreliert (ausgenommen z.B. PLAN), während der Nadelwald mit sämtlichen Taxa negativ in Zusammenhang steht. Die Weinbauflächen stehen indessen wieder in positivem Zusammenhang zu den meisten Taxa, während Obst- und Beerenobstbestände mit Ausnahme von SECA und TILI negativ korrelieren. Die offenen Wasser- und Feuchtflächen wurden auf Grund der geringen Datenbasis nicht bei den Korrelationen berücksichtigt (Tabelle im Anhang).

Nachfolgend sind sämtliche signifikanten Korrelationen im Einzelnen aufgelistet:

Die relative Pollensumme von FAGU korreliert innerhalb des 7 km Umkreises positiv (sig. $< 0,05$) mit Ackerland sowie innerhalb des 5 und 7 km Umkreises mit Laubwald (sig. $< 0,05$ bzw. $0,01$). Zusätzlich steht der Mischwaldanteil aller drei Umkreise in positivem (sig. $< 0,05$) Zusammenhang mit der absoluten Pollensumme (Abb. 5-36, a-f).

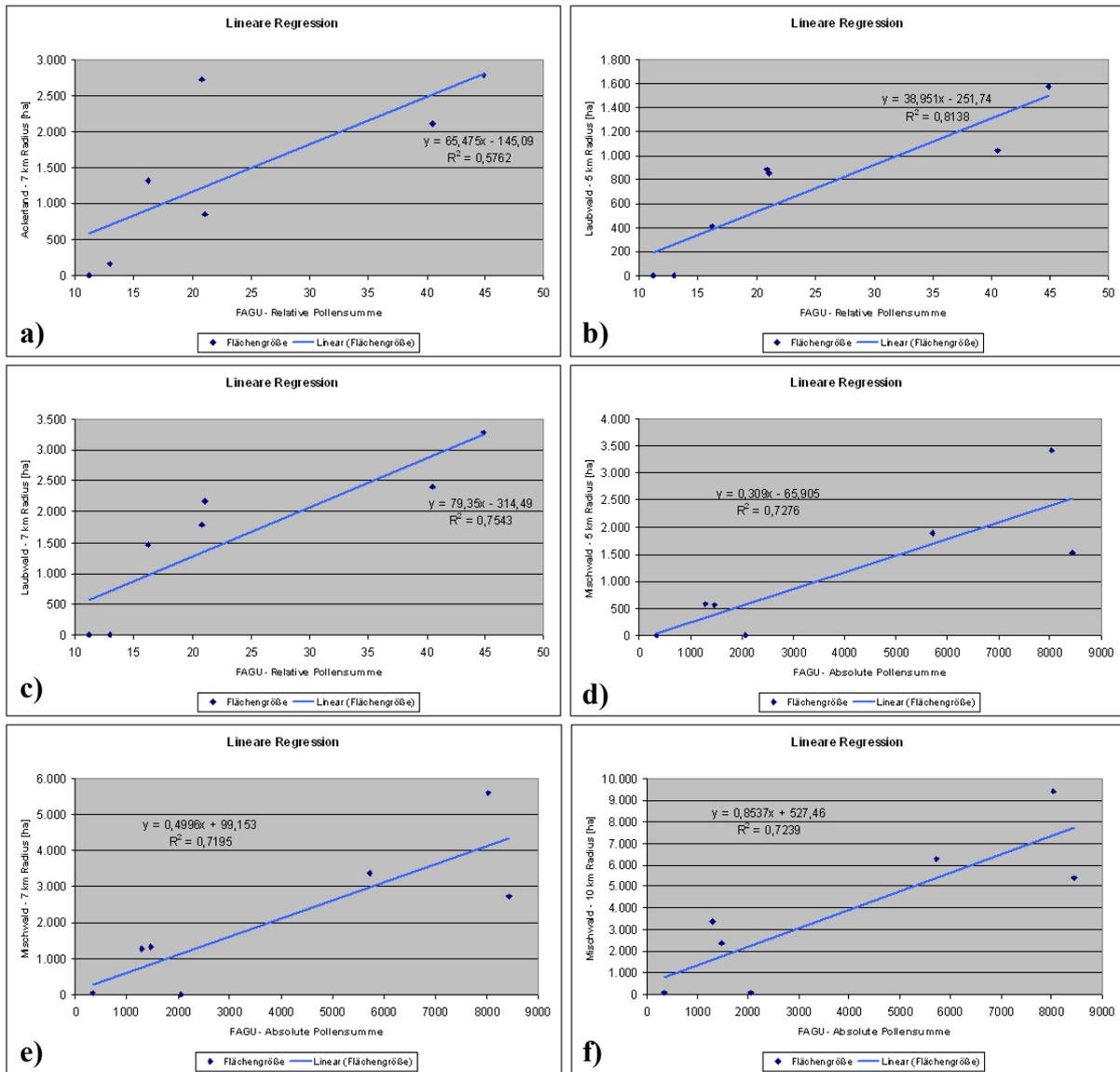
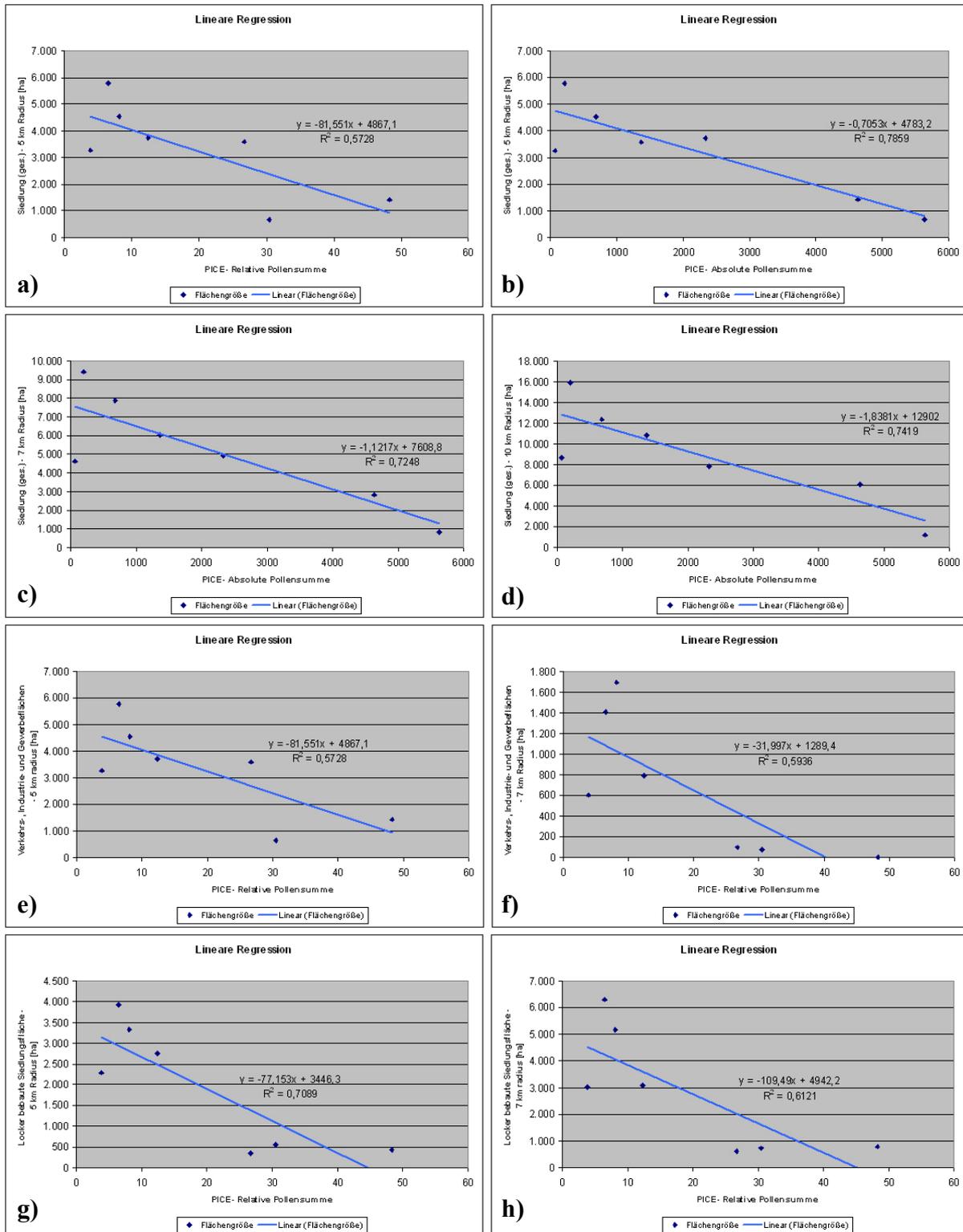


Abb. 5-36 (a-f): Lineare Regression von FAGU mit Ackerland, Laub- und Mischwald. Die Korrelationen sind auf dem Niveau von 0,05 bzw. 0,01 zweiseitig signifikant. a) Relative Pollensumme und 7 km Umkreis Ackerland, b) Relative Pollensumme und 5 km Umkreis Laubwald, c) Relative Pollensumme und 7 km Umkreis Laubwald, d) Absolute Pollensumme und 5 km Umkreis Mischwald, e) Absolute Pollensumme und 7 km Umkreis Mischwald, f) Absolute Pollensumme und 10 km Umkreis Mischwald.

PICE korreliert innerhalb des 5 km Umkreises in seiner relativen Pollensumme (sig. < 0,05) mit Siedlung (gesamt) und in seiner absoluten Pollensumme für alle drei Umkreise (sig. < 0,05 bzw. 0,01). Des Weiteren besteht ein signifikanter Zusammenhang (sig. < 0,05) zwischen den Verkehrs-, Industrie- und Gewerbeflächen des 5 und 7 km Umkreises und der relativen Pollensumme von PICE. Zusätzlich korreliert PICE in seiner relativen Pollensumme (sig. < 0,05) mit der locker bebauten Siedlungsfläche aller drei Umkreise sowie in seiner

absoluten Pollensumme mit dem 10 km Umkreis. Alle genannten Korrelationen sind negativ (Abb. 5-37, a-j).



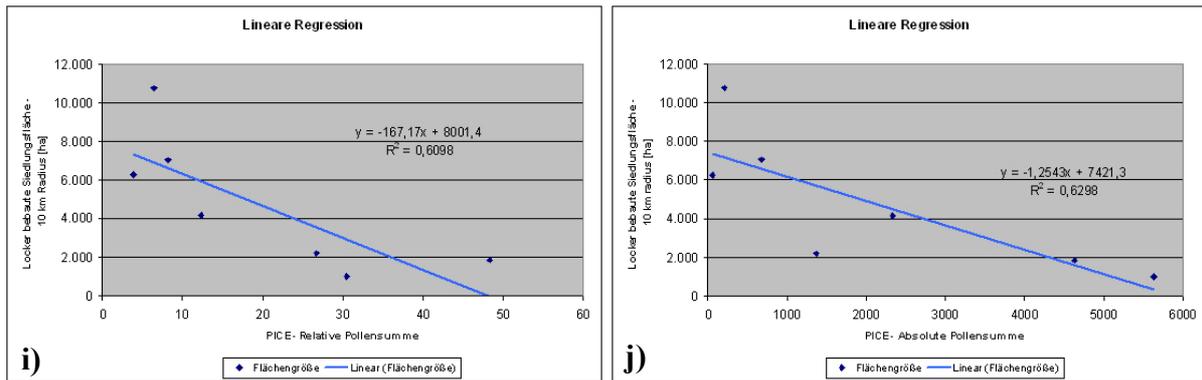


Abb. 5-37 (a-j): Lineare Regression von PICE mit Siedlung (gesamt), Verkehrs-, Industrie- und Gewerbeflächen und locker bebauter Siedlungsfläche. Die Korrelationen sind auf dem Niveau von 0,05 oder 0,01 zweiseitig signifikant. a) Relative Pollensumme und 5 km Umkreis Siedlung (gesamt), b) Absolute Pollensumme und 5 km Umkreis Siedlung (gesamt), c) Absolute Pollensumme und 7 km Umkreis Siedlung (gesamt), d) Absolute Pollensumme und 10 km Umkreis (gesamt), e) Relative Pollensumme und 5 km Umkreis Verkehrs-, Industrie-, und Gewerbeflächen, f) Absolute Pollensumme und 7 km Umkreis Verkehrs-, Industrie- und Gewerbeflächen, g) Relative Pollensumme und 5 km Umkreis locker bebaute Siedlungsfläche, h) Relative Pollensumme und 7 km Umkreis locker bebaute Siedlungsfläche, i) Relative Pollensumme und 10 km Umkreis locker bebaute Siedlungsfläche, j) Absolute Pollensumme und 10 km Umkreis locker bebaute Siedlungsfläche.

Sowohl die relative als auch die absolute Pollensumme von PINU korrelieren positiv (sig. < 0,05) mit dem Laubwald des 5 km Umkreises (Abb. 5-38, a-b).

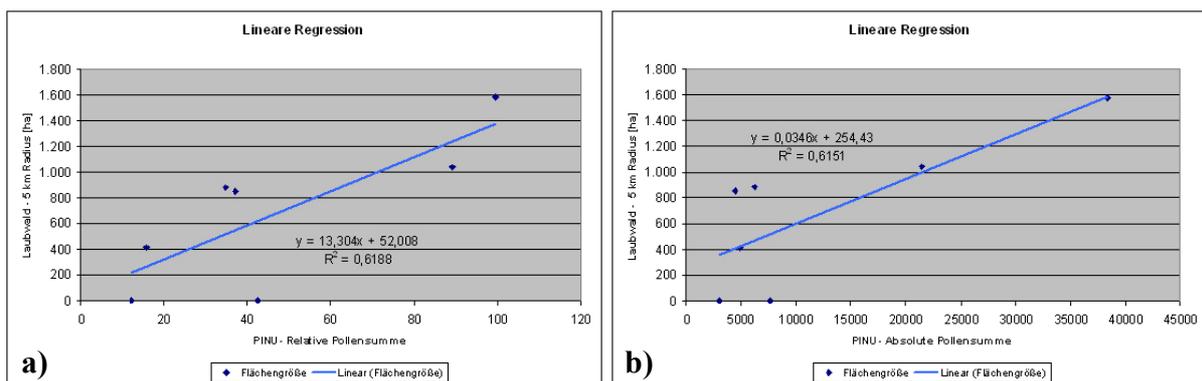


Abb. 5-38 (a-b): Lineare Regression von PINU mit Laubwald. Die Korrelationen sind auf dem Niveau von 0,05 zweiseitig signifikant. a) Relative Pollensumme und 5 km Umkreis, b) Absolute Pollensumme und 5 km Umkreis.

PLAN korreliert in seiner absoluten Pollensumme negativ (sig. < 0,05) mit der gesamten Siedlungsfläche des 7 und 10 km Umkreises (Abb. 5-39, a-b).

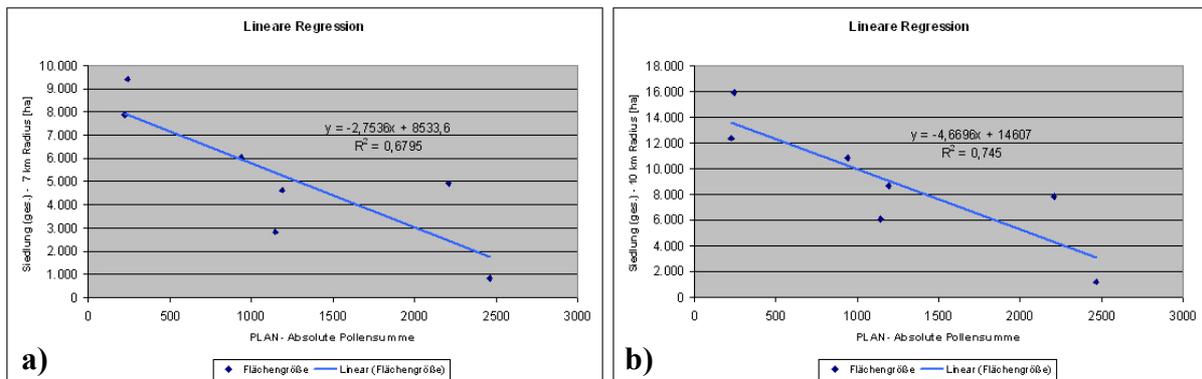


Abb. 5-39 (a-b): Lineare Regression von PLAN mit Siedlung (gesamt). Die Korrelationen sind auf dem Niveau von 0,05 zweiseitig signifikant. a) Absolute Pollensumme und 7 km Umkreis, b) Absolute Pollensumme und 10 km Umkreis.

Für POAC besteht ein positiver Zusammenhang (sig. < 0,05) zwischen der relativen Pollensumme und der gesamten Waldfläche des 5 und 7 km Umkreises (Abb. 5-40, a-b).

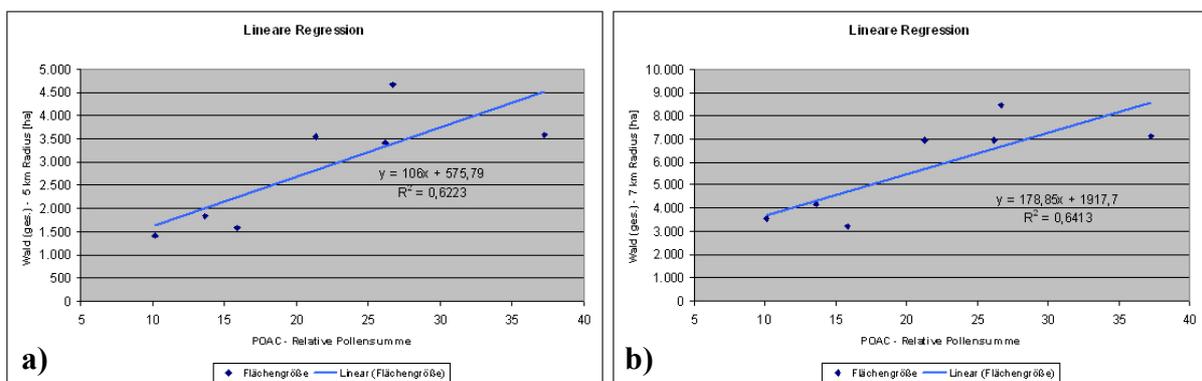


Abb. 5-40 (a-b): Lineare Regression von POAC mit Wald (gesamt). Die Korrelationen sind auf dem Niveau von 0,05 zweiseitig signifikant. a) Relative Pollensumme und 5 km Umkreis, b) Relative Pollensumme und 7 km Umkreis.

Die relative Pollensumme von QUER korreliert positiv (sig. < 0,05) mit dem Laubwald des 5 und 7 km Umkreises (Abb. 5-41, a-b).

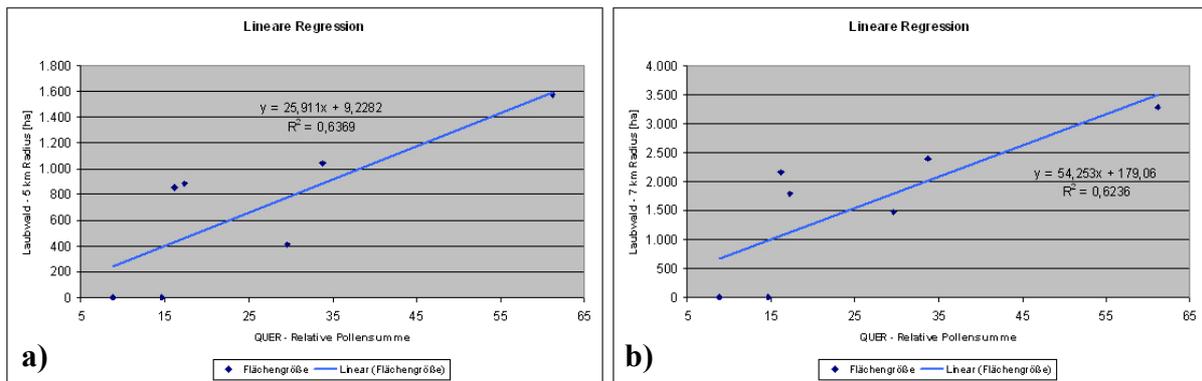
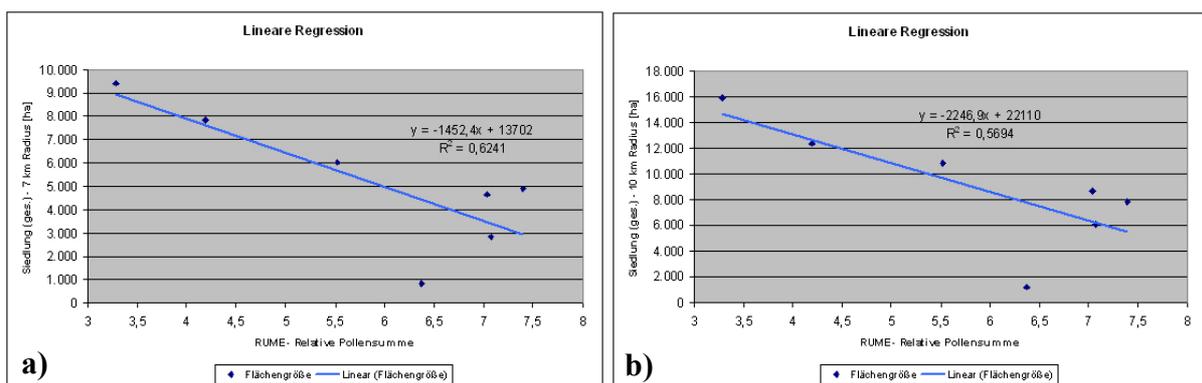


Abb. 5-41 (a-b): Lineare Regression von QUER mit Laubwald. Die Korrelationen sind auf dem Niveau von 0,05 zweiseitig signifikant. a) Relative Pollensumme und 5 km Umkreis, b) Relative Pollensumme und 7 km Umkreis.

Sowohl die relative als auch die absolute Pollensumme von RUME korrelieren negativ (sig. < 0,05) mit der gesamten Siedlungsfläche des 7 und 10 km Umkreises. Des Weiteren bestehen negative Zusammenhänge (sig. < 0,05) zwischen den Verkehrs-, Industrie- und Gewerbeflächen des 10 km Umkreises sowie zwischen der dicht bebauten Siedlungsfläche und sämtlichen drei Umkreisen (Abb. 5-42, a-h).



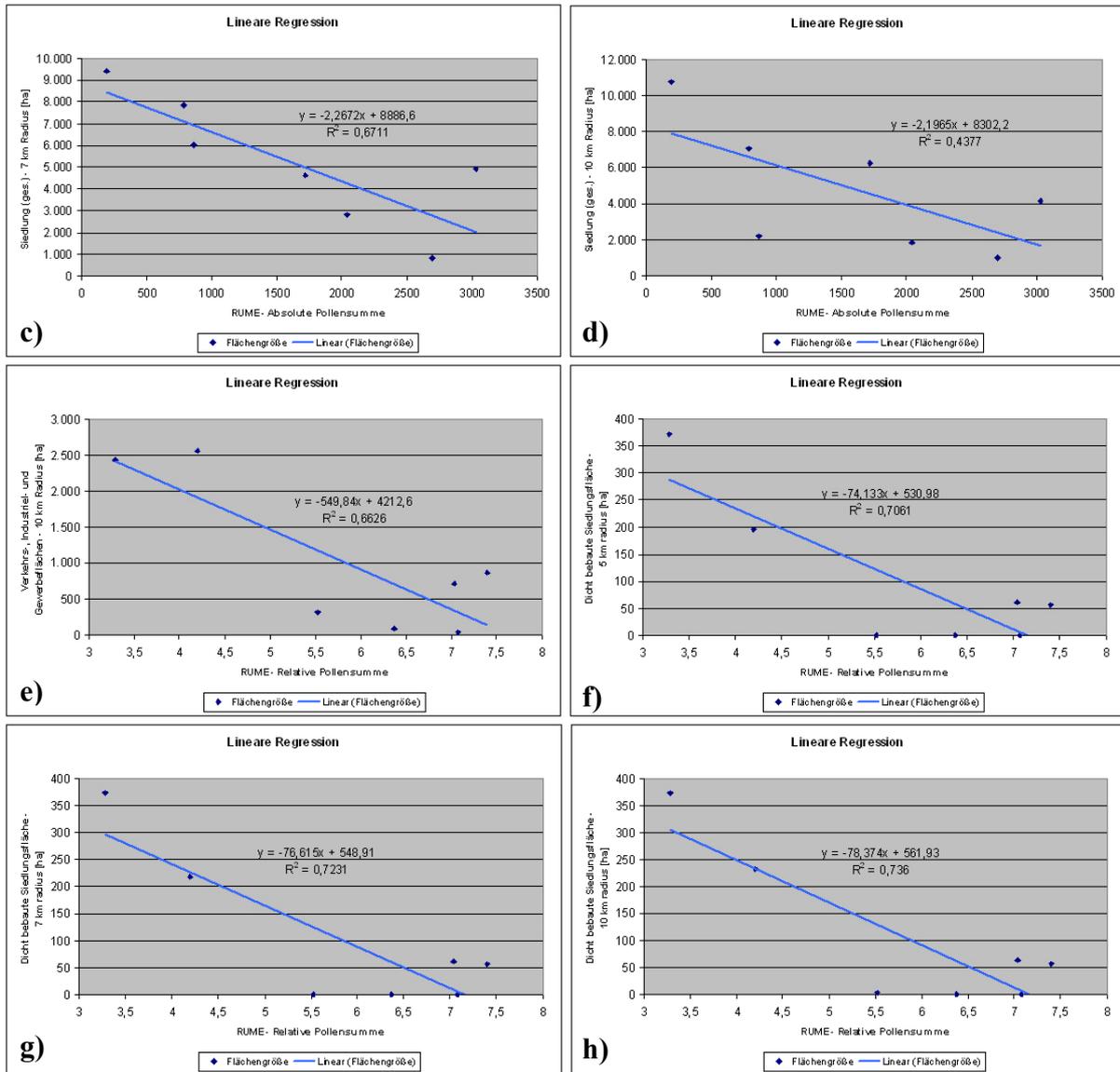


Abb. 5-42 (a-h): Lineare Regression von RUME mit Siedlung (gesamt), Verkehrs-, Industrie- und Gewerbeflächen und dicht bebauter Siedlungsfläche. Die Korrelationen sind auf dem Niveau von 0,05 zweiseitig signifikant. a) Relative Pollensumme und 7 km Umkreis Siedlung (gesamt), b) Relative Pollensumme und 10 km Umkreis Siedlung (gesamt), c) Absolute Pollensumme und 7 km Umkreis Siedlung (gesamt), d) Absolute Pollensumme und 10 km Umkreis Siedlung (gesamt), e) Relative Pollensumme und 10 km Umkreis Verkehrs-, Industrie- und Gewerbeflächen, f) Relative Pollensumme und 5 km dicht bebaute Siedlungsfläche, g) Relative Pollensumme und 7 km Umkreis dicht bebaute Siedlungsfläche, h) Relative Pollensumme und 10 km Umkreis dicht bebaute Siedlungsfläche.

Für SALI besteht ein negativer Zusammenhang (sig. < 0,05) zwischen der relativen Pollensumme und den Freiflächen ohne/mit geringer Vegetation des 5 km Umkreises. Des Weiteren korreliert die relative Pollensumme von SALI positiv (sig. < 0,05) mit der Laubwaldfläche des 7 km Umkreises. Die absolute Pollensumme steht zudem mit dem Mischwaldanteil des 10 km Umkreises in positivem Zusammenhang (sig. < 0,05) (Abb. 5-43, a-c).

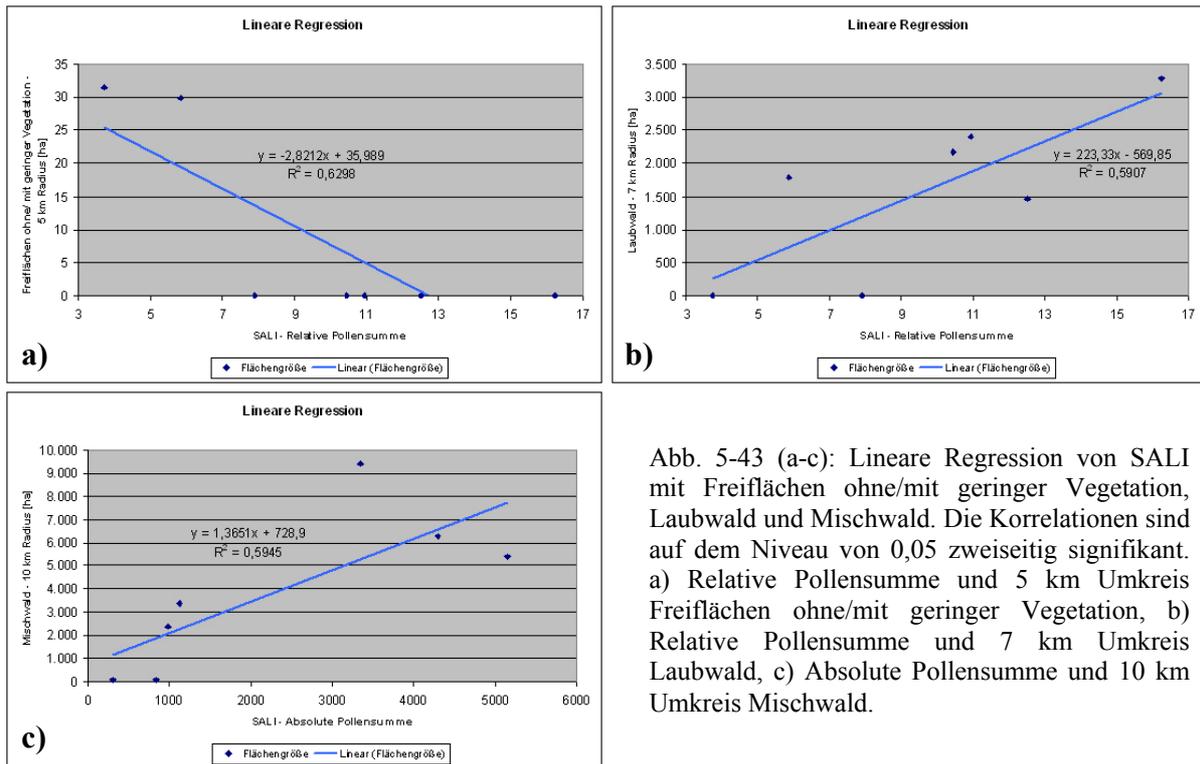


Abb. 5-43 (a-c): Lineare Regression von SALI mit Freiflächen ohne/mit geringer Vegetation, Laubwald und Mischwald. Die Korrelationen sind auf dem Niveau von 0,05 zweiseitig signifikant. a) Relative Pollensumme und 5 km Umkreis Freiflächen ohne/mit geringer Vegetation, b) Relative Pollensumme und 7 km Umkreis Laubwald, c) Absolute Pollensumme und 10 km Umkreis Mischwald.

Die absolute Pollensumme von SECA korreliert innerhalb aller drei untersuchten Umkreise positiv (sig. < 0,05) mit den Mischwaldanteilen. Ebenso korreliert die absolute Pollensumme des Taxons positiv (sig. < 0,01) mit den Weinbaubereichen aller drei Umkreise. Ein positiver Zusammenhang (sig. < 0,05) besteht zudem zwischen der relativen Pollensumme und den Obst- und Beerenobstbeständen des 5 und 7 km Umkreises (Abb. 5-44, a-h).

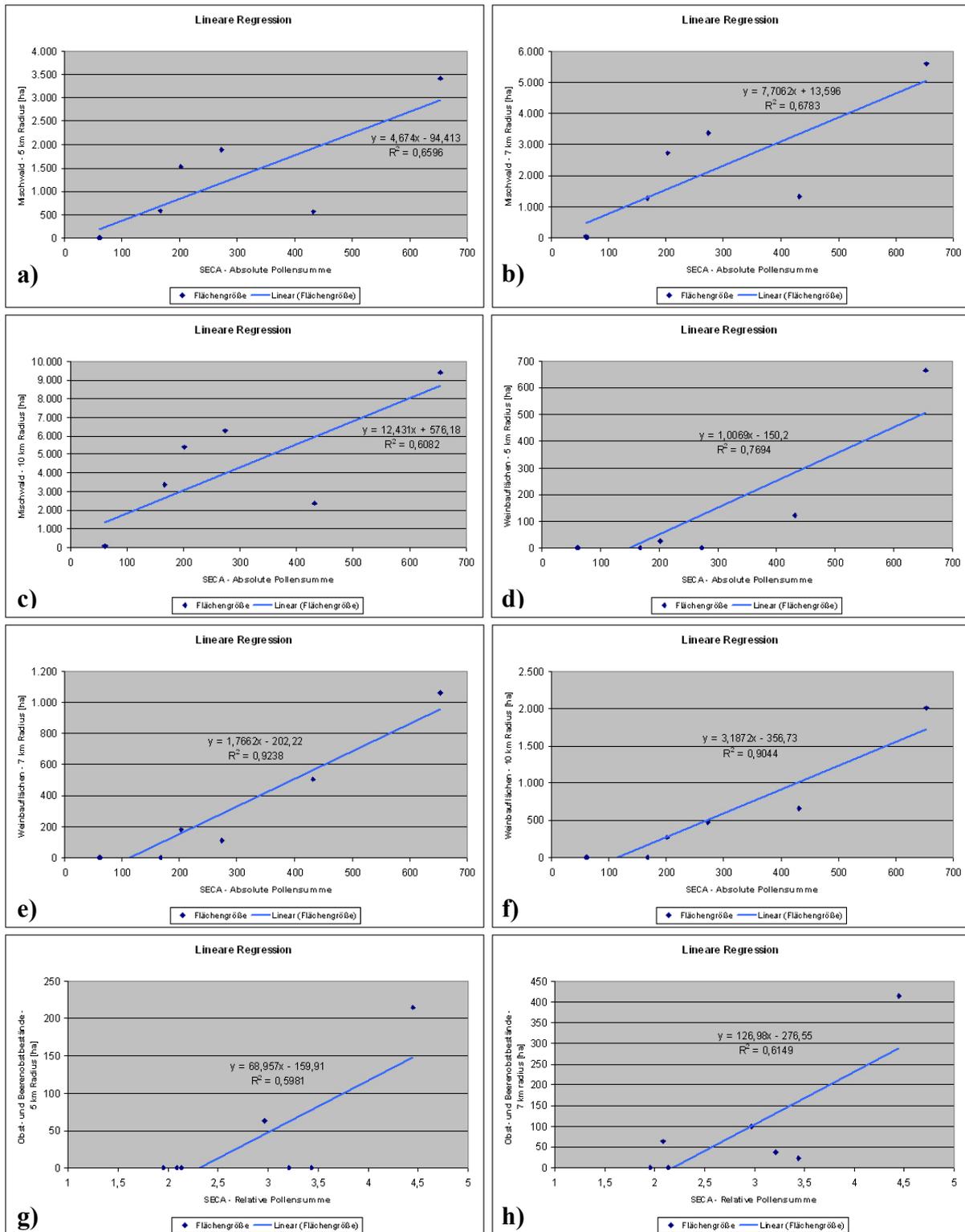


Abb. 5-44 (a-h): Lineare Regression von SECA mit Mischwald, Weinbauflächen und Obst- und Beerenobstbeständen. Die Korrelationen sind auf dem Niveau von 0,05 bzw. 0,01 zweiseitig signifikant. a) Absolute Pollensumme und 5 km Umkreis Mischwald, b) Absolute Pollensumme und 7 km Umkreis Mischwald, c) Absolute Pollensumme und 10 km Umkreis Mischwald, d) Absolute Pollensumme und 5 km Umkreis Weinbauflächen, e) Absolute Pollensumme und 7 km Umkreis Weinbauflächen, f) Absolute Pollensumme 10 km Umkreis Weinbauflächen, g) Relative Pollensumme und 5 km Umkreis Obst- und Beerenobstbestände, h) Relative Pollensumme und 7 km Umkreis Obst- und Beerenobstbestände.

Die relative Pollensumme von URTI korreliert positiv (sig. < 0.05) mit der Ackerlandfläche des 7 km Umkreises (Abb. 5-45).

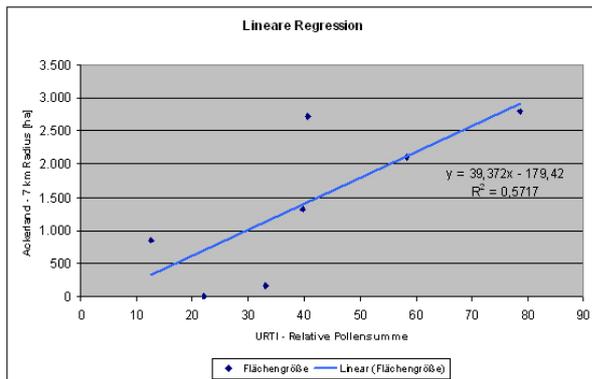


Abb. 5-45: Lineare Regression von URTI mit Ackerland. Die Korrelation ist für die relative Pollensumme und den 7 km Umkreis auf dem Niveau von 0,05 zweiseitig signifikant.

6 Diskussion und Schlussfolgerung

6.1 Diskussion

Die Anwendung statistischer Methoden zum Zwecke der Ernteertragsvorhersage sowie der Quantifizierung phänologischer Veränderungen in Abhängigkeit bzw. Bezug zum „Globalen Wandel“ wurde bereits in zahlreichen früheren Studien durchgeführt. So behandelt beispielsweise eine der frühesten der genannten Studien, vorgestellt von MAY (1961), das Vorhersagepotential von Knospen von Weinreben bzw. deren Anzahl für die Weinvarietät Sultanine. Die Korrelation des atmosphärischen Pollengehalts und der Ernteertragsdaten - insbesondere von Wein - mit dem Ziel der Ertragsvorhersage wurde dann beginnend in den 1980er Jahren zum integralen Bestandteil mehrerer Forschungsprojekte. Dabei versuchten COUR & VAN CAMPO (1980), COUR & VILLEMUR (1985a, b) und BESSELAT (1987) in ihren jeweiligen Studien Zusammenhänge zwischen dem Pollenflug von Nutzpflanzen und der Ernte der entsprechenden Pflanzen zu finden. Im Unterschied hierzu bringt die vorliegende Studie zum ersten Mal Pollen von nicht zu den Nutzpflanzen zählenden Taxa in Beziehung zu Ernteertragsparametern einer Nutzpflanze, nämlich Wein, mit dem Ziel einer entsprechenden Vorhersage. Des Weiteren zogen die früheren Studien neben dem Ernteertrag selbst keine weiteren Ertragsparameter in Betracht. Insgesamt stehen die meisten der sich auf Pollenuntersuchungen beziehenden Studien zu einem Großteil mit allergologischen Fragestellungen im Zusammenhang, wie beispielsweise bei CAIAFFA et al. (1993), GALAN et al. (1995), BURR (1999), EMBERLIN (1999, 2002), MUNUERA GINER & GARCIA SELLES (2002), VEGA-MARAY et al. (2003), COTOS-YAÑEZ (2004) und PUC & PUC (2004).

Hinsichtlich der Phänologie stellen insbesondere die Studien von SCHNELLE (1965, 1966, 1981, 1993) wichtige Grundlagen für die europäischen Regionen dar. Bezüglich der phänologischen Studien von Wein ist speziell die Arbeit von LÜERS (2003) mit Blick auf die Mittelmosel zu erwähnen. Dabei behandelt seine Studie im Unterschied zu der vorliegenden Untersuchung mit Betrachtung von sechs verschiedenen Weinsorten lediglich das Verhalten bzw. die Veränderungen von Riesling. Zudem präsentiert die vorliegende Studie einen Ansatz hinsichtlich der Verwendung von Pollenflugdaten zur Feststellung phänologischer Veränderungen in der Vegetation. Über einen bestimmten beobachteten Zeitabschnitt hinweg ist dies die Erkennung von Veränderungen innerhalb des Pollenflugs. Ein ähnlicher Ansatz wurde im Jahr 2002 von EMBERLIN et al. beschrieben, welcher regionale Variationen

innerhalb der Graspollensaison des Vereinigten Königreiches analysiert. Des Weiteren untersuchte EMBERLIN et al. (2002) die Reaktion des Blühbeginns von *Betula* auf die jüngsten Veränderungen der Frühjahrstemperaturen quer durch Europa. Für die Schweiz beschäftigten sich RUTISHAUSER & STUDER (2007) mit dem Einfluss des Klimawandels auf die Frühlingsphänologie.

Untersuchungen mit Bezug zu aus Pollenfallen stammenden rezenten Pollenflugdaten und ihrer Beziehung zur Umgebungsvegetation sind eher selten. Jedoch existieren einige Studien, welche sich mit der Auswertung von Oberflächenbodenproben und einer möglichen Rekonstruktion bzw. Verbindung mit der Umgebungsvegetation beschäftigen. Im Jahre 2000 analysierten VINCENS et al. moderne Boden- und Streuproben aus Südostkamerun. Nachfolgend im Jahre 2001 präsentierten DAVIES & FALL ihre Studie über den Pollenniederschlag und dessen Beziehung zur Vegetation an einem Standort in Zentraljordanien. CONNOR et al. (2004) untersuchten rezenten Pollen sowie die Vegetation entlang eines Höhenprofils in Südgeorgien (Kaukasusregion). Um Vegetationseinheiten zu rekonstruieren bzw. zu definieren, bearbeiteten EBNER (2005) und KRIEGEL (2006) rezente Pollenspektren der brasilianischen Planaltoregion. Zur Bestimmung der quantitativen Beziehung zwischen Pollen und der ursprünglichen Vegetation analysierten XU et al. (2006) zahlreiche Oberflächenpollenproben verschiedener Einheiten in Nordchina.

6.1.1 Interpretation der mit den Pollen-, Klima- und Weindaten durchgeführten einfachen und multiplen linearen Regressionen

I. Korrelationen der Pollen- und Klimadaten

Insgesamt zeigen die Korrelationen zwischen den 25 ausgewählten Taxa sowie den Klimadaten der näheren Umgebung der Pollenstationen eher geringe statistische Zusammenhänge. Für die untersuchten Zeitabschnitte resultieren dabei zudem für alle ausgewerteten Stationen klare Variationen innerhalb der jährlichen Pollensumme der beobachteten Taxa. RODRIGUEZ-RAJO et al. (2005) führen beispielsweise die in ihrer Studie beobachteten Schwankungen innerhalb der *Quercus*-bestäubung auf meteorologische, biotische und genetische Faktoren zurück. Für die gemäßigten Zonen sehen PULS & VON WAHL (1989) dafür das gemäßigte Klima mit seinen starken jährlichen

Temperaturunterschieden sowie einen übergeordneten biologischen Rhythmus verantwortlich. In der vorliegenden Studie zeigen sich jedoch für die meteorologischen Parameter die höchsten Korrelationen mit dem atmosphärischen Pollengehalt in Abhängigkeit zu den betrachteten Taxa und den jeweiligen Stationen. Eine von RODRIGUEZ-RAJO et al. (2005) an zwei spanischen Lokalitäten durchgeführte Studie an *Quercus* resultierte mit den höchsten Korrelationen für die Maximaltemperatur und die thermischen Schwankungen. Eine andere von GARCIA-MOZO et al. (2002) durchgeführte spanische Studie kennzeichnet die Temperatur als den Faktor, der die *Quercus*pollenkonzentration der untersuchten Regionen am meisten beeinflusst. Im Unterschied dazu ist dies für die Mittelmeergebiete der Niederschlag und die Maximaltemperatur. Bisher haben bereits zahlreiche Autoren den Einfluss der Temperatur auf das Blühverhalten und damit den Pollenflug aufgezeigt, so beispielsweise auch JATO et al. (2002), GARCIA-MOZO et al. (2002) und RODRIGUEZ-RAJO et al. (2005). Die vorliegende Studie bestätigt, dass bezüglich der untersuchten Parameter insbesondere die Maximal- und die Minimaltemperatur den stärksten Zusammenhang zum Pollenflug besitzen - mit zudem zumeist positivem Vorzeichen. Dagegen ist der Bezug der Niederschlagsdaten zu den Pollendaten niedrig und zumeist negativ. RODRIGUEZ-RAJO et al. (2005) beschreiben den negativen Einfluss des Regens auf die Pollenverteilung in der Luft als ein globales Phänomen, welches in mehreren aeropalynologischen Untersuchungen auftritt. Nach TORMO et al. (2001) ist dies zum einen auf der resultierenden Pollensedimentation begründet; zum anderen in dem mit dem Niederschlag einhergehenden Anstieg an relativer Feuchte. Dieses Ergebnis wird auch anhand der vorliegenden Studie bekräftigt. In diesem Zusammenhang berichten PULS & VON WAHL (1991) in ihrer Studie, die sich mit dem Einfluss des Niederschlags auf den Pollengehalt der Atmosphäre auseinandersetzt, über einen abrupten Anstieg der Pollenkonzentration, welcher in kurzzeitigem Abstand auf das Niederschlagsereignis folgt. Dieser Anstieg könnte etwaigen, damit in Zusammenhang stehenden, Turbulenzen anzurechnen sein, welche die Pollenfracht in Richtung Erdoberfläche „drücken“. Faktisch ist die Luft in den auf das Ereignis folgenden Stunden nahezu pollenfrei.

Im Allgemeinen resultieren die Korrelationen der Windgeschwindigkeit mit den Pollendaten in niedrigen Korrelationskoeffizienten mit keiner oder geringer Signifikanz. Des Weiteren variieren diese stark in ihrem jeweiligen Vorzeichen. RODRIGUEZ-RAJO et al. (2005) beschreiben in ihrer Studie einen überwiegend negativen Zusammenhang der Windgeschwindigkeit und des Pollenfluges. Dies könnte ein Anzeiger dafür sein, dass die in den einzelnen Pollenfallen akquirierten Pollenkörner hauptsächlich aus der näheren

Umgebung der Fallenstandorte herrühren. Gemäß der Untersuchung von TORMO et al. (2001), welche sich mit verschiedenen *Plantago*-Arten auseinandersetzt, sind es insbesondere die Luftbewegungen, welche den Transport und die Verteilung der Pollen bestimmen bzw. kontrollieren. Dies impliziert, dass der Wind insgesamt die Partikel verteilt und wegträgt, die sich ansonsten potentiell in der Region bzw. den dort aufgestellten Pollenfallen akkumulieren könnten.

Auf einfachen und multiplen linearen Regressionen basierende meteorologische Modelle erklären an den meisten der untersuchten Stationen um die 20% der Variabilität des Pollenflugs mit den dabei zumeist höchsten Werten für *Urtica*. Bezüglich der Stärke der Korrelationen stimmen die Ergebnisse der einfachen linearen Regressionen weitgehend mit den Werten der Studie von OBRĘBSKA-STARKELOWA (1994), welche den Effekt der Wetter- und Klimabedingungen auf Pollenflug in Krakau/Polen untersucht, überein. Dennoch kann die Verteilung der höchsten Korrelationen nicht einfach auf die einzelnen korrespondierenden Taxa übertragen werden. Zudem führte die Miteinbeziehung mehrerer Klimaparameter zu keiner signifikanten Verbesserung der Vorhersagemodelle. Diesbezüglich beschreiben RODRÍGUEZ-RAJO et al. (2005), welche in ihrer Studie ebenfalls mehrere meteorologische Parameter berücksichtigen, auf der Iberischen Halbinsel für *Quercus*-Pollens Werte von bis zu 45%. Dementsprechend geben die Autoren an, dass meteorologische Parameter allein lediglich ein geringes Vorhersagepotential für den Pollenflug besitzen. Diese Aussage kann durch die Ergebnisse der vorliegenden Studie gestützt werden.

II. Korrelationen der Wein- und Klimadaten

Der Ansatz der Korrelation von Wein- und Klimadaten führte zu einigen interessanten Ergebnissen. Während der Zusammenhang zwischen Mostgewicht und Klimadaten eher gering ist, ergeben sich zwischen den Klimadaten einerseits sowie den Ertragsparametern Öchslegrade und Säuregehalt andererseits insgesamt höhere Korrelationskoeffizienten. Im Jahre 1986 führten LAUER & FRANKENBERG eine ähnliche Studie durch, welche sich dabei jedoch mit einer möglichen Rekonstruktion von Klimata anhand der Zeitreihen von Weinqualität und -Quantität auseinandersetzt. Im Rahmen dieser Untersuchung wurden diesbezüglich verschiedene statistische Modelle vorgestellt. Die auf einfachen linearen und multiplen Regressionen basierenden Transferfunktionen erklären um die 51% der Varianz für

das Mostgewicht und ca. 40% der Varianz für die Öchslegrade. In der vorliegenden Studie werden über die generierten Modelle insgesamt Werte zwischen 30% bis 60% erreicht, wobei die Schwankungen auf die einzelnen Weinvarietäten und Stationen zurückzuführen sind. Die Anwendung der multiplen Regression führte teilweise zur Erklärung von bis zu 80% der gesamten Varianz. Dabei bleibt festzuhalten, dass bei sämtlichen statistischen Anwendungen sowie den daraus gewonnenen Zusammenhängen der Stichprobenumfang berücksichtigt werden muss. Bereits HANUS & AIMILLER (1978) benennen in ihrer Studie bezüglich der Erntertragsvorhersage verschiedener Getreidesorten mit Hilfe von Wetterdaten das generelle Problem eines zu geringen Datenumfangs. Basierend auf diesen Ausführungen wurde die hier vorgestellte Studie mit dem Modul der schrittweisen Methode durchgeführt, welche die in die Gleichungen eingehenden Parameter mit Bezug zu den vorhandenen Freiheitsgraden limitiert. Mit Blick auf das ausgewählte statistische Verfahren der Datenkorrelation konnten hier die Temperatur und zu einem weit geringeren Anteil die Windgeschwindigkeit sowie die Sonnenscheinstunden als entscheidende Einflussgrößen extrahiert werden. Dagegen steht der Niederschlag weitgehend in keinem signifikanten Zusammenhang zu den untersuchten Varietäten.

III. Korrelation der Pollen- und Weindaten

Die mögliche Korrelation des atmosphärischen Pollengehalts von Nutzpflanzen mit den jeweiligen Arten - insbesondere von Wein - und dem Ziel einer Ertragsprognostizierung wurde beginnend in den 1980er Jahren zum integralen Bestandteil zahlreicher Forschungsstudien. So veröffentlichten beispielsweise COUR & VAN CAMPO (1980a, b) eine Arbeit über die Erntertragsvorhersage auf Basis des Pollengehalts der Atmosphäre. BESSELAT (1987) führte zu diesem Thema eine Studie im französischen Departement Gironde durch. Zur Vorhersage des Erntertrags von Wein enthält die multiple lineare Regressionsgleichung sowohl Parameter zu Temperatur, Sonneneinstrahlung und mittleren Windgeschwindigkeiten als auch Pollenemissionswerte. PANIGAI & MONCOMBLE (1988) präsentierten die ersten Ergebnisse ihrer „Pollenfangmethode“ mit einer 10jährigen Datenreihe in Bezug auf die Erntertragsvorhersage innerhalb der französischen Champagnerregion. Zusätzlich zeigt die nun vorliegende Studie, welche den Pollenflug zahlreicher nicht zu den Nutzpflanzen zählender Taxa mit ausgewählten Weinparametern korreliert, dass eine Vorhersage dieser Parameter über diese Methode grundlegend möglich

ist. Die Analyse zeigt jedoch auch, dass in Abhängigkeit zu den einzelnen untersuchten Weinvarietäten und Pollenstationen unterschiedliche Korrelationsmuster resultieren. Für die einfachen linearen Regressionen wurden hier für r Werte zwischen 0,5 und 0,9 berechnet. Fünf- bis elfjährige Studien von BESSELAT & COUR (1990, 1993) führten in Abhängigkeit zu den drei beobachteten Weinbergen (Südfrankreich, Bordeaux und Champagne) zu einer durchschnittlichen Disparität zwischen Vorhersage und aktuellem Ertrag von ca. 2 bis 5%. Verglichen mit den „klassischen“ phänologischen Methoden führt dieser Ansatz in Abhängigkeit vom Untersuchungsgebiet zu einer um den Faktor 2 bis 13 verbesserten Vorhersagegenauigkeit. Eine andere, in der französischen Charenteregion von DUMONT et al. (1993) durchgeführte Studie, präsentiert drei Ansätze einer Traubenertragsvorhersage, darunter die palynologische Methode, welche sich mit einem r^2 von maximal 0,995 als die Beste herausstellt. Eine portugiesische Forschergruppe beschreibt ihre Ergebnisse für eine typische Mittelmeerregion. Sie kommen zu dem Ergebnis, dass für jede der betrachteten Regionen die Luftpollenkonzentrationen im Bezug zum Weinertrag zwischen 90 bis 95% der von Jahr zu Jahr auftretenden Schwankungen innerhalb der Weinproduktion erklären. Dahingehend stellt auch CUNHA (2003) fest, dass Vorhersagemodelle, welche sowohl Pollen- als auch Klimadaten berücksichtigen, über 97% bis 99% der jährlichen Schwankungsbreite regionaler Weinproduktionen erklären können. Auf Grund des begrenzten Datenumfangs musste in der vorliegenden Studie auf eine Kombination von Pollen- und Klimadaten im Rahmen von multiplen linearen Korrelationen verzichtet werden. Dennoch mündet bereits deren alleinige Anwendung auf die Pollendaten in einer Erhöhung der Vorhersagekraft mit annähernd hohen Werten.

6.1.2 Interpretation der phänologischen Studie

Neben den landwirtschaftlich bedeutsamen Pflanzengattungen wie beispielsweise dem Wein, beziehen sich die phänologischen Auswertungen in der Literatur im Allgemeinen zumeist auf krautige Pflanzen sowie Bäume und Sträucher. Bedeutend im Bereich der phänologischen Studien sind beispielsweise neuere Arbeiten von KLANTE (1986), CHMIELEWSKI (1996), RÖTZER & CHMIELEWSKI (2001) und FABIAN (2002). Allen diesen Ausarbeitungen liegt das aus ungefähr 1.500 europäischen Messstationen aufgebaute phänologische Netzwerk zu Grunde. Auf Basis der Pollenflugdaten der Stiftung Deutscher Polleninformationsdienst (PID) wurden in der vorliegenden Studie zahlreiche signifikante Trends bezüglich der jährlichen

Tage mit Pollenflug sowie der jährliche Pollensumme gefunden. Dabei sind die signifikanten Taxa nicht konsistent, sondern variieren von Station zu Station. Beim Vergleich der gleichen Taxa an mehreren Stationen wurde ebenfalls in Bezug auf eine Ab- bzw. Zunahme - weder in Tagen mit Pollenflug noch in der Pollensumme - ein durchgehender Trend festgestellt. Dennoch zeigen die an ein und derselben Station gefundenen signifikanten Taxa hinsichtlich einer Ab- bzw. Zunahme insgesamt den gleichen Trend bei beiden ausgewerteten Parametern. Das Ergebnis kann möglicherweise auf den Einfluss des Standortes der Pollenfalle auf den jährlichen Entwicklungsverlauf der Pflanze zurückgeführt werden. Selbstverständlich muss jedoch auch hier der Umfang der einzelnen Datensätze berücksichtigt werden, da insbesondere hierdurch die Stabilität des Ergebnisses beeinflusst wird.

Im Unterschied zu früheren Studien (z.B. BAUER 2002, DEFILA 2003 und LÜERS 2003) wurde die phänologische Studie des Weines an einer Lokalität mit zugleich mehreren Varietäten durchgeführt. In Abhängigkeit zu den einzelnen Varietäten und untersuchten Zeitabschnitten ergibt sich hier bezüglich der Schwankungsbreite der phänologischen Phasen eine Bandbreite zwischen ungefähr 8 bis 14 Tagen. In der von LÜERS (2003) vorgestellten Studie, in der er sich mit der Varietät Riesling auseinandersetzt, erzielt der Blattaustrieb mit 7 Tagen die niedrigsten Werte und der Zeitpunkt der Knospung mit nahezu 13 Tagen die höchsten. Insgesamt, über alle Varietäten hinweg, zeigt die nun hier vorgelegte Studie hohe bzw. die höchsten Werte für den Austrieb, während die Werte für das Erreichen der Erbsengröße und den Erntebeginn zumeist niedrig sind. Dennoch zeigen sich auch hier Unterschiede innerhalb der einzelnen Varietäten, so beispielsweise bei Kerner und Silvaner, mit dem Ende der Blüte bzw. dem Erntebeginn als den höchsten Werten. LÜERS (2003) führt diesen Versatz auf den Einfluss externer Umweltfaktoren zurück. Somit würde eine hohe Varianz einen starken Einfluss und eine niedrige Varianz im Unterschied dazu einen geringen Einfluss dieser Faktoren deutlich machen.

Ebenfalls die Berechnung der mittleren Eintrittstermine der 7 phänologischen Phasen führte zu einem sehr diversifizierten Ergebnis. Dies bekräftigt die Ausführungen von HILLEBRAND et al. (2003), welche die Charakteristika zahlreicher verschiedener in Deutschland und angrenzenden Gebieten kultivierten Weinsorten untersuchten. Bei den phänologischen Beschreibungen der einzelnen Sorten liegt der Schwerpunkt zumeist auf dem Zeitpunkt der Reife und Ernte. Dabei ist auffällig, dass in der vorliegenden Studie insbesondere der Zeitpunkt der Reife bei allen Sorten durchweg früher einsetzt. Bei einem deutschlandweiten

Vergleich könnte diese Tatsache auf die südliche Lage des Untersuchungsgebietes zurückgeführt werden. Die bei HILLEBRAND et al. (2003) angegebenen Werte beziehen sich dabei zumeist auf gemittelte Werte aller deutschen Anbaugebiete. Bezüglich der einzelnen Weinsorten beschreibt EICHHORN (1971) in seiner Dissertation bereits das Ergebnis einer unterschiedlichen Dauer der Zeitspanne zwischen Blütephase und Reifezeitpunkt. Im Unterschied dazu belegt die vorliegende Studie jedoch nicht seine allgemeine Aussage eines früheren Einsatzes der Reife bei gleichfalls schnellerem Ablauf der vorangehenden phänologischen Stadien. Dies wird durch vorliegende Studie beispielsweise anhand der Weinsorten Lemberger und Riesling nachgewiesen.

Bei Betrachtung der langjährigen Mittelwerte ausgewählter phänologischer Stadien für die beiden Zeitabschnitte von 14 Jahren wurden ähnliche Ergebnisse wie in der von LÜERS (2003) vorgestellten Studie erzielt. In seiner Studie berechnete er für Riesling eine Verschiebung von ca. sechs Tagen, wobei die vorliegende Studie für diese Weinsorte einen Versatz von sieben Tagen benennt. Über alle untersuchten Weinsorten hinweg wurde dann ein Mittelwert von nahezu acht Tagen berechnet. Der Unterschied zur Studie von LÜERS (2003) kann hier wohl hauptsächlich auf den, mit einem Versatz von 17 Tagen, extrem frühen Erntebeginn der Sorte Silvaner zurückgeführt werden.

Auch bei der Trendanalyse stimmen die erzielten Ergebnisse weitgehend mit den von LÜERS (2003) berechneten Werten überein; dies ist ein relativ niedriger Wert für den Erntebeginn (unter 10 Tagen) und ca. 2 Wochen für die anderen phänologischen Stadien. Eine von EICHLER & HERRMANN (2001) vorgestellte Studie beschreibt die Phänologie von Müller-Thurgau in Franken für den Zeitabschnitt 1968 bis 2000. Gemäß den Autoren setzen hier sowohl der Austrieb als auch die Blüte durchschnittlich 10 Tage früher ein. Die Ergebnisse der vorliegenden Studie können zudem auf weitere europäische Regionen bezogen und mit diesen verglichen werden. Nach BAUER (2002) beginnt in Österreich für den untersuchten Zeitabschnitt 1965 bis 2002 die Blüte für die Weinsorte Grüner Veltliner zwischen 10 und 11 Tagen früher. Im Jahre 2003 veröffentlichte DEFILA seine Studie über Weinphänologie mit Fokus auf der Schweiz. Die resultierenden Ergebnisse basieren auf 29, über die gesamte Schweiz verteilte, Beobachtungsstationen. Den vorgenommenen Analysen (Zeitabschnitt 1951 bis 2000) nach hat sich der Zeitpunkt der Vollblüte um rund drei Wochen im Jahr nach vorne verlagert, wobei der Reifezeitpunkt für diesen Zeitabschnitt zwei Wochen früher einsetzt. Die hier präsentierte Studie zeigt im Unterschied dazu ein anderes Bild. So hat sich

für den baden-württembergischen Standort die Ernte der beiden Weinsorten Kerner und Riesling um nahezu drei bis vier Wochen nach vorne verlagert, während die Vollblüte für die meisten Sorten ca. zwei Wochen früher beginnt. DEFILA (2003) vermutet, dass die beobachteten Verschiebungen der Vollblüte auf die globale Erwärmung zurückzuführen sind. Hierbei bezieht er sich auf die Tatsache, dass insbesondere die phänologischen Frühjahrs- und Sommerphasen im Allgemeinen stark von den Lufttemperaturen beeinflusst werden. Im Unterschied dazu ist die Interpretation der Verschiebung des Erntezeitpunktes nicht einfach entsprechend übertragbar, da neben der früheren Reife der Trauben aufgrund höherer Temperaturen der Erntezeitpunkt zusätzlich den aktuellen Wettergegebenheiten sowie menschlicher Planung unterworfen ist.

Die Ergebnisse der Andaueranalysen belegen, dass eine Verlängerung bzw. Verkürzung der einzelnen phänologischen Phasenabschnitte von den einzelnen Weinsorten abhängig ist. Hierbei führt ein Vergleich verschiedener Studien zu keinem einheitlichen Ergebnis. Während die vorliegende Studie eine Verlängerung der Dauer der beiden Phasenabschnitte Austrieb bis zur Vollblüte und Vollblüte bis zur Ernte mit 4 bzw. 12 Tagen deutlich macht, beschreibt LÜERS (2003) eine Verkürzung des Zeitabschnittes Austrieb bis Vollblüte um 6 Tage und einer Verlängerung von Vollblüte bis zur Ernte um 3 Tage. EICHLER & HERRMANN (2001) beschreiben eine um 7 Tage verlängerte Blütephase für Müller-Thurgau, wobei die vorliegende Studie für diese Sorte eine Verkürzung desselben Zeitabschnittes errechnet. Laut BECKER et al. (1983), die Untersuchungen an der Weinsorte Ruländer durchführten, verlängert sich die Dauer der Zeitspanne zwischen Blüte bis zur Reife mit steigenden Temperaturen. Diese Aussage kann anhand der im Rahmen der vorliegenden Studie erzielten Ergebnisse nicht bedingungslos bestätigt werden. Andererseits können auch die Ausführungen von BAUER (2002), der die Dauer der Blüte als sich verringernd jedoch mit starken Schwankungen beschreibt, nur im letzten Teil dieser Aussage bestätigt werden. BAUER (2002) führt zudem weiter an, dass die einzelnen Sorten auf Grund der unterschiedlichen Anforderungen an den Standort unterschiedlich auf klimatische Veränderungen reagieren.

Mit Blick auf die gesamte Vegetation beschreiben beispielsweise FITTER & FITTER (2002) in ihrer Studie mit Blick auf Großbritannien die verhältnismäßig kurzzeitigen Veränderungen in der Blütezeit der Pflanzen. Basierend auf Aufzeichnungen des phänologischen Netzwerkes in Europa haben sich die mittleren Vegetationsperioden (betrachteter Zeitraum: 1969-1998) in

Europa signifikant um 10,5 Tage, mit einer mittleren Länge von 188 Tagen, bzw. für Mitteleuropa (beinhaltet die Deutschen Mittelgebirge) sogar um 15 Tage verlängert (CHMIELEWSKI & RÖTZER 2002). Zugleich wird die klare asymmetrische Verlagerung der gesamten phänologischen Phase eines Jahres deutlich. So beginnt in Europa die Vegetationsperiode ca. 8 Tage früher und endet ca. 3 Tage später bzw. für die deutschen Mittelgebirge 13,5 Tage früher und 1,5 Tage später. Die Trendanalyse von 751 paneuropäischen Beobachtungsreihen mit Blick auf den Frühling (Blattentfaltung, Austrieb und Blüte) und mit 281 für den Herbst (Blattfärbung und Laubfall) führte zu einem um ca. 6 Tage früheren Beginn des Frühlings bzw. einem 4,5 Tage späteren Ende des Herbstes und damit insgesamt zu einer um ca. 10 bis 11 Tage verlängerten jährlichen Vegetationsperiode (MENZEL 2000). Bei Betrachtung des Zeitabschnitts 1951 bis 2000 wurden in einer im Jahre 2001 von DEFILA & CLOT durchgeführten Studie bezüglich der Phänologie ähnliche Resultate erzielt. Die Autoren beschreiben einen um 12 Tage früheren Beginn des Frühlings und ein um 2 Tage späteres Ende des Herbstes sowie eine dadurch um rund 14 Tage ausgedehntere Vegetationsperiode.

Insgesamt bleibt festzuhalten, dass der Wein bzw. die Rebe auf die durch den Klimawandel verursachten geänderten Bedingungen mit einer sich verschiebenden Phänologie bzw. einem verschobenen Vegetationsablauf (sowohl in Beginn, Ende und der Andauer) in einem ähnlichen Maße reagiert, wie dies bereits in genannten Studien bei der Gesamtvegetation beobachtet wurde. Laut FREITAG (1965), LAWRYNOWICZ (1968), HICKEN & VITTUM (1976), HOPPMANN (1988) und CHMIELEWSKI & RÖTZER (2002) wird die jährliche Variabilität zu einem Großteil durch spezifische Witterungsereignisse bzw. die zu dieser Zeit vorherrschenden atmosphärischen Bedingungen bestimmt. Dabei hängen die physiologischen Reaktionen der Pflanze zudem von der jeweiligen Spezies und dem speziellen Genotypen ab (GRIFFITHS 1994, NILSEN & ORCUTT 1996, ORCUTT & NILSEN 2000, LARCHER 2001). LÜERS (2003) beschreibt hier die Möglichkeit, dass neben den menschlichen Eingriffen zudem zahlreiche Organismen die Phänologie der Pflanzen zusätzlich beeinflussen können. Dies können beispielsweise schädliche Einflüsse von Tieren sein, wie z.B. Frassschäden, aber auch der direkte oder indirekte pathogene Einfluss von Pilzen, Bakterien und Viren. Des Weiteren beeinflusst jegliche Veränderung der Bewirtschaftungsweise den Wachstumsprozess einer Pflanze und somit deren phänologischen Zyklus. In Übereinstimmung mit früheren Studien wurde dieser mögliche „negative“ Effekt ebenfalls in der hier vorliegenden Arbeit größtenteils ausgeschlossen oder minimiert. Durch die entsprechende Auswahl der

Untersuchungsstandorte sowie der beprobten Weinstöcke sollten die wissenschaftlichen Anforderungen bezüglich Kontinuität und Qualität weitgehend erfüllt sein. So wurde der Einfluss von Krankheiten auf die der Studie zugrunde liegenden Datenmatrix durch die systematische Auswahl der beprobten Weinstöcke vermieden. Diese Handhabung erfüllt somit die Bedingung der Vergleichbarkeit der Datensätze, welche über die Jahre erfasst wurden.

6.1.3 Interpretation der Landnutzungs-/Vegetationsanalyse

Bereits in Kap. 3.3 wurde auf die hohe regionale und naturräumliche Zergliederung Baden-Württembergs hingewiesen. Diese enorme Differenzierung der auf engem Raum starkurbanisierten und anthropogen gewandelten Landschaft wird auch in den Untersuchungen bezüglich der Umgebungsvegetation der Pollenstationen ersichtlich.

Die Umgebung der Station Freiburg setzt sich zum Großteil aus einem hohen Anteil an Siedlungsstrukturen zusammen, der mit zunehmender Entfernung zum Standort der Pollenfälle abnimmt. Zudem ist ein großer Waldanteil mit Schwerpunkt auf den Mischwäldern vorhanden. Auffällig ist weiterhin ein vergleichsweise hoher Anteil an Weinbauflächen. Alle diese Strukturelemente lassen sich auf die Lage der Station im Rheintal mit Nähe zum südlichen Schwarzwald zurückführen. Damit wird dieser städtische Raum stark durch die naturräumliche Umgebung charakterisiert. Große Industrieansiedlungen spielen hier eine eher untergeordnete Rolle. Die Station Gerlingen wird im Unterschied zur Station Freiburg ebenfalls im Hinterland stark durch Siedlungsstrukturen zergliedert. Der Waldanteil bleibt insgesamt eher niedrig. Die Anteile an Grün- und Ackerland sind vergleichsweise gering, wobei letzteres innerhalb des 10 km Umkreises flächenmäßig stark zunimmt. Auf Grund der bevorzugten klimatischen Lage besitzen Gerlingen und seine Umgebung ähnlich zu Freiburg hohe Flächenanteile mit Wein- und Obstbau. Des Weiteren wird die Region durch den Ballungsraum Stuttgart beeinflusst, was insbesondere den hohen Siedlungsanteil erklärt. Ähnlich der Station Freiburg ist auch die Umgebung der Station Heidelberg durch einen zugleich hohen Siedlungs- und Waldanteil, vor allem Laub- und Mischwälder, gekennzeichnet. Zudem besitzt insbesondere der 10 km Umkreis einen hohen Grünlandanteil, wobei hingegen Ackerland an diesem Standort eine eher untergeordnete Rolle spielt. Wein- und Obstbau sind ebenfalls auf Grund des begünstigten Klimas des oberen Rheintals zu einem

gewissen Ausmaß vorhanden. Das Umland von Heidelberg kann insgesamt, auf Grund der hohen Bevölkerungsdichte im Rhein-Neckar-Raum, als dichtbesiedelte Metropolregion klassifiziert werden. Die dennoch hohen Waldanteile lassen sich auf den angrenzenden Odenwald zurückführen. Auch die Umgebung der Station Karlsruhe wird vor allem durch den Faktor Siedlung bestimmt. Zudem existieren nennenswerte Areale an Ackerland. Die Waldflächen nehmen rund 20% der Umgebung bzw. des Hinterlandes der Station ein. Der hohe Anteil an Siedlungsfläche lässt sich auf den Industriestandort Karlsruhe als eine der am dichtesten besiedelten Regionen entlang des Oberrheingrabens zurückführen. Die Ackerland- und Waldanteile liegen größtenteils im nordöstlichen Kraichgau. Im Unterschied zu den Stationen Freiburg, Gerlingen, Heidelberg und Karlsruhe ist der Anteil an Siedlungsfläche rund um den Standort Königsfeld extrem niedrig. Dagegen zeichnet sich das Umland durch einen hohen Waldanteil - zumeist Nadelwälder - aus. Diese spezielle Flächenverteilung lässt sich durch die Lage der Station inmitten des Schwarzwaldes erklären. Zudem sind am Standort Königsfeld, auf Grund seines Status als Naherholungsraum und Kurort, keine Industrieansiedlungen vorhanden. Die Umgebung des Standortes Königsfeld wird weitgehend durch Mischwälder und geringe Anteile an Siedlungsflächen geformt. Der Anteil an Weinbauflächen ist verhältnismäßig hoch, Acker- und Grünlandanteile bewegen sich unter 20% der Gesamtfläche. Es handelt sich hier um eine ländliche Region, die neben ihrem Charakter als Naherholungsgebiet insbesondere durch den Weinanbau geprägt wird. Wangen unterscheidet sich von allen anderen in dieser Studie betrachteten Stationen durch seinen hohen Anteil an Grünlandflächen. Siedlungsanteile spielen nur untergeordnet eine Rolle. Dies ist typisch für das Muster der Landnutzung in einer vor allem für die Viehzucht wichtigen Region.

Vergleichende Studien zur Beziehung Pollen - Vegetation wie beispielsweise VINCENS et al. (2000), DAVIES & FALL (2001), CONNOR (2004), EBNER (2005) und KRIEGEL (2006) beziehen sich meist auf die Möglichkeit der Vegetationsrekonstruktion von Vegetationseinheiten anhand rezenter Oberflächenpollen und lassen dabei zumeist den Aspekt der anthropogenen Landnutzung sowie das Potential von Aeropollenflugdaten außer Acht. Dennoch lassen sich die erzielten Ergebnisse zu der vorliegenden Studie in Beziehung setzen. So kommen DAVIES & FALL (2001) zu dem Ergebnis, dass sich die Hauptvegetationseinheiten ihres Untersuchungsgebietes anhand des rezenten Pollenniederschlags differenzieren lassen. NEWSOME (1999), der die Pollen-Vegetationsbeziehung im semi-ariden Südwesten Australiens untersuchte, benennt moderate Zusammenhänge zwischen der Vegetation

einerseits und den Pollen andererseits. In der vorliegenden Studie führt die Untersuchung des Polleneintrags bezüglich der Umgebungsvegetation der Pollenstationen zu einem uneinheitlichen Ergebnis. Es zeigt sich zum einen, dass insbesondere die Siedlungsfläche zumeist negativ mit den untersuchten Taxa korreliert ist. Dies ist ein Hinweis darauf, dass die Ausbreitung der Siedlungsflächen generell zu einer Abnahme der untersuchten Pollentaxa führt. Unter den untersuchten Taxa sind es insbesondere PICE und RUME, welche signifikant und negativ mit der Siedlungsfläche korrelieren. Somit ist deren Polleneintrag ein möglicher negativer Indikator für Siedlungsflächen. Dagegen korreliert PLAN als ein typischer Siedlungsanzeiger sowohl innerhalb des 7 als auch des 10 km Umkreises ebenfalls negativ mit der Siedlungsfläche. Möglicherweise wird hier die Bedeutung von Grünland, Ackerland oder der Waldflächen als Standorte für PLAN unterschätzt. Die für QUER mit dem Laubwald vorliegende positive Korrelation (5 und 7 km Umkreis) kennzeichnet QUER als typischen Anzeiger für hohe Mischwaldgesellschaften. Damit bestätigt vorliegende Studie insgesamt die Möglichkeit einer Differenzierung von Vegetationseinheiten bzw. Landnutzungsarten anhand rezenter Pollenfloren.

6.2 Schlussfolgerung

Die hier präsentierte Studie belegt die Möglichkeit der Vorhersage von Ertragsparametern von Wein mit Hilfe aeropalynologischer Daten. Die statistische Auswertung und vergleichende Untersuchung von Pollen-, Klima- und Weindaten mit dem Ziel einer Potentialbewertung erzielt für die Anwendung der Pollendaten insgesamt die besten Ergebnisse bzw. höchsten Zusammenhänge. Dies bestätigt die Annahme, dass die zum Zwecke allergologischer Vorhersagen erhobenen Pollenflugdaten die verschiedenen auf die Pflanzen im Allgemeinen und Nutzpflanzen im Speziellen einwirkenden Faktoren wie beispielsweise Witterungs- und Standorteinflüsse integrieren. Neben der Nutzung von Pollendaten von Nutzpflanzen zur Ertragsprognostizierung etabliert die Studie nun zu eben diesem Zwecke die Nutzung von Pollendaten, welche nicht zu den Nutzpflanzen gehören. Die Pilotstudie sieht bezüglich der Pollenflugdaten insgesamt ein hohes Potential für die Vorhersage von Ertragsparametern, welches möglicherweise neben dem Wein auch auf andere Nutzpflanzen auszudehnen wäre. Dazu werden im Hinblick auf weiterführende Studien längere Datenreihen und ein dichteres Standortnetz empfohlen. Des Weiteren erkennt die Studie im Bereich der phänologischen Analysen der Pollenflugdaten für die ausgewerteten Zeiträume auftretende Veränderungen hinsichtlich der Tage mit Pollenflug sowie der jährlichen Pollensumme. Damit belegen die im Rahmen dieser Forschungsarbeit durchgeführten statistischen Auswertungen durch die erzielten Ergebnisse den stattfindenden Klimawandel. Dabei wird weiterhin festgestellt, dass die beobachteten Veränderungen an den einzelnen Standorten und in ihrer Auswirkung auf die untersuchten Taxa differenziert auftreten. Die Anwendung und Aussagekraft bleibt daher auf einen regionalen Maßstab begrenzt. Hinsichtlich der Untersuchung phänologischer Stadien verschiedener Weinsorten ist für alle Sorten, trotz unterschiedlich starker Ausprägung, für den ausgewerteten Zeitraum ein genereller Trend zu einer Verfrühung des Eintritts der phänologischen Stadien festzustellen. Je nach Sorte beträgt der auch hier auf den Klimawandel zurückzuführende Versatz zwischen zwei und drei Wochen. Für die abschließende Bewertung der Pollenflugdaten und der Umgebungsvegetation ergab sich kein einheitliches Bild, jedoch bestehen durchweg Zusammenhänge zwischen den einzelnen Taxa und den untersuchten Landnutzungstypen. Daher kann das Auftreten bestimmter Taxa durchaus dazu genutzt werden, den Anteil eines bestimmten Landnutzungstypus am Gesamtspektrum in einem festgelegten Umkreis um einen Pollenfallenstandort zu definieren.

7 Literaturverzeichnis

AGRO.M (2005): Métrologie des pollens dans l'air - étude intercomparative en région Languedoc-Roussillon. - Rapport Final, Ecole Nationale Supérieure Agronomique de Montpellier, Montpellier, 78 S.

AHORNER, L. (1983): Seismicity and neotectonic structural activity of the Rhine Graben system in Central Europe. In: Ritsema, A. R. & Gürpinar, A., Seismicity and seismic risk in the offshore North Sea area, D. Reidel Publishing Company, Dordrecht, S. 101-111.

ALBERTI, J., BRUNNER, B., FLINSPACH, H.-M., GARBE, P., HAFNER, A., HAHN, V., HASSLER, M., HETZLER, J., NICKEL, E., PEUKERT, M.J., RIEXINGER, W.-D., SCHEUERBRANDT, A., SCHRÖTER, C., WOLF, A., ZIMMERMANN, P. (2003): Naturführer Kraichgau. - Verlag Regionalkultur, Naturschutz-Spectrum Gebiete, Vol. 25, 228 S.

BAHLBURG, H. & BREITKREUZ C. (2004): Grundlagen der Geologie. - 2. Ed., Spektrum Akademischer Verlag, 403 S.

BAIER, S. (2001): Das Hohenloher Land. - Baier Verlag, Crailsheim, 128 S.

BALLE, D. (2004): Kultur- und Naturführer Kraichgau. - Verlag Regionalkultur, 2. Ed., 120 S.

BASSERMANN-JORDAN, F. VON (1991): Geschichte des Weinbaus. - Reprint 2. Ed. of 1923, (Frankfurt am Main), Pfälzische Verlagsanstalt, Landau.

BAUER, K. (2002): Klimaveränderung und Weinbau: Auswirkungen der Klimaveränderungen auf den Reifeverlauf von Reben. - Der Winzer 58(7): 16-21.

BECKER, N., MORGENSCHWEIS, G., LUFT, G. (1983): Standortfaktoren von zwölf Anlagen der Sorte Ruländer in Südbaden und ihr Einfluss auf vegetatives Wachstum und Entwicklung der Reben. - Die Weinwissenschaft 38: 3-27, 75-107.

BENNINGHAUS, H. (2005a): Einführung in die sozialwissenschaftliche Datenanalyse. - Oldenbourg, 7. Ed., 464 S.

BENNINGHAUS, H. (2005b): Deskriptive Statistik - Eine Einführung für Sozialwissenschaftler. - Vs Verlag, 10. Ed., 285 S.

BERGLUND, B. (2003): Human impact and climate changes - synchronous events and a causal link? - Quaternary International **105**: 7-12.

BESSELAT, B. (1987): Les prévisions de récolte en viticulture. - Connaissance de la Vigne et du Vin **21** (1): 1-12.

BESSELAT, B. & COUR, P. (1990): La prévision de la production viticole à l' aide de la technique de dosage pollinique de l' atmosphère. - Office International de la Vigne et du Vin, Paris, Bulletin de l' OIV **63**: 721-740.

BESSELAT, B. & COUR, P. (1993): Méthode intégrée de prévision précoce de récolte à partir de l'analyse pollinique de l'atmosphère. - CR. Coll. Vinandino 93, Mend, November 14-20th.

BESSELAT, B. & COUR, P. (1994): Prevedere la quantità dell' uva in vendemmia misurando il polline atmosferico. - Vignevini **21** (5): 25-28.

BESSELAT, B., COUR, P., MONTANARELLA, L. (1996): Guide pratique: Elaboration d'une prévision de récolte à partir du dosage pollinique de l'atmosphère. - Rapport EUR 16422 FR. Institut des Applications Spatiales, Centre Commun de Recherche, Ispra, 130 S.

BESSELAT, B., COUR, P., MONTANARELLA, L. (1997): Méthode intégrée de prévision de récolte basée sur le dosage pollinique de l'atmosphère - d'une prévision locale à une prévision nationale. - XXII Congrès Mondiale de la Vigne et du Vin. Buenos Aires, December 1-8th 1997, S. 1-10.

BISSOLLI, P., GÖRING, L., LEFEBVRE, C. (2002a): Extreme Wetter- und Witterungsereignisse im 20. Jahrhundert. - Deutscher Wetterdienst, Klimastatusbericht 2001: 20-31.

BISSOLLI, P. & SCHNADT, K. (2002): Analyse der raumzeitlichen Veränderungen von ausgewählten phänologischen Phasen in Deutschland. - Referat FE24 des DWD, 22 S.

- BISSOLLI, P. & K. SCHNADT (2003): Räumliche und zeitliche Variabilität von phänologischen Phasen in Deutschland und Europa. Ein Beitrag zur Klimaüberwachung des Deutschen Wetterdienstes. - 5. BIOMET Tagung: Phänologie, S.155-161.
- BITTERLI-BRUNNER, P., HAUBER, L., FISCHER, H. (1975): Investigation of recent crustal movements across the Rhine-graben flexure at Basel. - *Tectonophysics* **29**: 283-287.
- BMU (2005): Das Kyoto-Protokoll. Ein Meilenstein für den Schutz des Weltklimas. - Bundesministerium für Umwelt, Naturschutz und Reaktorsicherheit (BMU), Berlin, 27 S.
- BOOYSEN, J.H. & MARTIN, J.B. (1985): Méthodes de prévision quantitative de la vendange de raisin de cuve en Afrique du Sud. - Office International de la Vigne et du Vin, Paris, Bulletin de l' OIV **58**: 938-943.
- BOZORGDADDEH, G. & SCHNÄDELBACH, K. (1997): Determination of Vertical Deflections by simultaneous Observations with two Ni2-Astrolabes. - IUGG General Assembly 1971.
- BRASLAVSKA O. & KAMENSKY L. (1999): Leafing of forest trees and shrubs in the period 1986-1999. - *Atmosféra Stor Organiz Ekosyst* **21**: 67-71.
- BROSIUS, F. (2004): SPSS 12. - mitp-Verlag, 1. Ed., Bonn, 1034 S.
- BROSS-BURKHARDT, B. (2006): Hohenlohe - The Guidebook. - Swiridoff Verlag, Künzelsau, 100 S.
- BÜHL, A. & ZÖFEL, P. (2002): SPSS 11 - Einführung in die moderne Datenanalyse unter Windows. - Pearson Studium, 8. Ed., München, 757 S.
- BURR, M.L. (1999): Grass pollen: trends and predictions. - *Clin. Exp. Allergy* **29**: 735-738.
- CAIAFFA, M.F., MACCHIA L., STRADA S., BARILETTO G., SCARPELLI F., TURSI A. (1993): Airborne Cupressaceae pollen in southern Italy. - *Annals of Allergy* **71**(1): 45-50.

CARR, D.L., SUTER, L., BARBIERI, A. (2006): Population dynamics and tropical deforestation - State of the debate and conceptual challenges. - *Population & Environment* **27**(1): 89-113.

CEMAGREF & CNRS (1996): Projet prévision de récolte. - Rapport final, année 1995. Convention CEE/CCR ISPRA, 105 S.

CHARLSON, R.J., SCHWARTZ, S.E., HALES, J.M., CESS, R.D., COAGLEY, J.A., HANSEN, E., HOFMANN, D.J. (1992): Climate forcing by anthropogenic aerosols.- *Science* **255**: 423-430.

CHARPIN, H., DAVIES, R.R., NOLARD, N. SPIEKSMAN, F.T., STIX, E. (1977): Concentration urbaine des spores dans les pays de la communauté économique européenne. III. - Les urticacées. - *Rev. franç. Allergol.* **17**(4): 181-187.

CHMIELEWSKI, F.M. (1996): The International Phenological Gardens across Europe. Present state and perspectives. - *Phenology and Seasonality* **1**: 19-23.

CHMIELEWSKI, F.M. (2003): Phenology and Agriculture. - *Agrarmeteorologische Schriften, Landwirtschaftlich-Gärtnerische Fakultät, Institut für Pflanzenbauwissenschaften, Humboldt Universität Berlin* **12**: 15 S.

CHMIELEWSKI, F.M. & RÖTZER, T. (2002): Annual and spatial variability of the beginning of growing season in Europe in relation to air temperature changes. *Clim-Res.* **19**(1), 257-264.

CHOROWICZ, J. & DEFFONTAINES, B. (1993): Transfer fault and pull-apart model in the Rhinegraben from analysis of multisource data. - *Journal of Geophysical Research* **98**: 14.339-14.351.

COHEN, J. & COHEN, P. (1983): *Multiple Regression/Correlation for the Behavioral Sciences.*- Erlbaum Associates, 2. Ed., Hillsdale, NJ, S. 67-69 & 490-497.

CONNOR, S.E., THOMAS, L., KVAVADZE, E.V., ARABULI, G.J., AVAKOV, G.S., SAGONA, A. (2004): A survey of modern pollen and vegetation along an altitudinal transect in southern Georgia, Caucasus region. - *Review of Palaeobotany and Palynology* **129**(4): 229-250.

COTOS-YAÑEZ, T.R., RODRIGUEZ-RAJO, F.J., JATO, V. (2004): Prediction of *Betula* pollen grains in the city of Vigo using logistic additive models & partially linear models. - *International Journal of Biometeorology* **48**: 179-185.

COUR, P. & CAMPO, M. VAN (1980a) : Prévisions de récolte à partir de l'analyse du contenu pollinique de l'atmosphère. *C. R. Acad. Paris. Sér. D.* **290**: 1043-1046.

COUR, P. & CAMPO, M. VAN (1980b): Crop forecasts on the basis of measurements of pollen in the atmosphere. - *Prog. Agric. Vitic.* **97**(12): 251-254.

COUR, P. & VILLEMUR, P. (1985) : Fluctuations des émissions polliniques atmosphériques et prévisions des récoltes de fruits. *C. R. 5ème colloque sur les recherches fruitières, Bordeaux, November 13-14th*, S. 5-12.

CRISTOFOLINI, F. & GOTTARDINI, E. (2000): Concentrations of airborne pollen of *Vitis vinifera* L. and yield forecast - a case study at St. Michele all' Adige, Trento, Italy. - *Aerobiologia* **16**(1): 125-129.

CROWLEY, T.J. (2000): Causes of climate change over the past 1000 years. - *Science* **289**: 270-277.

CRUCIFIX, M., LOUTRE M.-F., TULKENS, P., FICHEFET, T., BERGER, A. (2002): Climate evolution during the Holocene: a study with an Earth system model of intermediate complexity. - *Climate Dynamics* **19**: 43-60.

CUBASCH, U. & KASANG, D. (2000): *Anthropogener Klimawandel*. - Klett-Perthes-Verlag, Stuttgart, 128 S.

CUNHA, M., ABREU, I., PINTO, P., CASTRO, R. DE (2003): Airborne Pollen Samples for Early-Season Estimates of Wine Production in a Mediterranean Climate Area of North Portugal. - *American Journal of Enology and Viticulture* **54**(3): 189-194.

DAVIES, C.P. & FALL, P.L. (2001): Modern pollen precipitation from an elevational transect in central Jordan and its relationship to vegetation.- *Journal of Biogeography* **28**(10): 1195-1210.

DEFILA, C. (2003): Klimaerwärmung und Phänologie der Weinrebe. - Schweizerische Zeitschrift für Obst- und Weinbau **139**(20): 9-11.

DEFILA, C. & CLOT, B. (2001): Phytophenological trends in Switzerland. - Int. Journal of Biometeorology **45**: 203–207.

DEFRIES, R.S., BOUNOUA, L., COLLATZ G.J (2002): Human modification of the landscape and surface climate in the next fifty years. - Global Change Biology **8**(5): 438-458.

DERER, C.E., SCHUMACHER, M.E., SCHÄFER, A. (2005): The northern Upper Rhine Graben: basin geometry and early syn-rift tectono-sedimentary evolution. - International Journal of Earth Sciences/Geologische Rundschau **94**: 640-656.

DUMOT, C., LACOUTURE, J., MARTINEZ, M., AUDEBERT, J., BETIN, M., LURTON, L. (1993): Les prévisions de récolte pour le vignoble charentais, intérêts comparés de trois approches différentes. - Conference Proceedings, 1er Symposium Scientifique International de Cognac, Mai 11-15th 1992, S. 78-83.

DUMOT, V. & SNAKKERS, G. (2001): Prévion de récolte exemple du vignoble de Cognac. - Journal International des Sciences de la Vigne et du Vin, S. 205-210.

EASTERLING, D.R., MEEHL, G.A., PARMESAN, C., CHANGNON, S.A., KARL, T.R, MEARN L.O. (2000): Climate Extremes - Observations, Modeling, and Impacts. - Science **289**: 2068-2074.

EBNER, M. (2005): Entwicklung eines Monitoringverfahrens auf pollenanalytischer Basis zur Charakterisierung ökologischer Einheiten im Bereich der südbrasilianischen Mata Atlântica und Rekonstruktion der Vegetationsgeschichte des Pró-Mata Gebietes. - Dissertation an der Geowissenschaftlichen Fakultät der Eberhard-Karls-Universität Tübingen, 165 S.

EEA (2004a): Greenhouse Gas Emission Trends and Projections in Europe 2004. - EEA Report, European Environment Agency, Copenhagen, Denmark, **5**: 40 S.

EEA (2004b): Impacts of Europe's changing climate - An indicator-based assessment. - EEA Report, European Environment Agency, Copenhagen, Denmark, **2**: 100 S.

EEA (2005): Vulnerability and Adaptation to Climate Change in Europe. - EEA Report, European Environment Agency, Copenhagen, Denmark, 7: 79 S.

EGGERS, H. (1964): Schwarzwald und Vogesen. Ein vergleichender Überblick. - G. Westermann-Verlag, Braunschweig, 144 S.

EICHHORN, K.W. (1971): Die Ertragsstruktur und das Beerenwachstum der Reben. - Dissertation Universität Hohenheim, Abteilung Weinbau, 144 S.

EICHLER, P. & HERRMANN, J.V. (2001): Mehrjährige Beobachtungen zur Witterung und Rebenphänologie: Sind Trends erkennbar? - Das Deutsche Weinmagazin, **9/10**: 82-85.

ELKIE, P.C., REMPEL, R.S., CARR, A.P. (1999): Patch analyst user's manual - a tool for quantifying landscape structure. - NWST Technical Manual TM-002, Ontario Ministry of Natural Resources, Thunder Bay, Ontario, Canada, 35 S.

EMBERLIN, J., DETANDT, M., GEHRIG, R., JAEGER, S., NOLARD, N., RANTIO-LEHTIMÄKI, A. (2002): Responses in the start of *Betula* (birch) pollen seasons to recent changes in spring temperatures across Europe. - International Journal of Biometeorology **46**:159-170.

EMBERLIN, J., MULLINS, J., CORDEN, J., JONES, S., MILLINGTON, W., BROOKE, M., SAVAGE, M. (1999): Regional variations in grass pollen seasons in the UK, long-term trends and forecast models. - Clinical and Experimental Allergy **29**: 347-356.

ESCHER-VETTER, H. (2001): Zum Gletscherverhalten in den Alpen im zwanzigsten Jahrhundert. - Klimastatusbericht, Deutscher Wetterdienst, Offenbach a. M., S. 51-57.

FABIAN, P. (2002): Leben im Treibhaus - Unser Klimasystem und was wir daraus machen. - Springer-Verlag, Berlin, 258 S.

FITTER, A.H. & FITTER R.S.R. (2002): Rapid Changes in Flowering Time in British Plants. - Science **296**(5573): 1689-1691.

- FORNACIARI, M. & ROMANO, B. (1995): Contributo alla previsione di raccolta per vite ed olivo in tre siti di campionamento. - *Annali della Facoltà di Agraria, Università degli Studi di Perugia* **49**: 137-155.
- FRAEDRICH, K., GERSTENGABE, F.-W., WERNER, P.C. (2001): Climate shifting during the last century. - *Climatic Change* **50**: 405-417.
- FRANKE, W. (2003): Consequences of climate change in Baden-Wuerttemberg. - *Landnutzung und Landentwicklung* **44(5)**: 216-219.
- FREITAG, E. (1965): Studien zur phänologischen Agrarklimatologie Europas. - *Berichte des Deutschen Wetterdienstes Nr. 98*, Offenbach a. M.
- GALAN, C., EMBERLIN, J., DOMINGUEZ, E., BRYANT, R.H., VILLAMANDOS, F. (1995): A comparative analysis of daily variations in the Gramineae pollen counts at Córdoba, Spain and London, UK. - *Grana* **34**: 189-198.
- GARCIA-MOZO, H., GALAN, C., AIRA, M.J., BELMONTE, J., DIAZ DE LA GUARDIA, C., FERNANDEZ, D., GUTIERREZ, A.M., RODRIGUEZ, F.J., TRIGO, M.M., DOMINGUEZ-VILCHES, E. (2002): Modelling start of oak pollen season in different climatic zones in Spain. - *Agricultural and Forest Meteorology* **110**: 247-257.
- GEYER, O.F. & GWINNER, M.P. (1991): *Geologie von Baden Württemberg*. - 4. Ed., E. Schweizerbart'sche Verlagsbuchhandlung, Stuttgart, 482 S.
- GLENN, J.C. & GORDON T.C. (2006): *2006 State of the Future*. - Amer Council for the United Nations, 125 S.
- GODET, J.-D. (2001): *Einheimische Bäume und Sträucher*. - Haymarket Media, 4. Ed., 256 S.
- GOETHE, H. & GOETHE, R. (2001): *Atlas der Traubensorten*. - Manuscriptum Verlagsbuchhandlung, Waltrop, Germany, 83 S.
- GÖTZ, G. (1994): Weinbau in Württemberg. - *Das Deutsche Weinmagazin* **18**: 20-24.

GRABL, H. (2002): Klimamacher Mensch. - Beiträge, Neue Schriftenreihe, Nr. 9 - Zukunftsfähigkeit, Dortmund, 43 S.

GRIESER, J. & BECK, C. (2003): Extremniederschläge in Deutschland Zufall oder Zeichen? - Klimastatusbericht 2003, Deutscher Wetterdienst (DWD), Offenbach a. M., S. 141-150.

GRIFFITHS, J.F. (1994): Handbook of Agricultural Meteorology. - Oxford University Press, New York, Oxford, 320 S.

HÄBERLI, W. & BURN, C.R. (2002): Natural Hazards in Forests: Glacier and Permafrost Effects as Related to Climate Change. - Environmental change and geomorphic Hazards in Forest, IUFRO Research Series, R. C. Slide, Ed., CABI Publishing, Wallingford/New York, S. 167-202.

HAGDORN, H. & SIMON, T. (1985): Geologie und Landschaft des Hohenloher Landes. - Jan Thorbecke Verlag, Sigmaringen, 186 S.

HANUS, H. & AIMILLER, O. (1978): Ertragsvorhersage aus Witterungsdaten. - Verlag Paul Parey, Berlin, Hamburg, 127 S.

HECKER, U. (1991): Bäume und Sträucher. - BLV, 5. Ed., 191 S.

HENSE, A., ADRIAN, G., KOTTMEIER, C., SIMMER, C., WULFMAYER, V. (2006): The German Priority Program SPP1167 PQP Quantitative Precipitation Forecasting: an overview. 2nd International Symposium on Quantitative Precipitation Forecasting (QPF) and Hydrology, Boulder, CO, USA, June 4-8th 2006.

HICKEN, R.P. & VITTUM, M.T. (1976): The importance of soil and air temperature in spring phenoclimatic modelling. - Int. Journal of Biometeorology **20**: 200-206.

HILLEBRAND W., LOTT, H., PFAFF, F. (2003): Taschenbuch der Rebsorten. - 13. Ed., Fachverlag Fraund, Mainz, 383 S.

HIRST J.M. (1952): An automatic volumetric spore trap. - *Annals applied Biology* **39**: 257-265.

HÖFLING, R. (2003): Das Nördlinger Ries und sein Vorland aus sedimentologisch-paläontologischer Sicht. - In: *Jber. Mitt. Oberrhein. Geol. Ver., N.F.* **85**: 203-239.

HUGLIN, P. & SCHNEIDER, C. (1985): Recherche de méthodes de prévision quantitative de la vendange. - *Office International de la Vigne et du Vin, Paris, Bulletin de l' OIV* **58**: 950-960.

HOPPMANN, D. (1988): Der Einfluss von Jahreswitterung und Standort auf die Mostgewichte der Rebsorten Riesling und Müller-Thurgau (*Vitis venifera* L.). - *Berichte des Deutschen Wetterdienstes Nr.* **176**, Offenbach a. M.

HUPFER, P. & SCHÖNWIESE, C.-D. (1998): Zur beobachteten Klimaentwicklung im 19. Und 20. Jahrhundert: Gefahr im Verzug? - In: Lozán, J. L.; Graßl, H.; Hupfer, P.: *Warnsignal Klima - Wissenschaftliche Fakten*. Hamburg, S. 99-113.

IEA (2004): *World Energy Outlook 2004*. - International Energy Agency (IEA), Paris, 570 S.

ILLIES, J.H. & GREINER, G. (1978): Rhinegraben and the Alpine system. - *Geological Society of America Bulletin* **89**: 770-782.

IPCC (1996): *Climate Change 1995. Second Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change*. - University Press, Cambridge.

IPCC (2001): *Climate Change 2001. Third Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change*. - University Press, Cambridge.

IPCC (2007): *Climate Change 2007. Fourth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change*. - University Press, Cambridge.

JÄGER, S. (2000): The European Aeroallergen Network EAN. - Abstract band 2nd ECAVienna 2000.

JÄGER, S. (2003): Current organisation and utilization of the European pollen information system. - *Allergo Journal* **12**: 313-314.

JATO, V., RODRIGUEZ-RAJO, F.J., MENDEZ, J., AIRA, M.J. (2002): Phenological behaviour of *Quercus* in Ourense (NW Spain) and its relationship with the atmospheric pollen season.- *Int. Journal of Biometeorology* **46**:176-184.

JRC (1996): Development of a model to forecast wine (and olive) yields based on pollen count methods. - Joint Research Center (JRC), European Commission, Annual Report 95, S. 26-27.

JONES, P.D., OSBORN, T.J., BRIFFA, K.R. (2001): The evolution of climate over the last millennium. - *Science* **292**(5517): 662-667.

KASANG, D. (2004): Anthropogener Klimawandel - Der Mensch verändert das Klima. - Hamburger Bildungsserver (HBS).

KEMPF, O. & PROSS, J. (2005): The lower marine to lower freshwater Molasse transition in the northern Alpine foreland basin (Oligocene; central Switzerland - South Germany) - age and geodynamic implications. - *International Journal of Earth Sciences* **94**(1): 160-171.

KLANTE, B. (1986): Synthetische phänologische Karten. - *Arboreta Phaenologica* **31**: 97-110.

KLIMASTATEMENT (2003): Klimastatement der Deutschen Meteorologischen Gesellschaft (DMG), der Österreichischen Gesellschaft für Meteorologie (ÖGM) und der Schweizerischen Gesellschaft für Meteorologie (SGM).

KLIWA (2006): Unser Klima verändert sich: Folgen - Ausmaß - Strategien; Auswirkungen auf die Wasserwirtschaft in Süddeutschland. - LUBW Landesanstalt für Umwelt, Messungen und Naturschutz Baden-Württemberg/Bayerisches Landesamt für Umwelt (LfU), S. 1-18.

KNOLL, R. (1999): Die Weine aus Baden. - Falken Verlag, Niederhausen, Germany, 79 S.

KRIEGEL, K. (2006): Recent palynological spectra from the Planalto region of the Serra Geral, Rio Grande do Sul/Brazil: Reconstruction of contemporary vegetation - a case study. - Dissertation an der Geowissenschaftlichen Fakultät der Eberhard-Karls-Universität Tübingen, 99 S.

KUHLEMANN, J. & KEMPF, O. (2001): Post-Eocene evolution of the North Alpine Foreland Basin and its response to Alpine tectonics. - *Sedimentary Geology* **152**: 45-78.

KUNZ, M. & KOTTMEIER, C. (2001): Starkniederschläge mit langer Andauer über Mittelgebirgen. - Proceedings, 2nd Panel on Catastrophe Precautions, Sept. 24-26th 2001, Leipzig, S. 205-212.

LARCHER, W. (2001): Ökophysiologie der Pflanzen. Leben, Leistung und Stressbewältigung der Pflanzen in ihrer Umwelt. - 6. Aufl., UTB, 408 S.

LAUER, W. & FRANKENBERG, P. (1986): Zur Rekonstruktion des Klimas im Bereich der Rheinpfalz seit Mitte des 16. Jahrhunderts mit Hilfe von Zeitreihen der Weinquantität und Weinqualität. - Gustav Fischer Verlag, Jena, Stuttgart, New York, S. 99-112.

LAWRYNOWICZ, R. (1968): Untersuchungen zur Abhängigkeit des Beginns der Obstblüte von der Witterung. - Berichte des Deutschen Wetterdienstes Nr. **111**, Offenbach a. M.

LEINER, B. (1998): Grundlagen der Zeitreihenanalyse. - Oldenburg, 4. Ed., München, 169 S.

LEUSCHNER, C. & SCHIPKA, F. (2004): Vorstudie - Klimawandel und Naturschutz in Deutschland. - BfN-Skripten 115, Abschlußbericht eines F+E-Vorhabens zur Erstellung einer Literaturstudie, Bundesamt für Naturschutz, Bonn, 35 S.

LFU (2001): WaBoA digital - Digitaler Wasser- und Bodenatlas Baden-Württemberg (WaBoA). - Landesanstalt für Umweltschutz Baden-Württemberg (LFU), Ministerium für Umwelt und Verkehr Baden-Württemberg (MUV BW), 1. Ed., Stuttgart, CD-ROM.

- LORENZ, D.H., EICHHORN, K.W., BLEIHOLDER, H., KLOSE, R., MEIER, U., WEBER, E. (1994): Phänologische Entwicklungsstadien der Weinrebe (*Vitis vinifera* L. ssp. *Vinifera*). - *Vitic. Enol. Sci.* **49**: 66-70.
- LOZAN, J.L., GRAßL, H., HUPFER, P. (1998): Warnsignal Klima. Wissenschaftliche Fakten. - Verlag Wissenschaftliche Auswertungen, GEO, Hamburg, 465 S.
- LUBW (2006): Klimaatlas Baden-Württemberg. - 1. Ed., Landesanstalt für Umwelt, Messungen und Naturschutz Baden-Württemberg, CD-ROM.
- LÜERS, J. (2003): Agrarklimatologische und phänologische Auswertungen für das Mittlere Moseltal - Auswirkungen des Klimawandels auf die Weinrebe im Moselraum. - Dissertation an der Universität Trier, 144 S.
- LUTERBACHER, J., DIETRICH, D., XOPLAKI, E., GROSJEAN, M., WANNER, H. (2004): European seasonal and annual temperature variability, trends, and extremes since 1500. - *Science* **303** (5663): 1499-1503.
- MA (2005): Millennium Ecosystem Assessment Synthesis Report, Final Draft, 219 S.
- MALZER, H. & SCHLEMMER, H. (1975): Geodetic measurements and recent crustal movements in the southern upper Rhinegraben. - *Tectonophysics* **29**: 275-282.
- MARTIN-KILCHER, S. (1994): Die Römischen Amphoren aus Augst and Kaiseraugst. Ein Beitrag zur römischen Handels- und Kulturgeschichte. 2: Die Amphoren für Wein, Fischsauce, Südfrüchte (Gruppen 2-24). - *Forschungen in Augst, Römerstadt Augusta Raurica*, 472 S.
- MAY, P. (1961): The value of an estimate of fruiting potential in the Sultana. - *Vitis* **3**:15-26.
- MCGOVERN P. E., GLUSKER, D.L., EXNER, L.J., VOIGT, M.M. (1996): Neolithic resinated wine. - *Nature* **381**: 480-481.

MCGOVERN P. E., ZHANG, J., TANG, J., ZHANG, Z., HALL G. R., MOREAU R. A., NUÑEZ A., BUTRYM, E. D., RICHARDS, M. P., WANG, C., CHENG, G., ZHAO, Z., WANG, C. (2004): Fermented beverages of pre- and proto-historic China. - PNAS **101**(51): 17593-17598.

MENZEL, A. (2000): Veränderungen der phänologischen Jahreszeiten. - Klimastatusbericht 1999, Deutscher Wetterdienst (DWD), Offenbach a. M., S. 99-106.

MEYERSON, F.A.B. (2002): Executive Summary - Population Dynamics and Global Change. - Brown University & Population Resource Center.

MOORE, P.D., WEBB, J.A., COLLINSON, M.E. (1991): Pollen analysis. - Blackwell Scientific Publications, 2nd Ed., Oxford, U.K., 216 S.

MORISON, J.I.L. & LAWLOR, D.W. (1999): Interactions between increasing CO₂ concentration and temperature on plant growth. - Plant, Cell & Environment **22**(6): 659-682.

MÜLLER-WESTERMEIER, G. (2001): Die mittlere klimatischen Bedingungen - Teil (V) Phänologie und ihre Bedeutung für die Klimaüberwachung. - Klimastatusbericht 2001, Deutscher Wetterdienst (DWD), Offenbach a.M., S. 195-198.

MÜLLER-WESTERMEIER, G. (2006): Wetter und Klima in Deutschland. - Hirzel Verlag, 4. Ed., Stuttgart, 174 S.

MUNUERA GINER, M. & GARCIA SELLES, J. (2002): Allergenic pollens in south-east Spain. - Allergy **51**(1): 59-60.

MUSER, H. (1969): Die Rebsorten in Baden-Württemberg. - Rebe und Wein **22**: 8-12.

MYNENI, R.B., KEELING, C.D., TUCKER, C.J., ASRAR, G., NEMANI, R.R. (1997): Increased plant growth in the northern high latitudes from 1981-1991. - Nature **386**: 698-702.

NEUBAUER, F. (2006): Pliocene to recent surface motion and indenter-induced deformation in central Eastern Alps: tectonic vs. climate control. - Geophysical Research Abstracts **8**:1-2.

- NEWSOME, J. C. (1999): Pollen-vegetation relationships in semi-arid southwestern Australia. - Review of Palaeobotany and Palynology **106**(1-2): 103-119.
- NICHOLLS, R.J. & MIMURA, N. (1998): Regional issues raised by sea-level rise and their policy implications. - Climate Research **11**: 5-18.
- NILSON, E.T. & ORCUTT, D.M. (1996): The Physiology of Plants Under Stress. - Vol. 1, Abiotic Factors, Wiley, New Jersey, 704 S.
- OBREBSKA-STARKLOWA, B. (1994): The Effect of Weather and Climate Conditions on Pollen Fall. - Wyd. 1, Nakł. Uniw. Jagiellońskiego, Kraków, 46 S.
- ORCUTT, D.M. & NILSEN, E.T. (2000): The Physiology of Plants Under Stress: Soil and Biotic Factors. - Wiley, New Jersey, 696 S.
- PALM, R. & DAGNELIE, P. (1993): Tendence générale et effets du climat dans la prévision des rendements agricoles des différents pays des communautés européennes. - Office des Publications Officielles des Communautés Européennes, Luxemburg, 128 S.
- PANIGAI, L. & MONCOMBLE, D. (1988): La prévision de récolte en Champagne. Premiers résultats concernant la méthode des capteurs à pollen. - Le vigneron champenois **109**: 359-367.
- PARRY, M., ROSENZWEIG, C., IGLESIAS, A., FISCHER, G., LIVERMORE, M. (1999): Climate Change and world food security: a new assessment. - Global Environmental Change **9**(1): 51-67.
- PETIT, J.R., JOUZEL, J., RAYNAUD, D., BARKOV, N.I., BARNOLA, J.-M., BASILE, I., BENDERS, M., CHAPPELLAZ, J., DAVIS, M., DELAYQUE, G., DELMOTTE, M., KOTLYAKOV, V.M., LEGRAND, M., LIPENKOV, V.Y., LORIUS, C., PÉPIN, L., RITZ, C., SALTZMAN, E., STIEVENARD, M. (1999): Climate and atmospheric history of the past 420,000 years from the Vostock ice core, Antarctica. - Nature **399**: 429-436.

PFEFFER, K.-H. (1990): Süddeutsche Karstökosysteme. Beiträge zu Grundlagen und praxisorientierten Fragestellungen. - Tübinger Geographische Studien 105, Tübingen.

PFEFFER, K.-H. (2003): Karstlandschaften. Bundesrepublik Deutschland - Nationalatlas. Vol. 2, Relief, Boden und Wasser, Heidelberg, S. 94-95.

PFLUG, R. (1982): Bau und Entwicklung des Oberrheingrabens. Erträge der Forschung. - Wissenschaftliche Buchgesellschaft, Darmstadt, **184**: 145 S.

PHILLIPS, R. (2001): Die große Geschichte des Weins. - Campus Verlag, Frankfurt a. M., 383 S.

PLENEFISCH T. & BONJER K.P. (1997): The stress field in the Rhine graben area inferred from earthquake focal mechanisms and estimation of frictional parameters. - *Tectonophysics* **275**: 71-97.

PUC, M. & PUC, M.I. (2004): Allergenic Airborne Grass Pollen in Szczecin, Poland. - *Annals of Agricultural and Environmental Medicine* **11**: 237-244.

PULS, K.E. & VON, WAHL P.-G. (1991): Zum Einfluss von Niederschlägen auf Pollen in der Atmosphäre. - *Grana* **30**: 235-241.

RAHMSTORF, S. & SCHELLNHUBER H.-J. (2007): Der Klimawandel. - Beck-Verlag, 4. Ed., 144 S.

RAPP, J. (2000): Konzeption, Problematik und Ergebnisse klimatologischer Trendanalysen für Europa und Deutschland. - Dissertation zur Erlangung des Doktorgrades der Naturwissenschaften, Institut für Meteorologie und Geophysik, Universität Frankfurt a. M., 145 S.

RAPP, J. & SCHÖNWIESE, C.-D. (1995): Niederschlags- und Temperaturtrends in Baden-Württemberg 1955-1994 und 1895-1994. - Johann Wolfgang Goethe-Universität Frankfurt, Institut für Meteorologie und Geophysik: 114-170.

REINECK, H.E. & SINGH, I.B. (1986): Depositional Sedimentary Environments, with Reference to Terrigenous Clastics. - Springer, 2. Ed., Berlin, 551 S.

ROCZNIK, K. (1995): Wetter und Klima in Deutschland. - Hirzel Verlag, Stuttgart, Leipzig, 152 S.

RODRIGUEZ-RAJO, F.J., MENDEZ, J., JATO, V. (2005): Factors affecting pollinisation ecology of *Quercus anemophilous* species in north-west Spain. - Botanical Journal of the Linnean Society **149**: 283-297.

RÖTZER, T. & CHMIELEWSKI, F.M. (2001): Phenological maps of Europe. - Climate Research **18**(3): 249-257.

RUDDIMAN, W.F. (2003): The Anthropogenic Greenhouse Era Began Thousands Of Years Ago. - Climatic Change **61**: 261-293.

RUPP, D. (1996): Vom Stein zum Wein - welchen Einfluss hat der Boden auf den Weincharakter? - Deutsches Weinbau-Jahrbuch **47**: 23-30.

RUTISHAUSER, T. & STUDER, S. (2007): Klimawandel und der Einfluss auf die Frühlingsphänologie. - Schweizer Zeitschrift für das Forstwesen **158** (5), 105-111.

SCHEID, G. & BERGMANN, K.-C. (2004): 20 Jahre Stiftung Deutscher Polleninformationsdienst (1983-2003). - Allergo Journal **13**: 261-268.

SCHMID, R. (1997): Der Wein und seine Herkunft. Ein untrennbares Gespann. - Der Winzer **53**(10): 6-8.

SCHMITH, T. (2001): Global warming signature in observed winter precipitation in Northwestern Europe? - Climate Research **17**: 263-274.

SCHNELLE, F. (1965): Beiträge zur Phänologie Europas Teil I, Fünf Mittelwertskarten, Erstfrühling bis Herbst. - Berichte des Deutschen Wetterdienstes Nr. **101**, Offenbach a. M.

SCHNELLE, F. (1966): Abriss einer Methodik der Phänologie. - Mitteilungen des Deutschen Wetterdienstes Nr. **38**(5), 28 S.

SCHNELLE, F. (1981): Beiträge zur Phänologie Europas Teil IV, Lange Phänologische Beobachtungsreihen in West-, Mittel- und Osteuropa. - Berichte des Deutschen Wetterdienstes Nr. **158**, Offenbach a. M.

SCHNELLE, F. (1993): Unterschiede der Weinqualität in 13 Jahrhunderten in Abhängigkeit von Klimaschwankungen. - Mitteilungen Klosterneuburg, **43**(1/2), 47-61.

SCHÖNWIESE, C.-D. (1995): Klimaänderungen. Daten, Analysen, Prognosen. - Springer, Berlin, 224 S.

SCHÖNWIESE, C.-D. (2002): Beobachtete Klimatrends im Industriezeitalter: Ein Überblick Global/Europa/Deutschland. - Report of the Department for Meteorology und Geophysics, University of Frankfurt a. M. **106**: 1-93.

Schönwiese, C.-D (2003a): Klimatologie. - Ulmer (UTB), 2. Ed., Stuttgart, 440 S.

SCHÖNWIESE, C.-D. (2003b): Die Rolle des Klimafaktors Mensch und des Klimaschutzes im Konzept der Nachhaltigkeit. - Report at the "Forum in Berlin", June 24th 2003.

SCHÖNWIESE, C.-D. (2003c): Mit welchen Klimaänderungen müssen wir rechnen ? Eine aktuelle wissenschaftliche Übersicht zum Problem des globalen anthropogenen Klimawandels. - Report at the Colloquium "Elbeflut 2002 - Ein Menetekel?", Deutsche Gesellschaft Club of Rome, Hamburg, June 13th 2003.

SCHÖNWIESE, C.-D. (2004): Globaler und regionaler Klimawandel - Indizien der Vergangenheit, Modelle der Zukunft. - Forum Geoökologie, Tagung „Erde - Atmosphäre - Kosmos, unsere Verantwortung in globalen Zukunftsfragen“, VgöD Symposium 2004, Hamburg, April 17th 2004.

SCHUMANN, F. (1999): 2000 Jahre Weinkultur. - Das Deutsche Weinmagazin **26**: 20-24.

SEITZ, U. (1989): Wein. - Palmengarten, Frankfurt a. M., Sonderheft **12**, 8. S.

SIMMONS, L.G. (1996): Changing the Face of the Earth - Culture, Environment, History. - Blackwell Publishers, 2 Ed., 464. S.

SPARKS, T.H. & MENZEL, A. (2002): Observed changes in seasons - an overview. - International Journal of Climatology **22** (14): 1715-1725.

SPIEKSMASMA, F.T.M., NOORT, P. VAN, NIKKELS, H. (2000): Influence of nearby stands of Artemisia on street-level versus roof-top-level ratio's of airborne pollen quantities. - Aerobiologia **16**: 21-24.

STEIN, E., ALTENBERGER, U., KREHER-HARTMANN, B. (2001): Geologie des Kristallinen Odenwaldes - seine magmatische und metamorphe Entwicklung. - In: Jber. Mitt. Oberrhein. Geol. Ver., Stuttgart, N.F. **83**: 89-111.

STOCK, M. (2003): Chancen und Risiken von Regionen im Klimawandel: Welche Strategien kann die Wissenschaft ableiten? - in: Karl H, Pohl J.: Raumorientiertes Risikomanagement in Technik und Umwelt, Verlag der ARL, Hannover, S. 35-62.

STOCK, M. (2005): KLARA - Klimawandel - Auswirkungen, Risiken, Anpassung. - Potsdam Institute for Climate Impact Research, Potsdam, PIK Report 99, 200 S.

TINZ, B. (2003): Die Nordatlantische Oszillation und ihr Einfluss auf die europäischen Lufttemperaturen. - Deutscher Wetterdienst, Klimastatusbericht 2002: 32-41.

TORMO, R., SILVA, I., MUÑOZ, A., TAVIRA, J., MORENO, A. (2001): Environmental factors affecting airborne pollen concentrations in anemophilous species of Plantago. - Annals of Botany **87**:1-8.

TRENKLE, H. & RUDLOFF, H. VON (1980) Das Klima im Schwarzwald. - In: Liehl, E. & Sick, W.D.: Der Schwarzwald. Beiträge zur Landeskunde: S. 59-100.

UVOP (1999): TG/50/8. Test Guideline for the conduct of tests, for distinctness, uniformity and stability. Grapevine (*Vitis L.*). - Office of UPOV (The International Union for the Protection of New Varieties of Plants), Geneva, 49 S.

VEGA-MARAY, A.M., VALENCIA-BARRERA, R.M., FERNÁNDEZ-GONZÁLES, D., FRAILE, R. (2003): Urticaeae Pollen Concentration in the Atmosphere of North Western Spain. - *Annals of Agricultural and Environmental Medicine* **10**: 249-255.

VINCENS, A., DUBOIS, M.A., GUILLET, B., ACHOUNDONG, G., BUCHET, G., KAMGANG KABEYENE BEYALA, V., DE NAMUR, C., RIERA, B. (2000): Pollen-rain-vegetation relationship along a forest-savanna transect in southeastern Cameroon. - *Review of Palaeobotany and Palynology* **110**(3-4): 191-208.

VOGT, E. & SCHRUFT, G. (2000): Weinbau. - 8. Ed., Ulmer (Eugen), Stuttgart (Hohenheim), 456 S.

VORWERK, H.F.T. & SPIEGELHALTER, E.A. (1992): Der Schwarzwald. Eine deutsche Kulturlandschaft in Geschichte und Gegenwart. - Herder, Freiburg im Breisgau, 199 S.

WAHL P.G. VON & PULS, K.E. (1989): The emission of mugwort pollen (*Artemisia vulgaris*) and its flight in the air. - *Aerobiologia* **5**: 55-63.

WCED (1987): Our Common Future - "The Bruntland Report". - World Commission on Environment and Development (WECD), Oxford University Press, New York, 400 S.

WILLNER, A. P., MASSONNE, H.-J., KROHE, A. (1991): Tectono-thermal evolution of a part of a Variscan magmatic arc - The Odenwald in the Mid-German Crystalline Rise. - *International Journal of the Earth Sciences* **80**(2): 369-389.

WINKLER, H., OSTROWSKI, R., WILHELM, M. (2001): Pollenbestimmungsbuch der Stiftung Deutscher Polleninformationsdienst. - TAKT-Verlag, Media-Print Informationstechnologie Paderborn, Paderborn, 78 S.

Xu, Q., Li, Y., Yang, X., Zheng, Z. (2006): Quantitative relationship between pollen and vegetation in northern China. - Science in China Series D: Earth Sciences **50**(4): 582-599.

ZACHOS, J., PAGANI, M., SLOAN, L., THOMAS, E., BILLUPS K. (2001): Trends, Rhythms, and Aberrations in Global Climate 65 Ma to Present. - Science **292**: 686-693.

ZADOKS, J.C., CHANG, T.T., KONZAK, C.F. (1974): A decimal code for the growth stages of cereals [Maize, sorghum, forage grasses and dicotyledonous crops]. - Weed Research **14**(6): 415-421.

ZEMP, M., HÄBERLI, W., HOELZLE, M., PAUL, F. (2006): Alpine glaciers to disappear within decades? - Geophysical Research Letters, **33**.

Internetquellen:

DEUTSCHES WEININSTITUT (2007):

www.deutscheweine.de

DEUTSCHER WETTERDIENST (DWD) (2007):

www.dwd.de

DEUTSCHES ZENTRUM FÜR LUFT- UND RAUMFAHRT (DLR) (2006):

www.dlr.de

ENCYCLOPÆDIA BRITANNICA (2007):

www.britannica.com

LANDESZENTRALE FÜR POLITISCHE BILDUNG BW (2007):

www.lpb-bw.de

NATIONAL AERONAUTICS AND SPACE ADMINISTRATION (NASA) (2007):

<http://www.nasa.gov/>

RÖHR (2007):

www.oberrheingraben.de

SCHWÄBISCHE ALB TOURISMUSVERBAND E.V. (2007):

www.schwaebischealb.de

STATISTISCHES BUNDESAMT (2007):

www.destatis.de

UMWELTMINISTERIUM BW (2007):

www.themenpark-umwelt.baden-wuerttemberg.de

WIKIPEDIA (2007):

www.wikipedia.de

8 Anhang

- I Pollendaten (PID)**
- II Weindaten (STALA BW & LVWO)**
- III Klimadaten (DWD)**
- IV Landnutzungs-/Vegetationsdaten (CORINE)**

Die Anlagen befinden sich in Form verschiedener Dokumente auf der beiliegenden CD.

Bildungsgang

Name:	Michael J. Blos	
Geburtstag:	03.03.1976	
Geburtsort:	Karlsruhe	
Schulausbildung:	09/1982 - 07/1986	Grundschule in Ettlingen („Schillerschule“)
	09/1986 - 06/1995	Eichendorff-Gymnasium in Ettlingen
Schulabschluss:	22. Juni 1995	Abitur
Studium:	09/1996 - 10/2003	Studium der Geologie-Paläontologie an der Eberhard-Karls-Universität Tübingen
	25. September 1999	Vordiplom
Studienabschluss:	08/2000 - 06/2001	„Study of Geosciences“ an der Northern Arizona University (NAU) in Flagstaff, Arizona, U.S.A.
	24. Oktober 2003	Dipl.- Geologe
Promotion:	02/2004 - 12/2007	Anfertigung der Dissertation am Institut für Geowissenschaften, Lehrstuhl für Biogeologie und Angewandte Paläontologie an der Eberhard-Karls-Universität Tübingen sowie am Forschungsinstitut und Naturmuseum Senckenberg in Frankfurt a. M., Abteilung für Limnologie und Naturschutzforschung

Thema der Dissertation:**Palynofloren und phänologische Daten als Umweltindikatoren
- Eine Pilotstudie -**

Betreuer: Prof. Dr. Dr. hc. Volker Mosbrugger

Berichterstatter: Prof. Dr. Dr. hc. Volker Mosbrugger
Priv.-Doz. Dr. Anita Roth-Nebelsick