



Schweizerische Eidgenossenschaft
Confédération suisse
Confederazione Svizzera
Confederaziun svizra

Eidgenössisches Departement des Innern EDI
Bundesamt für Meteorologie und Klimatologie MeteoSchweiz

Arbeitsbericht MeteoSchweiz Nr. 237

Die Repräsentativität der Pollenmessstationen des Schweizer Pollenmessnetzes

Regula Gehrig



Arbeitsbericht MeteoSchweiz Nr. 237

Die Repräsentativität der Pollenmessstationen des Schweizer Pollenmessnetzes

Regula Gehrig

Bitte zitieren Sie diesen Arbeitsbericht folgendermassen

Gehrig R.: 2012, Die Repräsentativität der Pollenmessstationen des Schweizer Pollenmessnetzes, *Arbeitsberichte der MeteoSchweiz*, **237**, 76 pp.

Herausgeber

Bundesamt für Meteorologie und Klimatologie, MeteoSchweiz, © 2012

MeteoSchweiz
Krähbühlstrasse 58
CH-8044 Zürich
T +41 44 256 91 11
www.meteoschweiz.ch

Weitere Standorte
CH-8058 Zürich-Flughafen
CH-6605 Locarno Monti
CH-1211 Genève 2
CH-1530 Payerne

Inhaltsverzeichnis

Inhaltsverzeichnis	i
Zusammenfassung	iii
1 Einleitung und Ziele	1
2 Methoden	3
2.1 Daten	3
2.2 Datenanalyse	5
2.3 Clusterverfahren	5
2.3.1 Das hierarchische Verfahren	6
2.3.2 Partitionierende Verfahren	6
2.4 Regression	6
3 Resultate Clusteranalyse	9
3.1 Gruppierung der Pollenmessstationen zu homogenen Regionen	9
3.1.1 Mittelwerte über die sieben untersuchten Arten	9
3.1.2 Gruppierung der einzelnen Pollenarten	12
3.2 Einbezug von weiteren Messstationen	17
3.2.1 SAPALDIA Stationen 1991-1993, 2002	17
3.2.2 Gütsch 1994 und 1995	19
3.2.3 Wiesen 1991-1993	20
3.2.4 Val de Nendaz 2005	21
4 Diskussion der Clusteranalyse	23
4.1 Gruppierung der Pollenmessstationen zu homogenen Regionen	23
4.1.1 Das Mittelland	23
4.1.2 Basel und Buchs	24
4.1.3 Das Wallis mit der Einzelregion Visp	24
4.1.4 Das Tessin	25
4.1.5 Höhenlagen oberhalb von 600 m	25
4.2 Vergleich mit den floristischen Regionen des Schweizer Verbreitungsatlas der Farn- und Blütenpflanzen	28
4.3 Vergleich mit den Temperatur- und Niederschlagsregionen der Schweiz	29
5 Resultate der Regressionsanalysen	31
5.1 Regressionsmodell Birken von Münsterlingen	31
5.2 Regressionsmodell Birken von Basel	35
5.3 Regressionsmodelle Birken der anderen Pollenmessstationen	39
6 Diskussion Regression	41
7 Schlussfolgerungen	43
Literatur	46
Anhang 1	49
Anhang 2	63

Zusammenfassung

Das Schweizer Pollenmessnetz wird durch MeteoSchweiz betrieben und umfasst 14 Messstationen, von denen acht im Mittelland liegen. Das Ziel dieser Arbeit ist, die Pollenmessstationen aufgrund ihrer Ähnlichkeit zu gruppieren und Aussagen zu ihrer Repräsentativität zu machen. Neben den Messstationen des Schweizer Pollenmessnetzes stehen weitere Stationen zur Verfügung, die während verschiedenen Projekten jeweils für ein bis vier Jahre in Betrieb waren. Die verwendeten Methoden sind die hierarchische Clusteranalyse (Dendrogramme), die K-means- und die PAM-Methode (partitioning around medoid). Als Distanzmass zwischen den Stationen wurden der Pearson Korrelationskoeffizient der logarithmierten Tagespollenkonzentrationen berechnet. Die Korrelation wurde für die Jahre 2005 – 2009 für zehn allergene Pollenarten berechnet. Das Clustering wurde für die Pollenarten einzeln und für das Mittel über die sieben häufigsten allergenen Arten berechnet.

Die Messstationen des Schweizer Mittellands teilen sich im Mittel der allergenen Arten in zwei Cluster auf: das westliche Mittelland mit Genève, Lausanne, Neuchâtel und Bern und das zentrale und östliche Mittelland mit Luzern, Zürich und Münsterlingen. Eine Zwischenstellung zwischen beiden Mittellandcluster nimmt Bern ein, wobei die Station bei den Hauptpollenarten der Westschweiz zugeordnet wird. Einzelcluster werden durch Buchs SG, Basel, La Chaux-de-Fonds, Visp und Davos gebildet. Das Tessin ist deutlich verschieden von der Alpennordseite und bildet ein eigenes Cluster. Obwohl Locarno und Lugano im selben Cluster liegen, ist der Unterschied zwischen beiden Stationen wesentlich grösser als im Mittelland.

Die meisten Cluster der einzelnen Pollenarten zeigen ähnliche Gruppierungen wie das Mittel aller Pollenarten. Bei den Gräserpollen bildet sich jedoch schon viel früher ein gemeinsames Mittellandcluster als bei den Birken- oder Eschenpollen. Deutlicher werden die Unterschiede zwischen den Stationen mit Pollenarten, die nicht an allen Stationen gleich häufig vorkommen. Mit den zusätzlichen Methoden K-means und PAM werden ähnliche Gruppen erreicht wie mit dem Dendrogramm. Die grössten Unterschiede zwischen den Methoden zeigen sich bei der Zuordnung der Stationen Buchs, Basel und Bern, die teilweise den Mittellandclustern zugeordnet oder als Einzelcluster berechnet werden.

Um die Aussagekraft der Gruppierung zu überprüfen, wurde mittels robuster Regression der tägliche Pollenflug einer Station mit Hilfe der Stationen desselben Clusters oder nahe stehenden Stationen modelliert. Zusätzlich wurden auch Wetterparameter als erklärende Variablen mit eingeschlossen. Regressionsmodelle wurden vorerst nur für die Birkenpollen und ohne die Messstation Davos erstellt. Als Trainingsdaten der Regressionsmodelle wurden die Jahre 2005-2009 verwendet, als Testjahre die Jahre 2000 – 2004 und 2010. Die Korrelationen zwischen Daten und Modell liegen für die Testjahre bei 0.79 bis 0.93. Eine gute Modellierung des Verlaufs der Pollensaison wird für Stationen des Mittellands erreicht. Für Stationen mit einer Korrelation der Trainingsdaten über 0.88 sind die modellierten Verläufe sehr gut: dazu gehören Lausanne, Neuchâtel, Zürich, Luzern und Münsterlingen. Die Höhe der einzelnen Pollenbelastungs-Peaks kann jedoch in Einzelfällen verfehlt werden. Für Stationen mit einer Korrelation der Trainingsdaten von mindestens 0.85 wird der Verlauf der Pollensaison recht gut modelliert, die Höhe der Peaks wird jedoch teilweise deutlich verfehlt (Bern,

Buchs, Basel, Genève). Ungenügende Modelle werden für Stationen erreicht, welche Korrelationen unter 0.85 aufweisen (Visp, La Chaux-de-Fonds, Lugano, Locarno).

Im Schweizer Mittelland wird der Pollenflug der allergenen Arten durch das bestehende Messnetz gut beschrieben. Für Höhenlagen oberhalb von rund 700 – 800 m können jedoch nur punktuelle Angaben gemacht werden, da nur die beiden Messstationen La Chaux-de-Fonds und Davos zur Verfügung stehen.

1 Einleitung und Ziele

Unter den allergischen Erkrankungen in der Schweiz sind die Allergien auf Pollen die wichtigste Gruppe: rund 15-17% der Schweizer Bevölkerung leidet an einer Pollenallergie. Auslöser der allergischen Reaktion sind Proteine und weitere Substanzen von Pollen, meist windblütiger Pflanzen, die in sehr grossen Mengen während der Blütezeit in der Luft sind. In der Schweiz lösen die sechs Hauptarten Hasel-, Erlen-, Eschen-, Birken-, Gräser- und Beifusspollen den grössten Teil der allergischen Reaktion aus. Der Pollenflug wird hauptsächlich durch die Häufigkeit und das Vorkommen der allergenen Pflanzenarten und durch das Wetter, das die Pollenfreisetzung und den -transport bestimmt, beeinflusst. Die Messung des Pollenflugs bildet die Grundlage für umfassende Informationen, Messdaten und Prognosen, für Allergikerinnen und Allergiker aber auch für die Ärzte, die ihre Behandlungen auf Polleninformationen abstützen. Pollenmessungen sind jedoch auch wichtig für das Monitoring des Pollenflugs, d.h. Änderungen im Pollenflug, bedingt durch Klimaänderung oder menschliche Einflussnahme können mit langen Pollenmessreihen nachgewiesen werden und daraus Änderungen der Auslöser für Pollenallergien festgehalten werden.

Das Schweizer Pollenmessnetz wird seit 1993 durch das Bundesamt für Meteorologie und Klimatologie MeteoSchweiz betrieben und besteht aus 14 Messstationen (Gehrig et al. 2010). Pollenmessungen wurden jedoch schon vor 1993 in der Schweiz durchgeführt und wurden seit 1982 durch die Arbeitsgruppe für Aerobiologie, eine wissenschaftliche Vereinigung von Allergologen, Biologen und Meteorologen, koordiniert. Die Hirst-Typ-Pollenfallen (Mandrioli et al. 1998) wurden meist auf Spitälern aufgestellt, wo die in der Gruppe engagierten Wissenschaftler ihre Tätigkeit ausübten. MeteoSchweiz übernahm 1993 das damals existierende Pollenmessnetz. Die Mehrheit der Pollenfallen steht im Mittelland, meist in grösseren Städten. Das Wallis, der Jura und subalpine Lagen werden durch je eine Pollenfalle repräsentiert, das Tessin durch zwei. Das so gewachsene Pollenmessnetz wurde nie auf Repräsentativität der Pollenfallen oder auf ihre Ähnlichkeiten untersucht. Es gibt zudem mehrere Regionen in der Schweiz, welche durch das Schweizer Pollenmessnetz nicht abgedeckt sind, so zum Beispiel Höhenlagen zwischen 600 und 1400 m, d.h. der ganze Voralpenbogen und auch die Alpen sind mit der einzigen alpinen Messstation Davos nur ungenügend abgedeckt.

Über die Repräsentativität von Pollenmessnetzen existieren kaum Untersuchungen. In einem Teil des Französischen Pollenmessnetzes wurde die räumliche Variabilität der Messstationen analysiert (Rieux et al. 2008). Als Ähnlichkeitsmass zwischen zwei Pollenmessstationen wurde die „mean pollinic distance (mPD)“ definiert und mittels Clusteranalysen wurden Gruppen gebildet. Die mPD ist sehr stark vom absoluten Wert der Pollenkonzentration abhängig und erst in einem zweiten Schritt vom Muster der Pollensaison. Latorre und Belmonte (2004) untersuchten die zeitliche und räumliche Variation von Poaceae Pollen in Katalonien. Korrelationen und Clusteranalysen mit Euklidischer Distanz wurden dabei angewandt. Die räumliche Variabilität von Pollenmessstationen ist jedoch durch sehr viele Übersichtsstudien belegt, welche den Pollenflug an verschiedenen Messstationen vergleichen (Emberlin et al. 2000, Spijksma et al. 2000, Leuschner 1991, Gehrig und Peeters, 2000).

Die Repräsentativität von Wetterstationen wurde in verschiedenen Studien untersucht. Begert (2008) analysierte aufgrund von Temperatur und Niederschlag mittels Clusteranalysen die Repräsentativität von Stationen des Swiss National Basic Climatological Networks von MeteoSchweiz für verschiedene Regionen der Schweiz. Als Ähnlichkeitsmass zwischen den Stationen wurde der Spearman Korrelationskoeffizient verwendet. Mit derselben Methode wurden die langen Schneemessreihen der Schweiz gruppiert (Wüthrich et al. 2010). Weitere neuere Arbeiten für die Klimatypisierung sind in der Arbeit von Begert (2008) aufgeführt.

Innerhalb des Schweizer Verbreitungsatlas der Farn- und Blütenpflanzen (Wohlgemuth 1993) wurde die Schweiz in biogeographische Regionen aufgeteilt. Methodisch wurde ein Clusterverfahren auf der Basis von floristischen Verbreitungsmustern gewählt. Die Schweiz wurde so in 5, 11, 19 oder sogar 30 floristische Regionen aufgeteilt. Da die Vegetation einen entscheidenden Einfluss auf den Pollenflug hat, wird es interessant sein, die Pollenregionen mit diesen floristischen Regionen zu vergleichen.

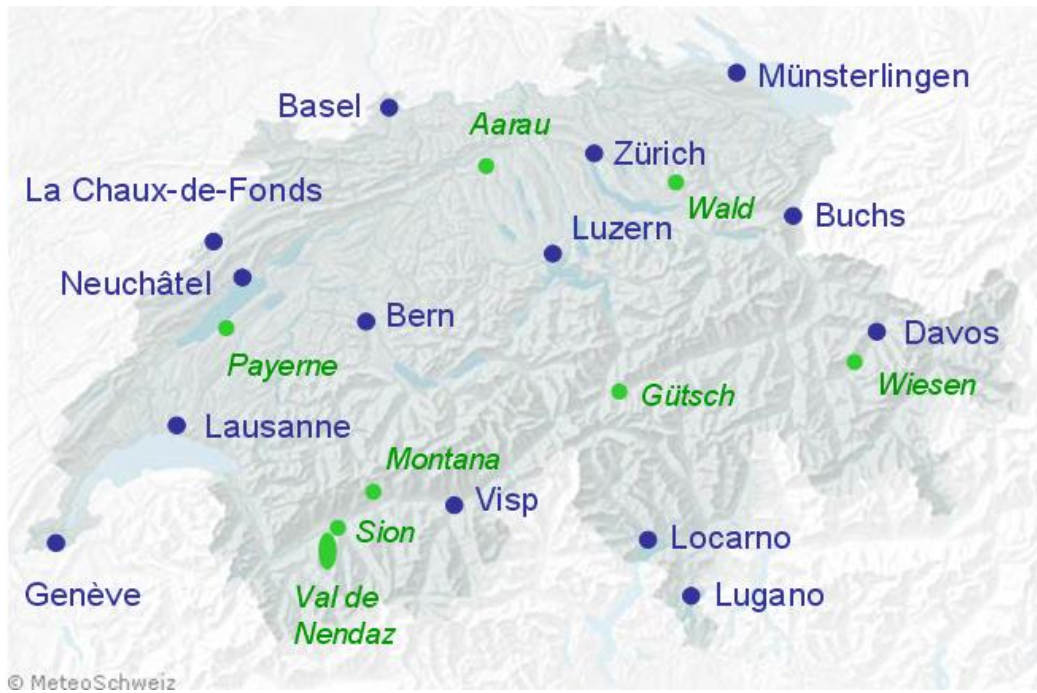
Die vorliegende Untersuchung soll die bestehenden Pollenmessstationen aufgrund ihrer Ähnlichkeit im Verlauf der Saisonkurven der wichtigsten Pollenarten gruppieren. Daraus werden homogene Pollenregionen der Schweiz definiert und die dafür repräsentativen Messstationen bezeichnet. Weiter sollen aus bestehenden Zusatzmessungen von Pollenfallen, die nur während kurzer Zeit in Betrieb waren, Lücken im Pollenmessnetz beschrieben werden. In einem zweiten Schritt wird mit Regressionsanalysen untersucht, ob Pollenfallen einer Region für die Prognose einer ähnlichen Station derselben Region verwendet werden können. Die Charakterisierung der räumlichen Variabilität des Pollenflugs hat zwei wichtige Auswirkungen auf den Betrieb des Pollenmessnetzes. Einerseits erlaubt es regionale Polleninformationen auf der Basis von homogenen Pollenregionen zu erstellen, andererseits ist es ein Werkzeug um die räumliche Repräsentativität des Messnetzes zu optimieren.

2 Methoden

2.1 Daten

Die räumliche Gruppierung der Messstationen dient als Grundlage für die Repräsentativität der 14 Pollenmessstationen der Schweiz (Figur 1, Tabelle 1). Die Gruppierung soll Stationen zusammen fassen, die einen ähnlichen zeitlichen Verlauf der täglichen Pollenkonzentrationen aufweisen. Dafür werden die Pollendaten des Schweizer Pollenmessnetzes NAPOL der Jahre 2005 – 2009 verwendet. Die Gruppierung erfolgt aufgrund der mittleren Tagespollenkonzentrationen (Pollen/m³). Die Auswahl der Pollenarten für die Gruppierung umfassen die wichtigsten allergenen Pollenarten, welche in ausreichenden Mengen in der Luft sind, d.h. dass ihr Seasonal Pollen Index (SPI, Jährlich Summe der täglichen Pollenkonzentrationen) über 500 liegt. Dies sind Hasel, Erle, Esche, Birke und Gräser. Zusätzlich werden als weitere mässig allergene Arten die Eiche und die Buche mitberücksichtigt. Die Eiche weist an allen Stationen ausser in Davos einen SPI von über 1000 auf, während für die Buche, die ausgesprochene Blühjahre zeigt, die 5 letzten Blühjahre von 2003-2009 ohne 2005 und 2008 verwendet wurden. Gruppierungen wurden auch mit Hagebuche, Platane und Pappel erstellt. Diese Arten sind jedoch an einigen Messstationen nicht in genügend hohen Konzentrationen vorhanden. Bei der Platane weisen nur 7 Stationen einen mittleren SPI von mehr als 500 auf, bei der Pappel 9 Stationen und bei der Hagebuche 6 Stationen.

In verschiedenen Projekten wurden weitere Messstationen in der Schweiz während einigen Jahren betrieben. Für das Projekt SAPALDIA (Wüthrich et al. 1995) wurden in Montana (1348 m), Payerne (490 m), Wald ZH (630 m) und in Suhr AG (406 m, hier Aarau genannt) die Pollen in den Jahren 1991-1993 und 2002 gemessen. Auf dem Gütsch Gotthard (2287 m) liegen Pollenmessungen von 1994 und 1995 vor und aus Wiesen (1420 m) von 1991 – 1993. Im Val de Nendaz im Wallis wurde im Jahr 2005 ein Höhenprofil mit Pollenfallen aufgestellt (Sion 482 m, Plan Baar 682 m, Beuson 1040 m, Planchouet 1510 m, Siviez 1730 m, und Cleuson 2100 m). Diese Stationen sollen mit den Stationen des Pollenmessnetzes verglichen und so die Regionalisierung der Schweiz verfeinert werden.



Figur 1: Das Schweizer Pollenmessnetz (blau) und die zusätzlich verwendeten Pollenmessstationen (grün)

Pollenmessstation	Abkürzung	Höhe
Basel	PBS	273 m
Bern	PBE	560 m
Buchs	PBU	445 m
Davos	PDS	1600 m
Genève	PGE	380 m
La Chaux-de-Fonds	PCF	1040 m
Lausanne	PLS	570 m
Locarno	PLO	366 m
Lugano	PLU	273 m
Luzern	PLZ	460 m
Münsterlingen	PMU	410 m
Neuchâtel	PNE	490 m
Visp	PVI	650 m
Zürich	PZH	556 m

Tabelle 1: Die Pollenmessstationen des Schweizer Pollenmessnetzes

2.2 Datenanalyse

Für die Gruppierung der Pollenmessstationen wird das statistische Verfahren der Clusteranalyse verwendet (Kaufmann & Rousseeuw, 2005). Die Clusteranalyse teilt die Beobachtungen in homogene Gruppen mit möglichst ähnlichen Beobachtungseinheiten ein.

Als Ähnlichkeitsmass zwischen den Beobachtungen wird der Pearson Korrelationskoeffizient der logarithmierten Tagespollenkonzentrationen verwendet, da die Pollenkonzentrationen schief verteilt sind. Da viele Nullwerte im Datensatz vorhanden sind, wird für die Logarithmierung 1 zur Tagespollenkonzentration addiert. Der Einfluss dieser Addition von 1 auf die Tagespollenkonzentration ist vernachlässigbar, da die Messungenauigkeit der Pollendaten grösser ist. Negative Korrelationen werden anschliessend auf Null gesetzt, damit ein Distanzmass berechnet werden kann. Als Distanzmass wird der Abstand zwischen zwei Stationen j und k wie folgt definiert:

$$d(\underline{x}_j, \underline{x}_k) = 1 - \text{cor}(\underline{x}_j, \underline{x}_k).$$

Die von Rieux et al. (2008) vorgeschlagene Pollinic Distance (PD)

$$PD_{jk} = \sum_{i=1}^{i=365} |x_{ij} - x_{ik}| / \sum_{i=1}^{i=365} (x_{ij} + x_{ik})$$

wird nicht verwendet, da sie mit absoluten Differenzen der Pollenkonzentrationen von zwei Stationen (j und k) arbeitet und deshalb hauptsächlich Unterschiede in Bezug auf die Intensität des Pollenflugs aufzeigt. Korrelationen sind besser geeignet um Unterschiede bezüglich der Intensität und des Verlaufs der Pollensaison zu beschreiben.

Pro Pollenart wurde die Länge der Pollensaison durch das früheste und späteste regelmässige Auftreten von Pollen dieser Art (mindestens fünf aufeinander folgende Tage mit Pollenflug) an den 14 Messstationen bestimmt. Korrelationen wurden nur für die Zeit der so definierten Pollensaison gerechnet. Korrelationskoeffizienten wurden für jedes Jahr und jede Art separat berechnet. Anschliessend wurden für jede Pollenart Mittelwerte über die 5 Jahre gebildet. Um ein definitives Distanzmass zwischen zwei Pollenmessstationen für alle untersuchten Arten zu erhalten, wurden die Mittelwerte der verschiedenen Pollenarten gemittelt.

2.3 Clusterverfahren

Das Ziel der Clusteranalyse ist die Bildung von Gruppen ähnlicher Objekte. Je grösser die Ähnlichkeit innerhalb eines Clusters und je grösser die Differenz zu anderen Clustern ist, umso besser ist die Gruppierung. Es gibt verschiedene Clusterverfahren, darunter das hierarchische und das partitionierende Clustering (Stahel 2010, Wilks 2006).

2.3.1 Das hierarchische Verfahren

Die Grundlage für ein hierarchisches Verfahren bildet ein Unähnlichkeitsmass für die Beobachtungen. Im agglomerativen hierarchischen Clustering werden beginnend mit n Clustern die Beobachtungen mit den kleinsten Unähnlichkeiten zusammengefasst. Berechnung der Unähnlichkeit dieses neuen Clusters mit den andern Beobachtungen führen zu fortlaufend grösseren Gruppierungen. Das Resultat der Gruppierung wird mit einem Dendrogramm dargestellt. Es gibt verschiedene Methoden, wie die Unähnlichkeit zwischen den neu gebildeten Clustern und/oder den restlichen Beobachtungen berechnet werden. Die gewählte Methode in dieser Arbeit ist das „average linkage“. Dabei wird die Distanz zwischen zwei Clustern als die mittlere Distanz der Objekte des ersten Clusters ($i_1 \in G_1$) und den Objekten des zweiten Clusters ($i_2 \in G_2$) berechnet. Diese Distanz wird für alle Paare von Objekten des ersten und zweiten Clusters gerechnet und dann gemittelt.

$$\text{Average linkage: } d\langle G_1, G_2 \rangle = \text{ave}\langle d\langle i_1, i_2 \rangle \mid i_1 \in G_1, i_2 \in G_2 \rangle.$$

2.3.2 Partitionierende Verfahren

Bei den zwei partitionierenden Verfahren K-means und PAM (Partitioning around medoids) muss die Anzahl Cluster, in welche die Daten aufgeteilt werden, schon zu Beginn der Analyse festgelegt werden. Das Inhomogenitätsmass ist die Summe der quadrierten Abstände zwischen den Beobachtungen des Clusters und seinem Mittelpunkt. Die Algorithmen suchen das Minimum dieses Gütemasses. Der Algorithmus wird so lange wiederholt, bis sich keine Verbesserung des Kriteriums mehr erreichen lässt. Beim K-means Algorithmus werden die k Clusterzentren zufällig ausgewählt, bei PAM benützt man Beobachtungen als Zentroide (Stahel W. 2010, Skript Angewandte Multivariate Statistik).

Der Silhouettenplot zeigt auf, wie gut die durch K-means oder PAM bestimmten Cluster getrennt sind. Der Silhouettenwert für ein Objekt i ist das Verhältnis der Unähnlichkeiten von i zum Zentrum (oder Zentroid) des eigenen Clusters und zum Nachbarcluster (Stahel W. 2010, Skript Angewandte Multivariate Statistik). Beobachtungen mit einem grossen Silhouettenwert $s(i)$ gegen 1 werden sehr gut gruppiert, ein kleiner $s(i)$ Wert um 0 zeigt, dass die Beobachtung zwischen zwei Clustern liegt. Beobachtungen mit negativen $s(i)$ wurden dem falschen Cluster zugeordnet.

2.4 Regression

Um die Qualität der Gruppierung zu überprüfen, wurde nach der Clusteranalyse pro Station für die Birkenpollen ein Regressionsmodell erstellt. Als erklärende Variablen dienen die Pollendaten der Nachbarstationen desselben Clusters. Aufgrund der Wetterabhängigkeit des Pollenflugs werden auch Wettervariablen wie Tagesmitteltemperatur, Maximal- und Minimaltemperatur, mittlere und minimale relative Feuchte, Sonnenscheindauer, Niederschlag und mittlere Windgeschwindigkeit als erklärende Variablen geprüft. Die Pollendaten wurden mit dem Logarithmus transformiert, da es sich um

Konzentrationen handelt und sie stark schief verteilt sind (first aid transformation nach J.W. Tukey, Stahel 2008). Mit diesem Modell soll untersucht werden, wie genau der Pollenflug einer Station mit Hilfe der Nachbarstationen modelliert werden kann. Damit kann einerseits die Qualität der Gruppierung überprüft werden. Andererseits ist ein solches Regressionsmodell ein sehr geeignetes Mittel, um Datenausfälle einer Station am Ende der Pollensaison mit modellierten Werten zu füllen.

Verschiedene Regressionsmethoden wurden überprüft. Als erstes wurde die Least Square Regression (regr aus dem R-Paket regr0) angewendet. Dabei wurde das Modell mit oder ohne Interaktionen erstellt. Da die Residuen der Least Square Regression eine langschwänzige Verteilung aufwiesen, wurde ein robustes Regressionsmodell (aus dem R-Pakte regr0) angepasst, da dieses effizientere Schätzungen liefern (Stahel 2008). Als Entscheidung für das beste Modell wurde das Informationskriterium AIC von Akaike (Stahel 2008) berechnet und die optische Überprüfung der Residuenanalyse gewählt. Als Trainingsdaten wurden die Jahre 2005 – 2009 verwendet, jene Jahre mit denen die Clusteranalysen erstellt worden sind. Getestet wurde das Modell mit den Jahren 2000 – 2004 und 2010.

Versuche wurden auch mit Zeitreihenregression gemacht (gls aus dem R-Paket nlme), da die Residuen zum Teil korreliert waren. Die normale Least Square Regression oder die robuste Regression haben jedoch Resultate mit den kleinsten absoluten Abweichungen von den gemessenen Daten ergeben. Die Residuen des Modells waren wohl für einige Regressionsmodelle zeitlich korreliert, die Resultate der Zeitreihenregression waren aber durchwegs schlechter, als jene der robusten Regression.

Fehlende Pollendaten während den Testjahren in den erklärenden Variablen wurden durch Mittelwerte der restlichen erklärenden Pollenstationen für diese Daten berechnet.

3 Resultate Clusteranalyse

3.1 Gruppierung der Pollenmessstationen zu homogenen Regionen

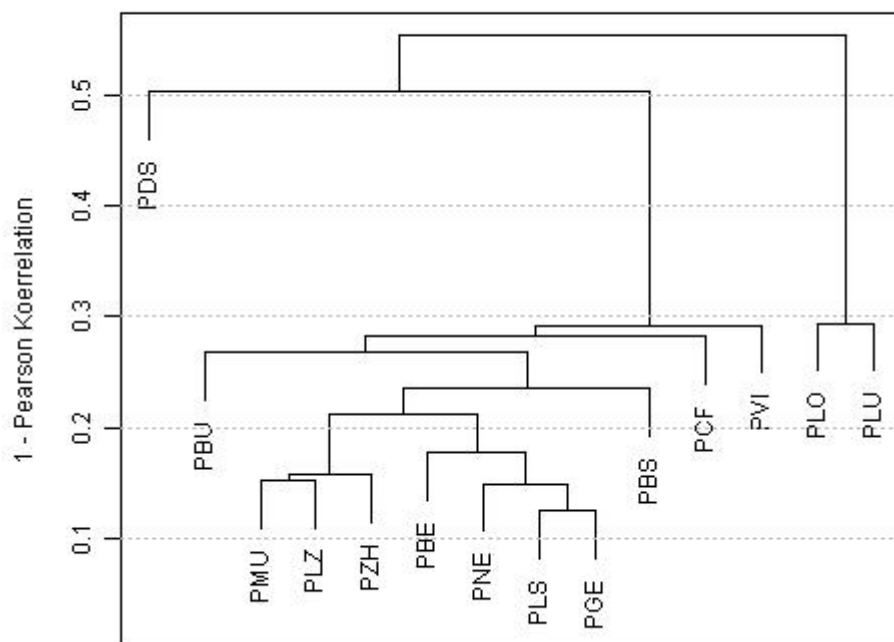
3.1.1 Mittelwerte über die sieben untersuchten Arten

Figur 2 zeigt das Dendrogramm der hierarchischen Clusteranalyse der Mittelwerte von 7 Pollenarten (Hasel, Erle, Esche, Birke, Gräser, Eiche, Buche). Die Höhe, bei der die Messstationen vereinigt werden, entspricht dem Distanzmass ($1 - \text{Pearson Korrelationskoeffizient}$). Deutlich trennen sich die beiden Tessiner Stationen und Davos von jenen der Alpennordseite ab. Die Stationen des Mittellands liegen alle recht nahe beieinander. Sie werden jedoch in zwei Untergruppen aufgeteilt, eine Gruppe der Zentral- und Ostschweiz (Münsterlingen, Zürich, Luzern) und eine der Westschweiz (Genève, Lausanne, Neuchâtel) zu der auch Bern gehört. Diese beiden Untergruppen werden mit einem Distanzmass von 0.21 zu der grossen Mittellandgruppe vereinigt. Das heisst die mittlere Distanz zwischen den Stationen der beiden Untergruppen ist 0.21 und entspricht einem Korrelationskoeffizienten von 0.79. Im Mittel der allergenen Arten werden die drei Stationen der Zentral-/Ostschweiz bei einer Korrelation von 0.84 vereinigt und die drei Stationen der Westschweiz bei 0.85, Bern kommt mit einer Korrelation von 0.82 zur Westschweizer Gruppe. Bern hat jedoch Einzelkorrelationen von 0.83 zu Zürich und 0.84 zu Neuchâtel.

Die beiden Messstationen Basel und Buchs gehören nicht zum Mittellandcluster. Buchs unterscheidet sich nicht in allen Pollenarten von jenen der Zentral-/Ostschweiz. Bei Birke, Esche und Gräser bildet Buchs eine gemeinsame Gruppe mit den drei Messstationen Zürich, Luzern, Münsterlingen. Deutliche Unterschiede gibt es jedoch bei Hasel, Erle, Eiche und Buche.

Die beiden Tessiner Stationen vereinigen sich erst auf einer Höhe von 0.29, was einem Korrelationskoeffizienten von 0.71 entspricht. Damit sind Locarno und Lugano untereinander etwa gleich ähnlich (oder verschieden) wie alle Stationen der Alpennordseite ohne Davos.

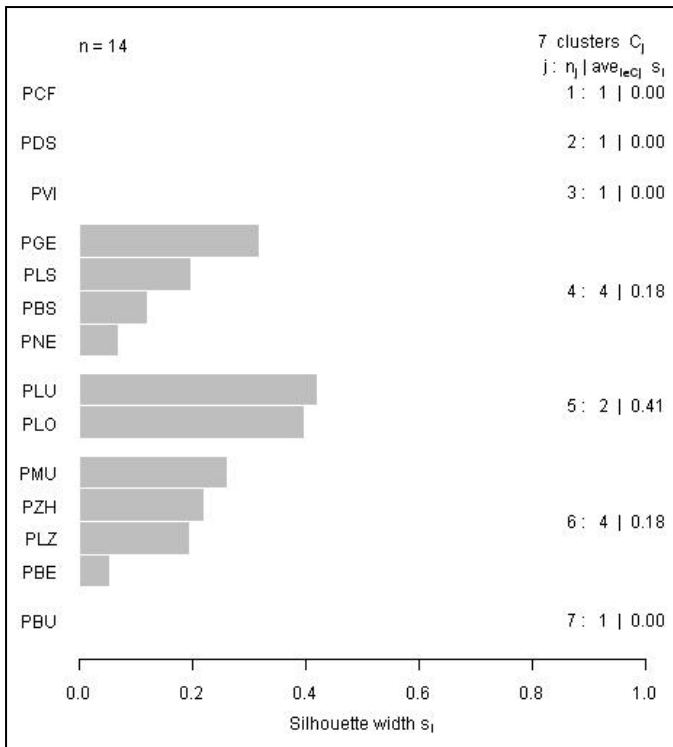
Die Clusterverfahren mit Partitionierung K-means und PAM zeigen ein etwas anderes Bild der Gruppierung. Im K-means Algorithmus (Figur 3) mit sieben Clustern wird Bern der Gruppe Zentral- und Ostschweiz zugeteilt, jedoch mit einem tiefen Silhouettenwert von 0.054. Die Westschweizer Gruppe enthält wie beim Dendrogramm Neuchâtel, Lausanne, Genève jedoch neu auch Basel. Ein weiteres Cluster bilden die beiden Tessiner Stationen. Buchs, Visp, La Chaux-de-Fonds und Davos bilden je ein eigenes Cluster. Eine Gruppierung mit weniger Clustern ergibt keine klare Aufteilung. Mit sechs Clustern werden z.B. Visp und Buchs vereinigt, wobei beide jedoch mit einer negativen Silhouettenbreite sehr schlecht in dieses Cluster integriert sind.



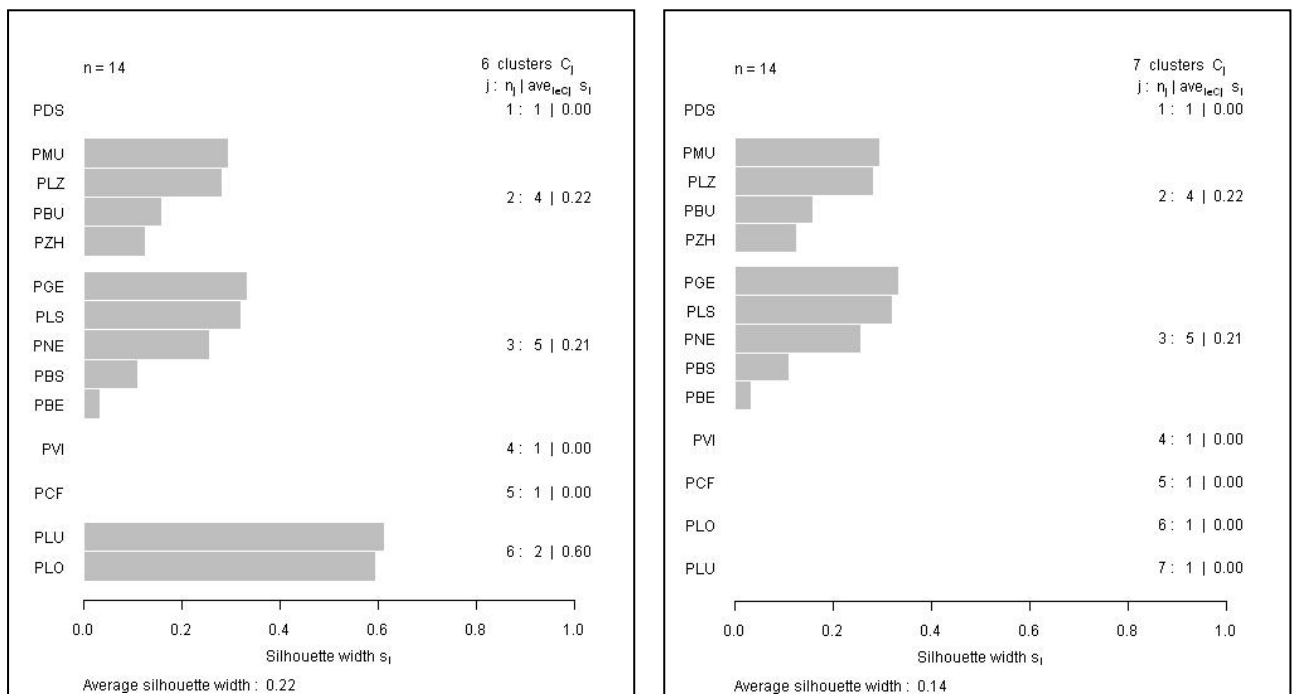
Figur 2: Dendrogramm der hierarchischen Clusteranalyse für das Mittel der 7 allergenen Pollenarten, für die 14 Stationen des Schweizer Pollenmessnetzes 2005 – 2009. Die Stationen sind durch ihre nationalen Abkürzungen bezeichnet.

Der PAM-Algorithmus (Figur 4, Figur 5) stellt bei sieben Clustern Basel in die Westschweizer Gruppe. Buchs wird zur Zentral- und Ostschweizer Gruppe genommen. Getrennt in separate Cluster werden jedoch die beiden Tessiner Stationen Lugano und Locarno. Mit sechs Clustern sind die Tessiner Stationen wieder vereinigt, Basel bleibt im Westschweizer Cluster. Mit einem tiefen Silhouettenwert von 0.029 hebt sich Bern im Westschweizer Cluster nur schlecht vom Nachbarcluster ab.

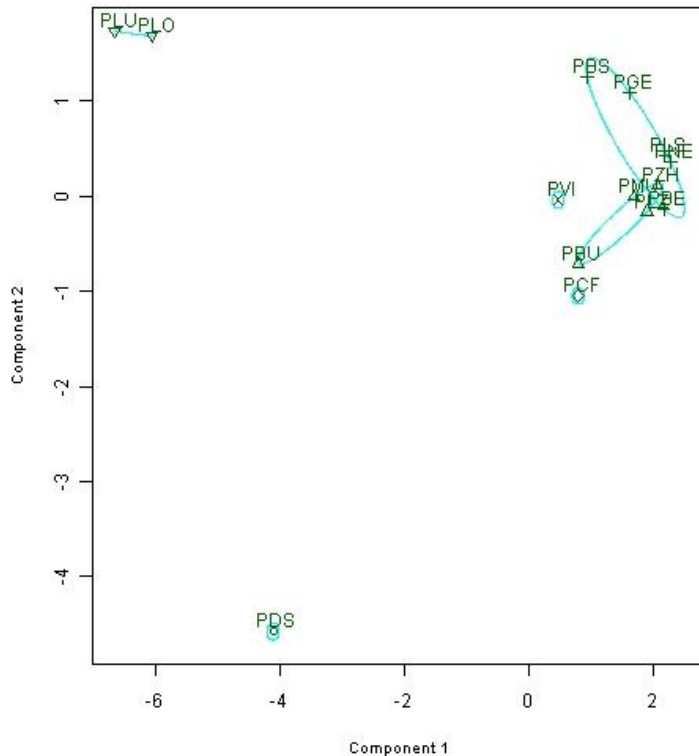
Alle drei Clusterverfahren (Figuren 2, 3, 4) zeigen deutlich die Aufteilung in die Westschweiz und Zentral-/ Ostschweiz. Klar werden dabei die Stationen Luzern, Münsterlingen und Zürich und andererseits Neuchâtel, Lausanne und Genève zusammengefasst. Bern scheint zwischen den beiden Clustern zu liegen, zeigt jedoch eher eine Tendenz zur Westschweiz. Basel steht näher bei der Westschweizer Gruppe, könnte jedoch auch gemäss Dendrogramm für sich ein eigenes Cluster bilden. Buchs gehört gemäss PAM zur Zentral- und Ostschweizer Gruppe. Das Dendrogramm und der K-means-Algorithmus weisen Buchs jedoch einem eigenen Cluster zu. Die beiden Tessiner Messstationen Lugano und Locarno bilden wohl ein eigenes Cluster, sie werden jedoch bei einer Reduktion der Gruppen in den partitionierenden Verfahren schon bald voneinander getrennt. Auch das Dendrogramm zeigt ihre Gruppierung erst nachdem sich die Stationen der Alpennordseite vereinigt haben.



Figur 3: K-means Gruppierung mit 7 Gruppen für das Mittel der 7 allergenen Pollenarten für die 14 Stationen des Schweizer Pollenmessnetzes 2005 – 2009. Die Stationen sind durch ihre nationalen Abkürzungen bezeichnet.



Figur 4: PAM Gruppierung mit 6 (links) und 7 (rechts) Clustern für das Mittel der 7 allergenen Pollenarten für die 14 Stationen des Schweizer Pollenmessnetzes 2005 – 2009. Die Stationen sind durch ihre nationalen Abkürzungen bezeichnet.



Figur 5: Clusterplot mit der PAM Gruppierung (mit 6 Clustern) für das Mittel der 7 allergenen Pollenarten für die 14 Stationen des Schweizer Pollenmessnetzes 2005 – 2009. Die Stationen sind durch ihre Abkürzungen bezeichnet. Beim Clusterplot werden die Stationen auf einer Fläche dargestellt, wobei die Distanzen die Unähnlichkeit möglichst genau wiedergeben (R Funktion `plot()` eines PAM-Objekts)

3.1.2 Gruppierung der einzelnen Pollenarten

3.1.2.1 Birke (*Betula*) und Esche (*Fraxinus*)

Diese beiden gleichzeitig blühenden Pollenarten weisen ähnliche Gruppierungen auf. Im Dendrogramm zeigen sich die beiden Cluster Zentral-/Ostschweiz (Buchs, Luzern, Münsterlingen, Zürich) und die Westschweiz (Bern, Genève, Lausanne, Neuchâtel) deutlich (Figur 6). Bei der Birke vereinigen sich die beiden Gruppen zu einem Mittellandcluster bevor Basel, Visp und La Chaux-de-Fonds dazu stossen. Bei der Esche sind die beiden Mittellandgruppen etwas deutlicher getrennt und vereinigen sich erst zu einem Mittellandcluster, nachdem Visp zur Ostschweiz und Basel zur Westschweiz dazugekommen sind. La Chaux-de-Fonds unterscheidet sich klar von den Stationen der Alpennordseite und noch deutlicher tut dies Davos. Die beiden Tessiner Stationen bilden ein gemeinsames Cluster.

Die partitionierenden Verfahren zeigen Unterschiede zwischen der Gruppierung von Birken und Eschen. Der PAM-Algorithmus bildet bei der Birke bei sieben Clustern die Gruppen der Zentral-

/Ostschweiz, die Westschweiz (mit Bern) und das Tessin und als Einzelcluster Basel, Visp, La-Chaux-de-Fonds und Davos. Mit sechs Clustern werden Basel und Visp vereinigt. Der K-means-Algorithmus weist bei sieben Clustern eine Gruppe mit nur negativen Silhouettenwerten auf (Visp und Basel), so dass die Anzahl Cluster noch ungenügend ist. Erst mit acht Clustern bilden sich die Gruppen Zentral-/Ostschweiz (Buchs, Münsterlingen, Luzern, Zürich), die Westschweiz (Genève, Neuchâtel, Lausanne, aber ohne Bern) und das Tessin (Lugano, Locarno). Bern, Basel, La Chaux-de-Fonds, Visp und Davos sind Einzelcluster.

Bei der Esche wird mit PAM bei sieben Clustern Visp der Zentral- und Ostschweiz zugeordnet, Basel und Genève bilden ein gemeinsames Cluster und die Westschweiz besteht aus Neuchâtel, Lausanne und Bern. Einzelcluster bilden Lugano, Locarno, Davos und La Chaux-de-Fonds. Mit sechs Clustern sind die Tessiner Stationen vereinigt. Mit K-means bilden ebenfalls Basel und Genève ein Cluster, Visp ist jedoch von der Ostschweiz getrennt und bildet ein Einzelcluster, die Tessiner Stationen sind vereinigt (total sieben Cluster). Mit sechs Clustern wird Visp zur Ostschweizer Gruppe gegeben, jedoch mit sehr tiefen Silhouettenwerten.

Interessant ist bei der Esche die Ähnlichkeit von Genève und Basel, was sich auch in einem recht hohen Korrelationskoeffizienten von 0.83 zeigt.

3.1.2.2 Gräser (*Poaceae*)

Die Stationen der Alpennordseite inklusive Visp und La Chaux-de-Fonds vereinigen sich bereits bei einer Höhe von 0.2 zu einem Alpennordseite-Cluster (Figur 6). Als Untergruppe zeigt sich dabei wieder die Zentral-/Ostschweiz (mit Buchs, Münsterlingen, Luzern, Zürich). In der Westschweizer Gruppe verbindet sich La Chaux-de-Fonds schon früh mit Bern und Neuchâtel. Bevor sich die Westschweizer Gruppe mit der Deutschschweiz vereinigt, stossen auch Basel und Visp dazu. Grosse Unterschiede zeigen sich zu Davos und noch deutlicher zu den Tessiner Stationen. Locarno und Lugano bilden wohl ein eigenes Cluster, sie sind untereinander aber nicht sehr ähnlich (Korrelation von 0.57).

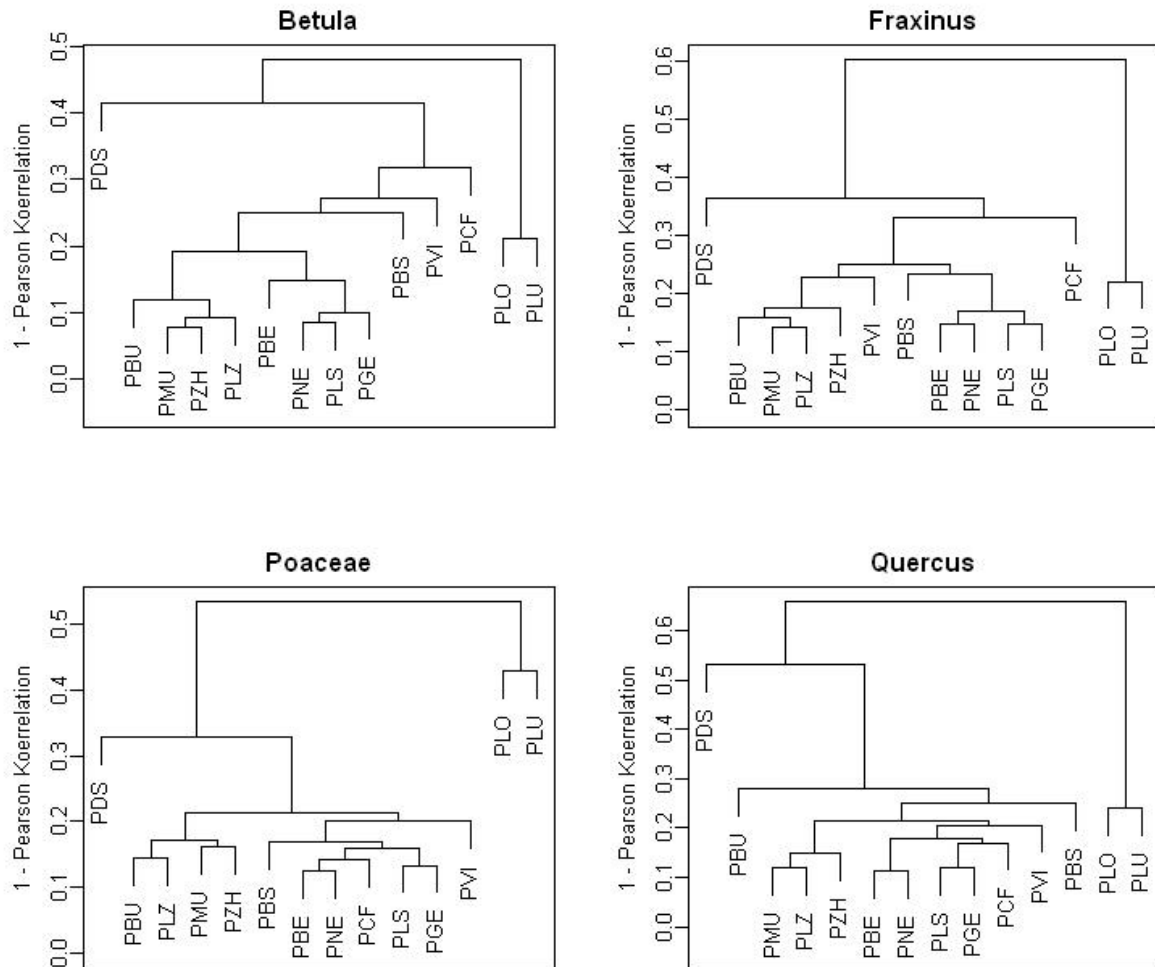
Der PAM- und K-means-Algorithmus bestätigen diese Gruppierung und vereinigt bei 3 Clustern alle Alpennordseitestationen und bildet ein gemeinsames Tessiner Cluster und ein Einzelcluster Davos. Bei vier Clustern werden Lugano und Locarno getrennt. Bei fünf Clustern wird zusätzlich das Deutschschweizer (Buchs, Münsterlingen, Luzern, Zürich) vom grossen Westschweizer Cluster (Basel, Bern, Genève, Lausanne, La Chaux-de-Fonds, Visp) getrennt.

3.1.2.3 Eiche (*Quercus*)

Im Dendrogramm stehen die Messstationen Buchs, Basel und Visp etwas abseits der Stationen der Alpennordseite (Figur 6). La Chaux-de-Fonds verbindet sich schon früh mit Genève und Lausanne und diese anschliessend mit Bern und Neuchâtel zum Westschweizer Cluster. Das Tessiner Cluster zeigt für einmal recht grosse Ähnlichkeit zwischen Lugano und Locarno (Korrelation 0.76).

Die Gruppierungen mit K-means und PAM zeigen keine deutlichen Resultate. Bis sieben Cluster sind immer wieder Gruppen mit negativen Silhouettenwerten vorhanden. Erst mit 8 Gruppen ist die

Einteilung klarer. Deutlich sind nur die Gruppen Münsterlingen, Luzern, Zürich, weiter Bern und Neuchâtel, zu denen vermutlich Visp gehört und als weitere Gruppe Genève, Lausanne und La Chaux-de-Fonds.



Figur 6: Dendrogramm der hierarchischen Clusteranalyse für die Pollenarten Birke (*Betula*), Esche (*Fraxinus*), Gräser (*Poaceae*) und Eiche (*Quercus*), für die 14 Stationen des Schweizer Pollenmessnetzes 2005 – 2009. Die Stationen sind durch ihre Abkürzungen bezeichnet.

3.1.2.4 Hasel (*Corylus*)

Von der bekannten Gruppierung Zentral- /Ostschweiz und Westschweiz weicht die Station Buchs ab (Figur 7). Bern wird mit der Zentral-/Ostschweiz gruppiert. Buchs und Visp werden vereinigt. Etwas abseits stehen Basel und La Chaux-de-Fonds, das Tessin und Davos. Auch bei PAM und K-means werden die Gruppen Zentral-/Ostschweiz ohne Buchs aber mit Bern und die Westschweiz bestätigt. Allerdings wird Basel mit der Westschweiz gruppiert.

3.1.2.5 Erle (*Alnus*)

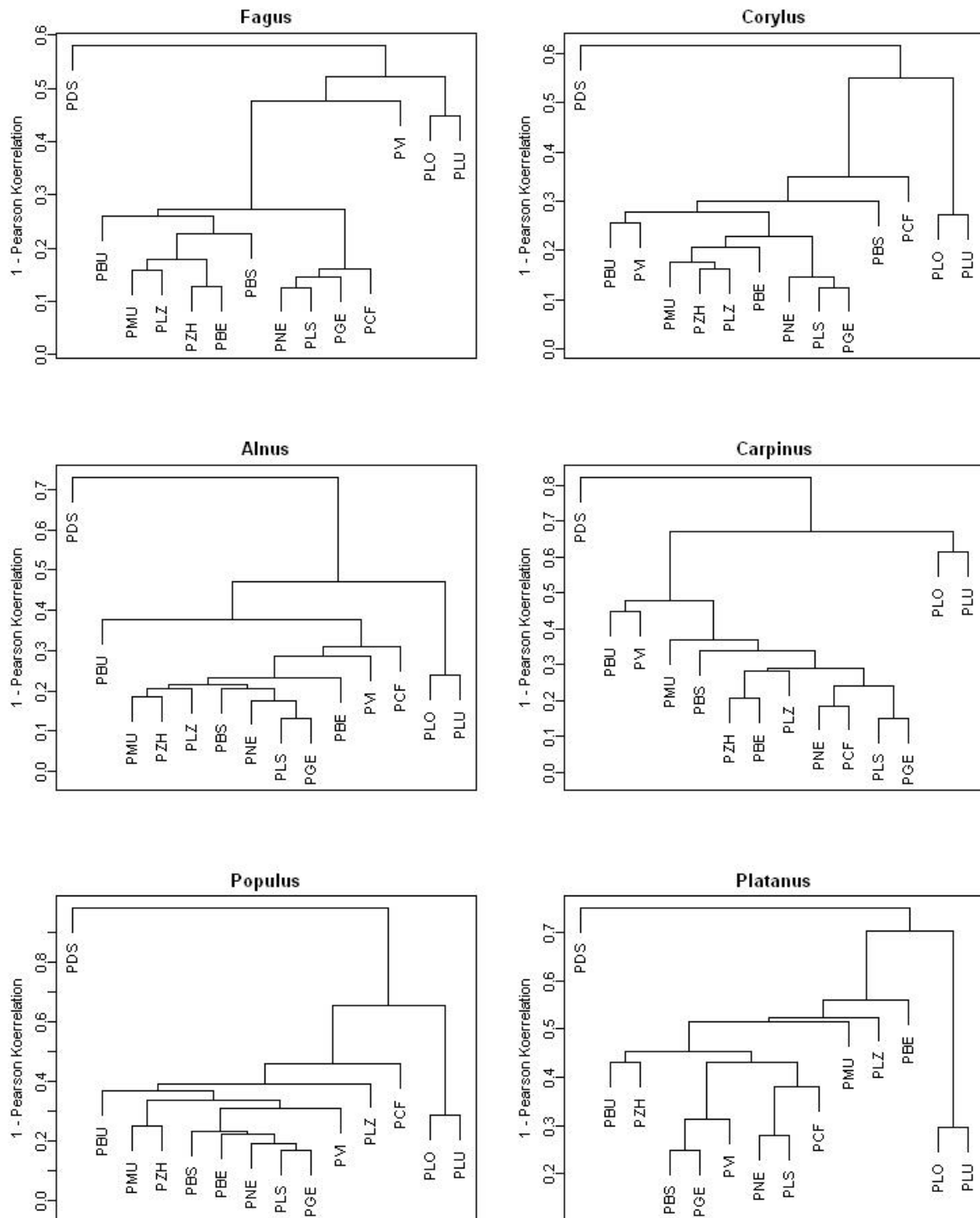
Bei der Erle bildet sich ein grosses Mittelland-Cluster mit Basel (Figur 7). Buchs ist deutlich verschieden vom Mittelland und bildet ein Einzelcluster. Ebenfalls einzeln stehen Visp, La Chaux-de-Fonds und Davos. Lugano und Locarno bilden ein eigenes Cluster. Auch PAM und K-means bestätigen diese Gruppierung (beispielsweise bei 6 Clustern).

3.1.2.6 Buche (*Fagus*)

Bei der Buche trennen sich Deutschschweiz und Westschweiz (Figur 7). Zur Deutschschweiz gehören Bern, Münsterlingen, Luzern und Zürich. Bevor sich die Deutschweizer Gruppe mit der Westschweiz verbindet kommen auch Basel und Buchs zu dieser Gruppe. Zum Westschweizer Cluster gehört auch La Chaux-de-Fonds. Einzeln stehen Visp und Davos und mit einer tiefen Korrelation innerhalb der Gruppe auch das Tessin (0.55).

3.1.2.7 Weitere Arten: Hagebuche (*Carpinus*), Pappel (*Populus*), Platane (*Platanus*)

Bei diesen Arten werden die Stationen der Alpennordseite unterschiedlich gruppiert und nicht mehr so klar in die bisherigen beiden Gruppen der Alpennordseite aufgetrennt (Figur 7). Jede Station kann weiter abseits der bisherigen Gruppierung liegen, so beispielsweise bei der Hagebuche Münsterlingen, bei der Pappel Luzern und Buchs, bei der Platane Bern, Luzern und Münsterlingen und einer Gruppierung von Basel und Genève. Deutlich kommen jedoch die separate Gruppe des Tessins und als Einzelcluster Davos zur Geltung.

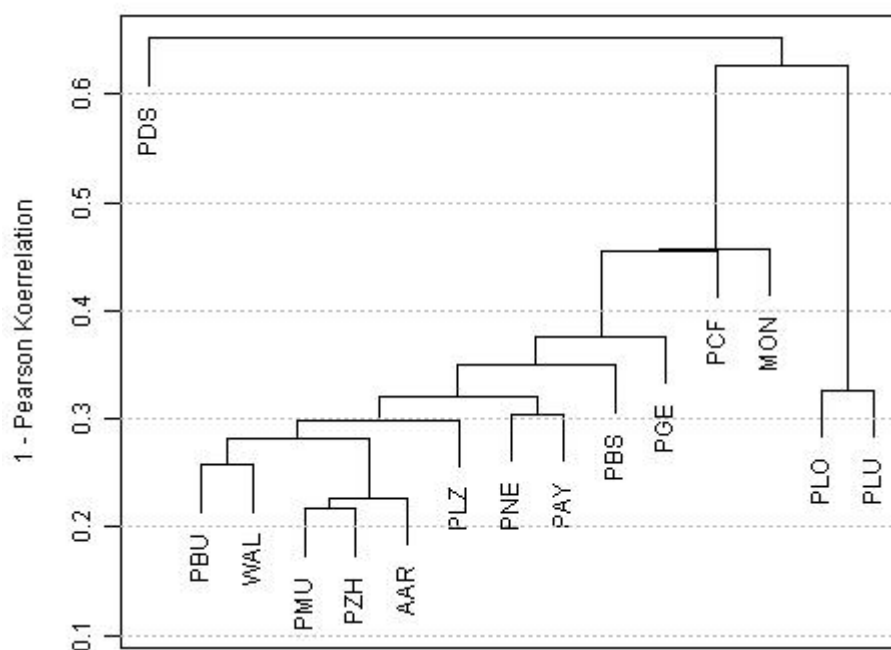


Figur 7: Dendrogramm der hierarchischen Clusteranalyse für die Pollenarten Buche (*Fagus*), Hasel (*Corylus*), Erle (*Alnus*), Hagebuche (*Carpinus*), Pappel (*Populus*) und Platane (*Platanus*), für die 14 Stationen des Schweizer Pollenmessnetzes 2005 – 2009. Die Stationen sind durch ihre Abkürzungen bezeichnet.

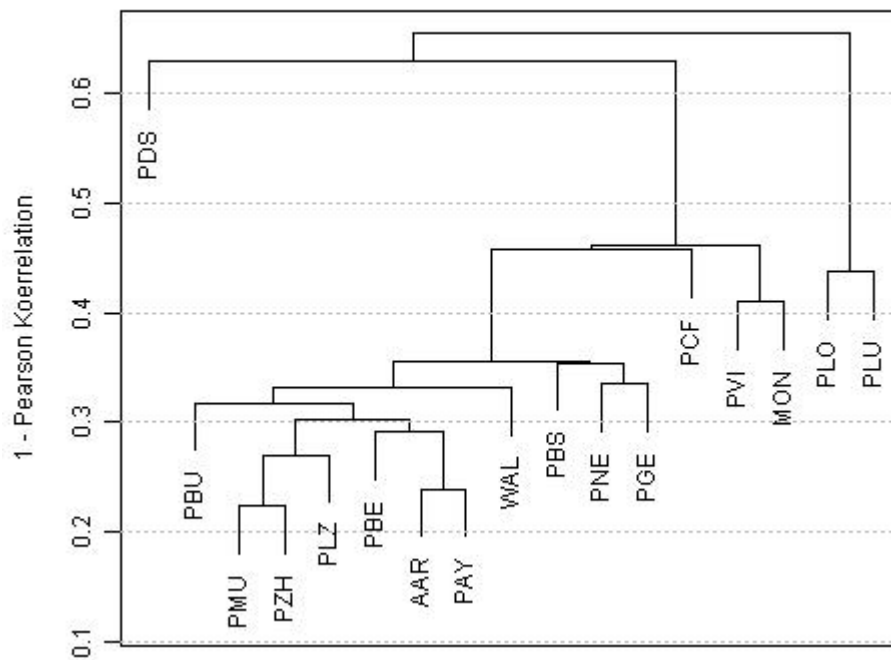
3.2 Einbezug von weiteren Messstationen

3.2.1 SAPALDIA Stationen 1991-1993, 2002

Hierbei handelt es sich um die folgenden zusätzlichen Stationen: Montana (1348 m), Payerne (490 m), Wald ZH (630 m) und Aarau (406 m). Erle und Hasel konnten bei diesen Stationen nicht in die Untersuchung mit eingeschlossen werden, da die Pollenmessungen immer erst nach ihrer Blüte begannen. Das Mittel wurde deshalb aus den fünf Arten Birke, Esche, Gräser, Eiche und Buche gebildet. In den Jahren 1991 – 1992 waren die Messstationen Bern, Visp und Lausanne noch nicht in Betrieb, weshalb diese Stationen beim Vergleich über alle Jahre fehlen (Figur 8). Für die Jahre 1993 und 2002 inklusive Bern und Visp wurde ein separates Dendrogramm erstellt (Figur 9).



Figur 8: Dendrogramm der hierarchischen Clusteranalyse der SAPALDIA Stationen für die Jahre 1991-1993 und 2002 für das Mittel von 5 allergenen Pollenarten. Die Stationen des Pollenmessnetzes sind durch ihre nationalen Abkürzungen bezeichnet; Abkürzungen für die SAPALDIA Stationen: WAL = Wald, AAR = Aarau, PAY = Payerne, MON = Montana.



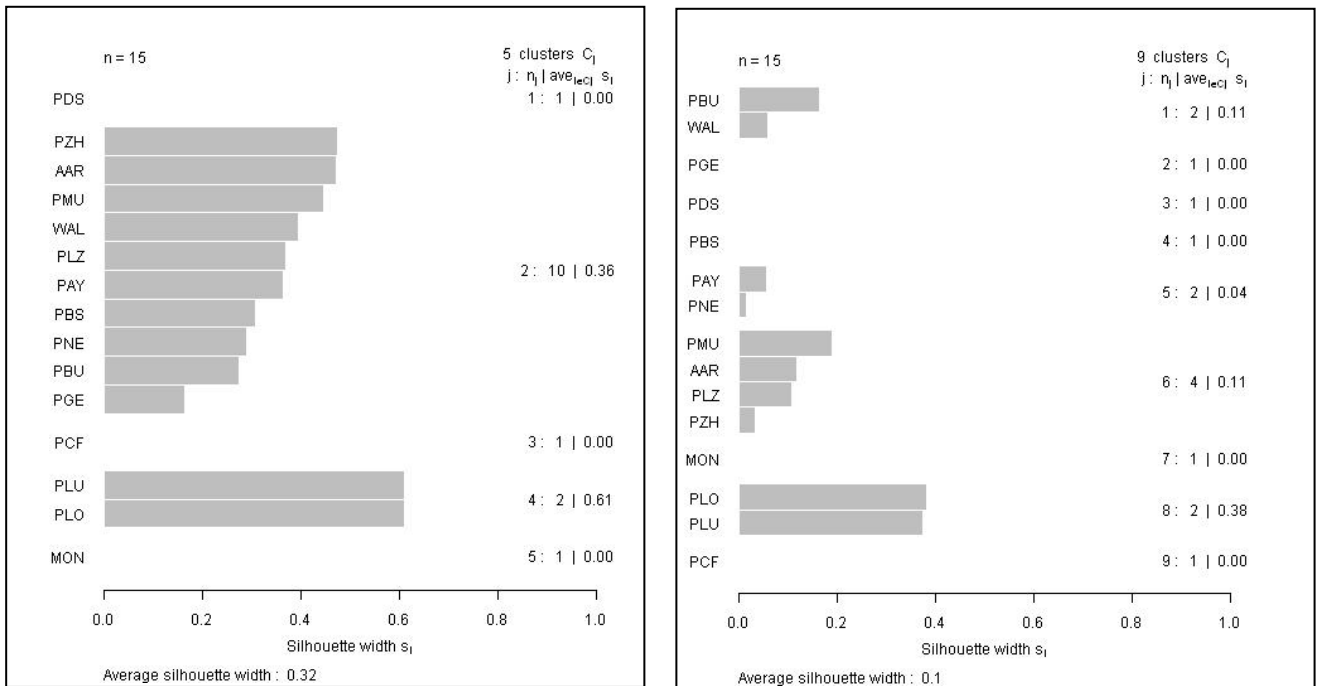
Figur 9: Dendrogramm der hierarchischen Clusteranalyse der SAPALDIA Stationen für die Jahre 1993 und 2002 inklusive Bern und Visp für das Mittel von 5 allergenen Pollenarten. Die Stationen des Pollenmessnetzes sind durch ihre nationalen Abkürzungen bezeichnet; Abkürzungen für die SAPALDIA Stationen: WAL = Wald, AAR = Aarau, PAY = Payerne, MON = Montana.

Deutlich verschieden sind die Stationen Davos, La Chaux-de-Fonds und Montana. Auch das Tessiner Cluster hebt sich klar ab. Wald ZH, Aarau und Payerne fügen sich recht gut in die Mittellandstationen ein, wobei Wald am ehesten zu Buchs, Aarau zu Zürich und Münsterlingen, und Payerne zu Neuchâtel passen.

Die PAM und K-means Gruppierung ist im Mittelland nicht einheitlich. Während PAM bei fünf Gruppen eine grosse Mittellandgruppe erstellt, weist K-means erst bei 9 Gruppen eine eindeutige Aufteilung auf (Figur 10). Dabei wird Aarau der Gruppe mit Münsterlingen, Zürich und Luzern zugeordnet. Buchs/Wald und Neuchâtel/Payerne bilden je ein Cluster, wobei die Silhouettenwerte tief sind. Basel, Genève, Montana, Davos und La Chaux-de-Fonds bilden Einzelcluster.

Die Mittellandstationen Aarau und Payerne fügen sich sehr gut ins bestehende Messnetz ein. Wald, etwas höher gelegen als die Stationen des bestehenden Messnetzes, zeigt ein ähnliches Muster wie Zürich oder Buchs. Die Pollensaison von Montana ist deutlich verschieden von den andern Messstationen.

Werden nur die Jahre 1993 und 2002 angeschaut, in denen auch Bern und Visp in Betrieb waren, zeigt sich der Zusammenhang zwischen Montana und Visp, allerdings nur mit einem Korrelationskoeffizienten von 0.59. Gleich hoch ist die Korrelation mit Bern und Neuchâtel. Wald ist mit einem Korrelationskoeffizienten von 0.71 am ähnlichsten zu Zürich. Aarau und Payerne werden mit einem Korrelationskoeffizienten von 0.76 zusammengeführt und anschliessend mit Bern vereinigt.



Figur 10: PAM Gruppierung mit 5 Clustern (links) und K-Means Gruppierung mit 9 Clustern (rechts) für die SAPALDIA Stationen für die Jahre 1991-1993 und 2002 für das Mittel von 5 allergenen Pollenarten. Die Stationen des Pollenmessnetzes sind durch ihre nationalen Abkürzungen bezeichnet; Abkürzungen für die SAPALDIA Stationen: WAL = Wald, AAR = Aarau, PAY = Payerne, MON = Montana.

Interessant ist, dass die Korrelationskoeffizienten für die Jahre 1991 – 1993 für alle Stationen und Pollenarten tiefer liegen als in den Jahren 2005 – 2009. Der Grund dafür kann in der Analysemethode der Pollenpräparate liegen, denn während den Jahren 1991 – 93 wurde jeweils nur eine Linie des Präparats ausgezählt, während seit 1994 zwei Linien gezählt werden. Die Genauigkeit der Pollendaten hat sich aus diesem Grund verbessert, was zu weniger zufälliger Variabilität der Daten führt (Comtois et al. 1999). Die absoluten Korrelationskoeffizienten zwischen den Studienjahren 1991-93 und 2005-09 sind deshalb nicht vergleichbar.

3.2.2 Gütsch 1994 und 1995

Die Station Gütsch (2287 m) soll vor allem mit Davos (1600 m) verglichen werden, um abzuklären, wie gut die Messstation Davos die Alpen repräsentiert. Die Station Gütsch liegt oberhalb der Waldgrenze, während in Davos die Messstation in der subalpinen Stufe liegt. Der Gütsch ist jedoch offener gegenüber Transport aus den tieferen Lagen, so dass die Blüte der Pflanzen in der subalpinen Stufe auf dem Gütsch ebenfalls abzeichnen sollte. Tabelle 2 zeigt die Pearson Korrelationskoeffizienten der logarithmierten Pollendaten zwischen Davos und Gütsch. Sehr tiefe Korrelationen zeigen Birke und Esche, welche eine grosse Menge transportierter Pollen enthalten, die aus unterschiedlichen Entfernungen stammen können. Die Unterschiede im Muster des Pollentransports und in der Distanz zum Vorkommen von Birken und Eschen zwischen Davos und Gütsch sind sehr gross.

Pollenart	r_{XY}
<i>Betula</i> (Birke)	0.42
<i>Fraxinus</i> (Esche)	0.45
Poaceae (Gräser)	0.58
<i>Quercus</i> (Eiche)	0.70
<i>Fagus</i> (Buche)	0.62
<i>Alnus viridis</i> (Grünerle)	0.64

Tabelle 2: Mittlere Pearson Korrelationskoeffizienten der Jahre 1994 - 1995 zwischen Davos und Gütsch für verschiedene Pollenarten

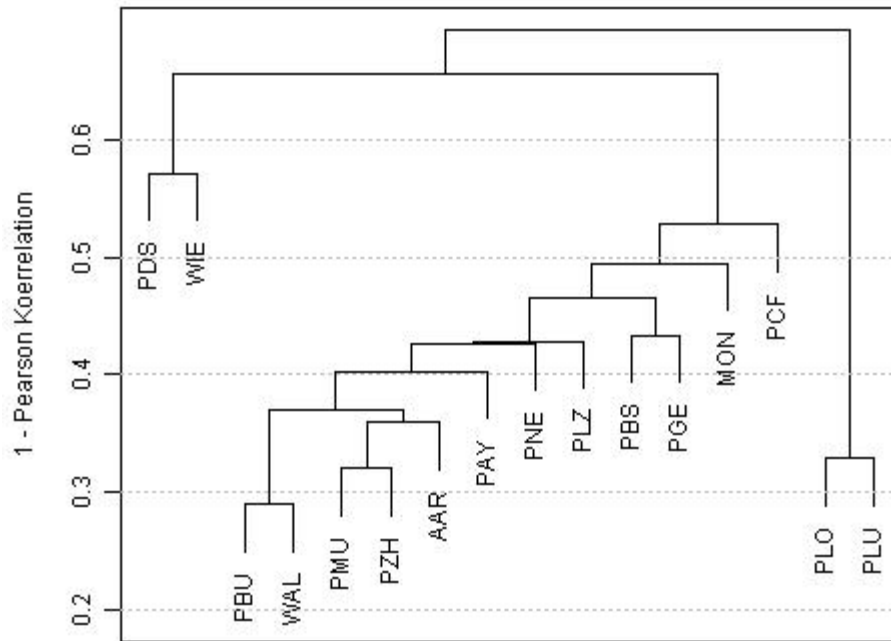
Im Dendrogramm werden die Stationen Gütsch und Davos im Mittel zu einem Cluster zusammengeschlossen (auf einer Höhe von 0.43, entspricht einer Korrelation r_{XY} von 0.57), allerdings erst viel später als alle Mittellandstationen. Die Korrelationen sind für alle Arten relativ tief.

3.2.3 Wiesen 1991-1993

Wiesen liegt nur 18 km von Davos entfernt auf einer Höhe von 1420 m. Die Lage von Wiesen ist jedoch im Vergleich zu Davos offener gegenüber dem Pollentransport aus tieferen Lagen und zeigt deshalb Pollenmuster, die vom Tiefland beeinflusst sind. Die Korrelationen mit Davos sollen ebenfalls aufzeigen, wie gut Davos die Lagen der subalpinen Stufe repräsentieren kann. Im Dendrogramm für das Mittel von 5 Pollenarten werden Davos und Wiesen auf einer Höhe von 0.57 (entspricht einer Korrelation r_{XY} von 0.43) zu einem Cluster vereint (Figur 11). Davos ist deshalb jene Station des Pollenmessnetzes, welche mit Wiesen die grösste Ähnlichkeit hat. Allerdings ist mit einem r_{XY} von 0.43 diese Ähnlichkeit nicht sehr gross. Bei der Aufschlüsselung nach den 6 Pollenarten sieht man, dass keine der Pollenarten sehr ähnliche Saisonverläufe bei diesen beiden Stationen aufweist (Tabelle 3).

Pollenart	r_{XY}
<i>Betula</i> (Birke)	0.48
<i>Fraxinus</i> (Esche)	0.33
Poaceae (Gräser)	0.61
<i>Quercus</i> (Eiche)	0.42
<i>Fagus</i> (Buche)	0.53
<i>Alnus viridis</i> (Grünerle)	0.21

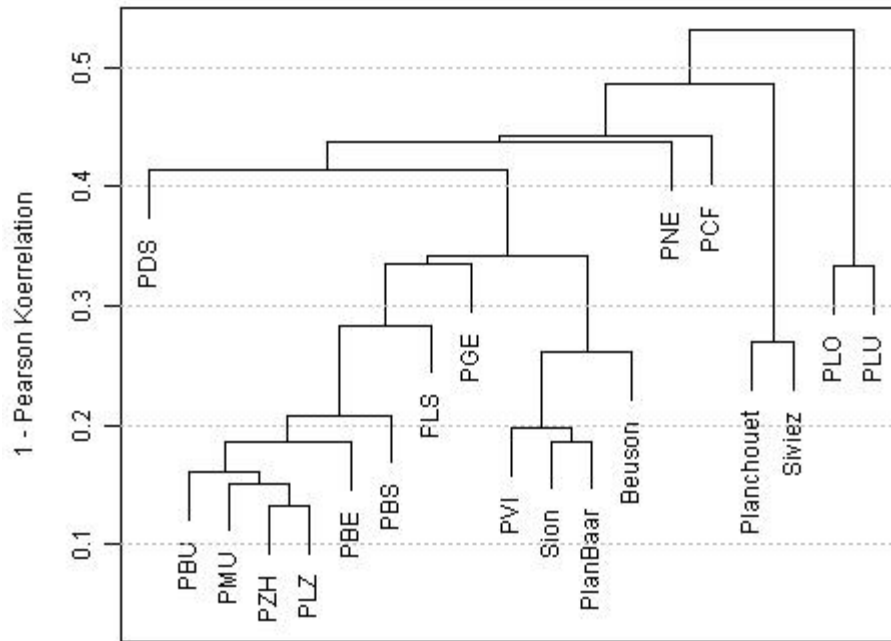
Tabelle 3: Mittlere Pearson Korrelationskoeffizienten der Jahre 1991-1993 zwischen Davos und Wiesen für verschiedene Pollenarten



Figur 11: Dendrogramm der hierarchischen Clusteranalyse der SAPALDIA Stationen inklusive Wiesen für die Jahre 1991 – 1993 für das Mittel von 6 allergenen Pollenarten. Die Stationen des Pollenmessnetzes sind durch ihre nationalen Abkürzungen bezeichnet; Abkürzungen für die SAPALDIA Stationen: WIE = Wiesen, WAL = Wald, AAR = Aarau, PAY = Payerne, MON = Montana.

3.2.4 Val de Nendaz 2005

Im Val de Nendaz, einem Walliser Seitental, wurden während der Pollensaison 2005 sechs Pollenfallen auf verschiedenen Höhenstufen aufgestellt (von 482 m bis 2100 m), um den Pollentransport entlang einer Talachse zu untersuchen. Diese Studie eignet sich gut, um Pollenmessstationen verschiedener Höhenstufen miteinander zu vergleichen. Für die Clusteranalyse wurden die Arten Birken, Eschen, Gräser, Eichen und die Grünerle gemittelt (Figur 12). Die tief gelegenen Stationen Visp (650 m), Sion (482 m) und Plan Baar (682 m) korrelieren hoch miteinander und werden als gemeinsames Cluster gruppiert. Planchouet (1510 m) und Siviez (1730 m) haben ein r_{XY} von 0.71 und werden in der Clusteranalyse ebenfalls gruppiert, allerdings erst relativ spät. Sie werden dabei nicht mit den restlichen Stationen des Val de Nendaz vereinigt. Beuson (1040 m) korreliert mit Visp mit 0.75, mit Plan Baar mit 0.72 und mit Sion 0.69. Die Station wird auf eine Höhe von 0.27 (entspricht einem mittleren r_{XY} von 0.73) dem Cluster Visp, Sion, Plan Baar zugeordnet. Ein Vergleich mit dem auf ähnlicher Höhenlage liegenden La Chaux-de-Fonds zeigt, dass die beiden Stationen nur wenig Gemeinsamkeiten haben (r_{XY} 0.53)



Figur 12: Dendrogramm der hierarchischen Clusteranalyse der Stationen im Val de Nendaz für das Jahr 2005 für das Mittel von 5 allergenen Pollenarten. Da die Grünerle (*A. viridis*), eine alpine Erlenart, im Mittelwert der Pollenarten enthalten ist, gruppieren sich die Westschweizer Stationen nicht mehr zu einem Cluster.

Pollenart	r_{xy}
<i>Betula</i> (Birke)	0.65
<i>Fraxinus</i> (Esche)	0.60
Poaceae (Gräser)	0.46
<i>Quercus</i> (Eiche)	0.24
<i>Alnus viridis</i> (Grünerle)	0.90

Tabelle 4: Person Korrelationskoeffizienten der logarithmierten Pollendaten von 2005 zwischen Davos (1600 m) und Siviez (1730 m) für verschiedene Pollenarten

Davos und Siviez liegen auf vergleichbarer Höhe in der subalpinen Stufe. Die Korrelationskoeffizienten (Tabelle 4) zwischen den beiden Messstationen sind jedoch ausser bei der Grünerle sehr tief. Mit der auf 2100 m gelegenen Station Cleuson, die erst ab Juni die Pollen gemessen hat, weist Davos folgende Korrelationskoeffizienten auf: Gräser 0.54, Grünerle 0.88.

4 Diskussion der Clusteranalyse

4.1 Gruppierung der Pollenmessstationen zu homogenen Regionen

Die 14 Messstationen des Schweizer Pollenmessnetzes lassen sich im Mittel der allergenen Arten in sechs bis acht Gruppen einteilen, in die Regionen Zentral-/Ostschweiz, Westschweiz, Südtessin und die Einzelregionen Basel, Buchs, La Chaux-de-Fonds, Visp und Davos. Die beiden Einzelregionen Basel und Buchs werden je nach Clustermethode einer Mittellandregion zugeordnet, Basel tendenziell der Westschweiz und Buchs der Zentral-/Ostschweiz. Der Pollenflug der drei Stationen Visp, La Chaux-de-Fonds und Davos unterscheidet sich sehr deutlich von jenem des Mittellands.

4.1.1 Das Mittelland

Die Region Zentral-/Ostschweiz besteht aus den Messstationen Münsterlingen, Luzern und Zürich und die Region Westschweiz aus Genève, Lausanne und Neuchâtel. Bern scheint zwischen den beiden Clustern zu liegen, zeigt jedoch eher eine Tendenz zur Westschweiz. Die Unterteilung in diese beiden Gruppen kann auch in den Analysen der einzelnen Pollenarten beobachtet werden, ausser bei den Pollenarten, die nicht an allen Stationen genügend gut repräsentiert sind (Platane, Pappel, Hagebuche). Im Mittel der allergenen Arten werden die drei Stationen der Zentral-/Ostschweiz bei einer Korrelation von 0.84 vereinigt und die drei Stationen der Westschweiz bei 0.85, Bern kommt mit einer Korrelation von 0.82 zur Westschweizer Gruppe. Bern hat jedoch Einzelkorrelationen von 0.83 zu Zürich und 0.84 zu Neuchâtel.

Pollenregionen werden einerseits durch die vorhandene Vegetation, andererseits durch das Klima und das Wettergeschehen, hauptsächlich Temperatur und Niederschlag, beeinflusst. Vergleicht man die Pollenregionen des Mittellands mit den Temperaturregionen von Begert (2008) sieht man, dass bei den Temperaturen das tief gelegene Mittelland ebenfalls in die zwei Regionen Westschweiz und das zentrale und östliche Mittelland aufgeteilt wird. Interessant ist es, dass Bern bei den Temperaturen ebenfalls zur Gruppe der Westschweiz gehört. Das zentrale Mittelland, vor allem das Aaretal östlich des Bielersees, wird durch die Pollenmessungen nicht abgedeckt. Die Pollenmessungen von Aarau in den Jahre 1991-1993 und 2002 geben Auskunft über diese Region. Bei den Daten von 1993 und 2002 wird Aarau mit Payerne und Bern vereint. Schaut man sich jedoch die Korrelationskoeffizienten an, ist die Zuordnung nicht mehr so klar: Korrelation von Aarau mit Payerne 0.76, Zürich 0.74, Münsterlingen 0.73, Luzern 0.71 und Bern und Buchs 0.70. Werden alle Jahre von 1991-1993 und 2002 angeschaut, so sind die Korrelationen von Aarau mit Münsterlingen und Zürich 0.77, Wald 0.73, Neuchâtel 0.72, Payerne 0.71 und Luzern 0.70. Die Messstation Bern wurde erst 1993 in Betrieb genommen, weshalb ein Vergleich leider fehlt. Aarau gehört in der gesamten Zeitperiode deshalb klar zur Gruppe mit Zürich und Münsterlingen. Zusätzlich gibt es eine gute Vergleichbarkeit mit der Temperaturregion des Deutschschweizer Mittellands (Begert 2008). So kann Aarau am ehesten der Region Zentral-/Ostschweiz zugeordnet werden. Diese Region wird deshalb neu als zentrales und östliches Mittelland bezeichnet.

Zu beachten ist jedoch, dass die Korrelationskoeffizienten der Pollenstationen deutlich tiefer sind als jene der Temperaturen (Begert 2008). Die schlechteste gruppeninterne Korrelation der Temperaturen ist 0.93 und die Temperaturregionen des Mittellands werden bereits bei einer Korrelation von 0.9 vereinigt, während zwei Pollenmessstationen kaum je eine solch hohe Korrelation erreichen. Die Homogenität der Pollenregionen ist demzufolge viel geringer als jene der Temperaturregionen.

4.1.2 Basel und Buchs

In Basel beginnt die Pollensaison meist einige Tage vor jener des Mittellands und häufig wird auch das Maximum der Pollenbelastung vor jenem des Mittellands erreicht. Aus diesem Grund zeigt Basel einen etwas anderen Verlauf der Pollensaison und die Bildung einer eigener Pollenregion ist aus diesem Grund gerechtfertigt. Bei einigen Pollenarten wird die Messstation Basel eher mit der Westschweiz verbunden (Gräser, Esche) und nicht mit den Deutschschweizer Stationen. Am ähnlichsten ist dabei die Station Genève. Auch Genève ist durch die Temperaturen begünstigt und die Pollensaison beginnt in Basel und in Genève ähnlich früh.

Buchs unterscheidet sich nicht in allem Pollenarten von jenen der Zentral- und Ostschweiz. Bei Birke, Esche und Gräser bildet Buchs eine gemeinsame Gruppe mit den drei Messstationen Zürich, Luzern, Münsterlingen. Deutliche Unterschiede gibt es jedoch bei Hasel, Erle, Eiche und Buche. Hier scheint sich die Lage von Buchs in einem häufig durch Föhn geprägten Tal abzuzeichnen. Durch seine Alpenrandlage zeigt Buchs auch häufiger Pollentransport aus höheren Lagen, was die anderen Mittellandstationen nicht im selben Mass aufweisen. Auch das Vorkommen von verschiedenen allergenen Pflanzenarten scheint leicht verschieden vom Mittelland zu sein: Eichen (*Quercus robur* und *Quercus petraea*), Hagebuchen (*Carpinus betulus*) und Haseln (*Corylus avellana*) kommen im St. Galler Rheintal laut dem Schweizer Forstinventar LFI (Brändli 1998) und dem ZDSF – Zentrum des Datenverbundnetzes der Schweizer Flora (www.crsf.ch) weniger häufig vor als im Mittelland.

4.1.3 Das Wallis mit der Einzelregion Visp

Visp repräsentiert das Oberwallis mit seiner typischen Vegetation. Diese zeichnet sich durch sehr viele Birken- und Erlen-, etwa mittlere Eschen- und eher tiefe Gräser- und Eichenpollenwerte aus. Die Buche kommt im Oberwallis und im mittleren Wallis nicht vor und ist erst westlich von Sion präsent (Werner 1994). Diese Vegetationszusammensetzung bestimmt auch die Unterschiede im Pollenflug. Zudem weist Visp als einzige Messstation des Schweizer Pollenmessnetzes eine ausgeprägt Beifusspollensaison auf. Diese Art wurde jedoch nicht in die Untersuchung miteinbezogen, weil sie auf der Alpennordseite nur eine untergeordnete Rolle spielt. Visp ist zusätzlich geprägt durch intensiven Pollentransport aus höheren Lagen. So verlängert sich beispielsweise die Birkenpollensaison deutlich. Wenn im Talboden die Birken schon längst verblüht sind, erhält die Pollenfalle Visp aufgrund der kurzen Distanz weiterhin Birkenpollen aus Lagen bis gegen 1800 m.

Die Pollenmessungen im Val de Nendaz 2005 zeigen, dass Visp die tiefen Lagen des Ober- und Mittelwallis recht gut repräsentieren kann. Die beiden Stationen Sion (482 m) und Plan Baar (682 m) gruppieren sich schon bei einer Höhe von 0.22 (entspricht einem mittleren r_{xy} von 0.78) mit Visp. Die

nächst höher gelegene Station Beuson (1040 m) korreliert noch mit einem r_{XY} von 0.75 mit Visp, während Planchouet (1510 m) mit einem r_{XY} von 0.52 nur sehr wenig Ähnlichkeit mit Visp aufweist. Auch Montana auf einer Höhe von 1348 m korreliert nur mit einem r_{XY} von 0.59. Dies zeigt, dass die Seitentäler des Wallis bis auf eine Höhenlagen von 1000 m recht gut mit dem Pollenflug von Visp beschrieben werden können, darüber jedoch nicht mehr.

4.1.4 Das Tessin

Die beiden Tessiner Stationen repräsentieren eine Pollenregion, die sich deutlich von der restlichen Schweiz unterscheidet. Beide Pollenfallen in Lugano und Locarno zeigen mittlere Korrelationen von unter 0.48 mit den andern Messstationen. Erstaunlich ist jedoch, dass die Korrelation zwischen Lugano und Locarno nicht so hoch ist, wie beispielsweise zwischen den tief gelegenen Stationen des Mittellands. Der mittlere Korrelationskoeffizient der 7 allergenen Arten beträgt 0.71. Die Pollenfalle Locarno zeigt vermehrt Einflüsse aus dem oberen Tessin, während Lugano offener ist gegenüber Pollentransport aus der Poebene. Eine Aufteilung in die Pollenregionen Sopra- und Sottoceneri ist für folgende Pollenarten noch genauer zu prüfen: Gräser, Buche, Hasel, Hagebuche, Platane und Pappel ($r_{XY} < 0.75$). Die recht tiefe Korrelation der Gräserpollen von 0.57 ist jedoch sicher auch mitbedingt durch die sehr geringen Gräserpollenkonzentrationen an beiden Stationen, die stark durch sehr lokale Ereignisse mitgeprägt werden können. Ein weiterer Grund für die tiefen Korrelationen kann auch in der Analyseverfahren der Tessiner Pollenpräparate liegen. Im Tessin wird im Vergleich zu den Stationen der Alpennordseite nur die halbe Stichprobenfläche ausgezählt, was zu einem grösseren Zählfehler und zu unpräziseren Pollendaten führt.

Offen bleibt, bis in welche Höhenlagen des Tessins die beiden Pollenfallen den Pollenflug repräsentieren, da Pollenmessungen oberhalb von 400 m im Tessin fehlen.

4.1.5 Höhenlagen oberhalb von 600 m

In Höhenlagen unterhalb von rund 600 m ist das Schweizer Pollenmessnetz sehr gut repräsentiert. Oberhalb dieser Höhe existieren jedoch nur die beiden Messstationen La Chaux-de-Fonds und Davos. Zusätzliche Informationen über den Pollenflug in diesen Regionen bieten die Pollenfallen Wald, Montana, Wiesen, Gütsch und Val de Nendaz, die jeweils während wenigen Jahren im Zusammenhang mit Projekten betrieben wurden.

Mit zunehmender Höhe ändert sich die Vegetationszusammensetzung (Landolt 1984) und damit auch das Vorkommen der allergenen Pflanzenarten. Zudem verspätet sich der Blühbeginn mit zunehmender Höhe im Mittel um rund 5 Tage pro 100 Höhenmeter (Defila 1991). Die phänologischen Beobachtung im Val de Nendaz zeigten eine Verspätung mit zunehmender Höhe in einem ähnlichen Bereich, 4.7 Tage für Birken und 3.6 Tage pro 100 Höhenmeter für Gräser (Gehrig et al. 2011). Pollenmessstationen in den Bergen zeichnen sich ausserdem durch ausgeprägten Pollentransport aus (Gehrig und Peeters 2000, Gehrig et al. 2011, Frei 1997). Sobald die allergenen Arten im Mittelland blühen, werden auch in den höheren Lagen Pollen gemessen, allerdings meist in deutlich geringeren Konzentrationen als im Mittelland. Nach der Blütezeit im Mittelland werden die Pollen der

lokalen Blüte registriert, sofern die Pflanzenart im Gebiet vorkommt. Bäume und Sträucher zeigen jedoch im Gebirge ausgeprägte Alternanz, das heisst starke Blühjahre kommen weniger häufig vor und wechseln sich ab mit Jahren mit sehr geringer Blühaktivität (Gehrig und Peeters 2000). Der Transport von Pollen ist neben der Temperatur und dem Niederschlag viel stärker auch von den Windverhältnissen abhängig. Aus dieser zusätzlichen Wetterkomponente ergeben sich neue Muster der Pollensaison, die nicht mehr mit jenen des Mittellands vergleichbar sind. Zudem spielt es für den Pollentransport auch eine Rolle wie offen ein Tal oder eine Region gegenüber Windeinfluss und dem Eindringen von Luftmassen ist.

Die Messstation Wald ZH liegt mit 630 m nur leicht höher als die Messstationen im Mittelland (450 – 570 m). Trotz dieser erhöhten Lage weist Wald eine grosse Ähnlichkeit mit Zürich und Buchs auf. Der Grund dafür ist die meist gute Vermischung der Pollen in der Grenzschicht, sobald sie freigesetzt worden sind. In Wald werden bereits Pollen gemessen, wenn die lokalen Pflanzen noch nicht blühen. Aufgrund der mittleren Verspätung der Vegetation um rund 4-5 Tage pro 100 Höhenmeter (Defila 1991, Gehrig et al. 2011) ist in Wald mit einem um knapp eine Woche späteren Beginn der lokalen Blüte zu rechnen. Die Pollen werden also aus tiefer gelegenen Standorten bis nach Wald transportiert und umgekehrt werden während der Blüte der höher gelegenen Stationen Pollen bis ins Mittelland gebracht.

Aufgrund dieser Ähnlichkeit ist es möglich, die Region des zentralen und östlichen Mittellands bis auf Höhenlagen von rund 700 m auszudehnen. Ungelöst bleibt jedoch die Frage, bis in welche Höhenlagen die Pollenregionen des Mittellands Gültigkeit haben, da geeignete Pollenmessstationen fehlen. Die Grenze liegt zwischen 700 und 1000 m, da die Station La Chaux-de-Fonds (1040 m) schon ein separates Cluster bildet. Interessant ist auch der Hinweis aus dem Val de Nendaz, wo die Station Plan Baar auf 680 m noch gut mit Visp korreliert, jedoch die Station Beuson auf 1040 m sich schon deutlich von Visp unterscheidet. Zu beachten ist jedoch, dass Plan Baar auf einer Talschulter des Haupttals liegt und deshalb sehr exponiert gegenüber dem Pollentransport ist. Diese Resultate lassen sich mit den Höhenstufen der Vegetation vergleichen (Landolt 1984). Die Grenze der kollinen zur montanen Stufe verläuft auf der Alpennordseite auf 600 – 800 m und im Wallis auf 600 – 1000 m. Die Obergrenze der kollinen Stufe wird durch das obere Vorkommen der Eichen begrenzt und ist auf der Alpennordseite durch sommergrüne Laubwälder geprägt. In der montanen Stufe dominieren die Rotbuchen und Nadelbäume werden häufiger.

La Chaux-de-Fonds liegt auf 1040 m und der Blühbeginn ist rund 4 Wochen später als im Schweizer Mittelland (Clot 1996, Gehrig et al. 2010). La Chaux-de-Fonds zeichnet sich durch ausgeprägten Pollentransport und für viele allergene Arten eine ausgeprägte Zweigliederung der Pollensaison in Transportphase und lokale Blüte aus. Im Mittel der allergenen Arten bildet La Chaux-de-Fonds ein separates Cluster, dies auch für die meisten der untersuchten Pollenarten, ausser für Gräser, Buchen und Eichen. Alle Eichenpollen und der grösste Teil der Buchenpollen, die in La Chaux-de-Fonds gemessen werden, stammen aus den tiefen Lagen. Aus diesem Grund erstaunt es nicht, dass die Pollensaison im Mittelland und auf den Jurahöhen vergleichbar ist.

Die Repräsentativität von La Chaux-de-Fonds bleibt auch nach dieser Untersuchung unbekannt, da es keine Vergleichsfalle im Jura gibt. Interessant wäre auch ein Vergleich mit Höhenlagen um 1000 m in den Voralpen, um aufzuzeigen, ob die Voralpen ein ähnliches Muster der Pollensaison wie vergleichbare Höhenlagen im Jura zeigen. Leider wurde bis jetzt der Pollenflug in den Voralpen nie gemessen. In dieser Hinsicht ist die Gruppierung der Klimastationen bezüglich der Temperatur interessant (Begert 2008), wo La Chaux-de-Fonds zusammen mit Chaumont und Adelboden ein Cluster bildet. Allerdings gruppieren sich alle andern Stationen des Alpennordhangs zu einem eigenen Cluster, was Hinweise geben könnte, dass die Voralpen möglicherweise auch bezüglich Pollen eine eigene Region bilden könnten. Neben den Temperaturen ist jedoch der Einfluss der unterschiedliche Pflanzenverbreitung für den Pollenflug zusätzlich entscheidend.

Ein Vergleich von La Chaux-de-Fonds mit Wiesen (1420 m) zeigt, dass die mittlere Korrelation der allergenen Arten mit 0.47 recht tief ist. Dabei wird die höchste Korrelation mit 0.60 durch die Gräserpollen und mit 0.56 durch die Birkenpollen erreicht. Auch der Vergleich mit dem auf ähnlicher Höhenlage liegenden Beuson zeigt, dass die beiden Stationen kaum Gemeinsamkeiten haben (r_{XY} 0.53).

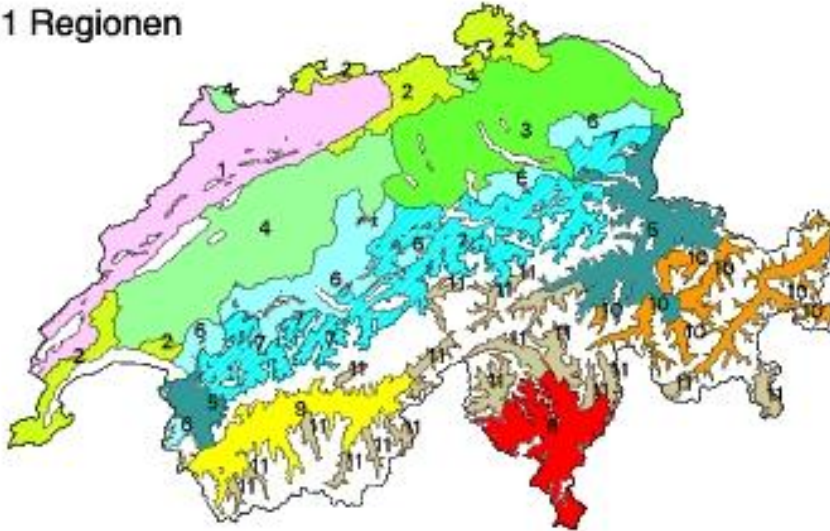
Die hoch gelegenen Stationen um 1000 m scheinen deutlich durch die lokale Vegetation und das Muster des Pollentransports beeinflusst zu sein. Es gibt kaum Gemeinsamkeiten, die eine allgemeine Pollensaison dieser Höhenlage beschreiben würden. Um diese Aussage jedoch weiter abzustützen, wären weitere Messstationen in den Voralpen und im Jura nötig.

Davos ist die einzige Station des Messnetzes in subalpiner Lage und zeichnet sich durch eine um 4 - 7 Wochen verspätete Pollensaison (abhängig von der Pollenart) und durch deutlich geringeren Pollenflug aus (Gehrig und Peeters 2000). Die Abtrennung als Einzelcluster ist deshalb bei allen Pollenarten sehr deutlich. Mit Hilfe der Zusatzmessstationen Wiesen, Gütsch oder im Val de Nendaz lassen sich Angaben zur Repräsentativität von Davos machen.

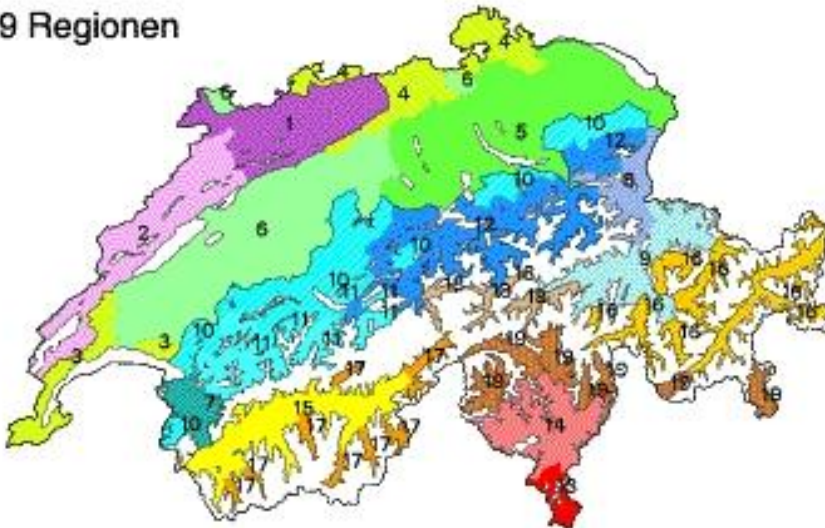
Im Mittel werden die Stationen Gütsch / Davos und Wiesen / Davos im Dendrogramm zu einem Cluster zusammengeschlossen, allerdings erst sehr viel später als alle Mittellandstationen. Die Korrelationskoeffizienten zwischen Davos und den beiden Stationen sind für alle Arten tief. Auch mit der Walliser Station Siviez weist Davos nur wenig Ähnlichkeit auf, ausser bei der Grünerle, einer alpinen Erlenart. Was für die Voralpen gilt, ist umso stärker auch für die Alpen gültig: die lokale Vegetationszusammensetzung und das Muster des Pollentransports ist für die gemessenen Pollenkonzentrationen entscheidend. Wohl kann für eine Alpenregion eine Aussage über den Zeitpunkt der lokalen Blüte gemacht werden, unbekannt bleibt jedoch die Intensität dieser lokalen Blüte. Das Vorkommen von transportierten Pollen ist nur durch die Exposition der Lokalität gegenüber den Luftmassen und die Nähe zu Quellgebieten bestimmt und lässt sich deshalb nicht auf die ganze Alpenregion ausdehnen.

4.2 Vergleich mit den floristischen Regionen des Schweizer Verbreitungsatlas der Farn- und Blütenpflanzen.

11 Regionen



19 Regionen



Figur 13: Floristische Gliederung der Schweiz aus der Swiss web flora, WSL <http://www.wsl.ch/land/products/webflora/welcome-de.ehtml>. Für die Legende wird auf diese Webseite verwiesen.

Die floristischen Gliederungen mit 11 oder 19 Regionen (Swiss web flora WSL, <http://www.wsl.ch/land/products/webflora/>, Wohlgemuth 1993) können sehr gut mit den Resultaten der Clusteranalyse der Pollenmessstationen verglichen werden, auch wenn sich diese Gliederung auf andere Pflanzenarten als die bei den Pollen untersuchten Arten bezieht. Deutlich zeigt sich das Bild der Zweiteilung des Mittellands in eine westliche und östliche Hälfte wie bei den Pollen. Die Region Buchs gehört nach floristischer Gliederung nicht zum Mittelland, wie das auch durch die Pollen angedeutet wird. Sehr Interessant ist die floristische Ähnlichkeit von Basel und dem Genferseegebiet

auf der 11-Regionenkarte. Gleiches zeigt sich bei den Pollen, ist doch Genève jene Station, welche die höchste Korrelation mit Basel aufweist. Lausanne verbindet die beiden Regionen der Westschweiz und des Genfersees. Das Tessin wird erst bei einer Aufteilung in 19 Regionen in den Sopra- und Sottoceneri aufgeteilt, welches durch die Pollencluster eigentlich schon früher vorgeschlagen wird. Das Walliser Haupttal wird als floristische Einheit kartiert, so dass die Repräsentativität von Visp für das Walliser Haupttal zumindest bis Sion zutrifft. Die Alpen und Voralpen sind bereits von der floristischen Gliederung her variabel. Zusammen mit dem unregelmässigen Pollentransport ergibt sich für die Alpen und Voralpen ein sehr variables Bild.

4.3 Vergleich mit den Temperatur- und Niederschlagsregionen der Schweiz

Die Stationen des NORM90 Datensatzes (homogenisierte Klimamessreihen) von MeteoSchweiz wurden durch Bergert (2008) in homogene Regionen aufgeteilt, getrennt für Temperatur und Niederschlag. Da die beiden Faktoren Temperatur und Niederschlag für die Vegetationsverteilung und besonders auch für den Pollenflug die bestimmenden Variablen sind, kann dieser Vergleich weitere Lücken im Pollenmessnetz aufzeigen. Bei den Temperaturen fällt die Zweigliederung des Mittellands auf, wobei Basel zur Zentral- und Ostschweiz und Bern der Westschweiz gehört. Bei den Pollenmessstationen zeigen Basel und Bern eher eine Zugehörigkeit zur Westschweiz, wobei Bern eher zwischen beiden Gruppen liegt. Buchs (oder die nächstgelegene Wetterstation Vaduz) wurde in der Analyse nicht berücksichtigt. Klar wird jedoch, dass Bad Ragaz (18 km von Buchs entfernt) zu den Voralpen gehört. Dies unterstreicht die etwas abgetrennte Lage von Buchs vom Mittellandcluster. Leider ist auch die Station Visp nicht in der Analyse enthalten, weshalb über die Aufteilung des Wallis nicht viel gesagt werden kann. Die Alpen werden bei den Temperaturen in verschiedene Regionen aufgeteilt. Regionen ohne Pollenmessstationen liegen in den Voralpen, im Engadin und in weiteren Alpengebieten.

Die Niederschlagsstationen werden in 32 Regionen gegliedert. Dabei fällt auf, dass nur die beiden Pollenstationen Genève und Lausanne einer Region angehören. Alle andern Stationen werden einer separaten Niederschlagsregion zugeordnet.

5 Resultate der Regressionsanalysen

Mit Regressionsanalysen soll die Qualität der Gruppierung der Pollenmessstationen überprüft werden. Es wird untersucht, ob der Verlauf der Pollensaison der Birkenpollen einer Station mit Hilfe der andern Stationen derselben Gruppe und mit zusätzlichen Wettervariablen modelliert werden kann. Je genauer dieses Regressionsmodell die Pollensaison wiedergibt, umso ähnlicher sind die Stationen einer Gruppe. Zusätzlich kann Regressionsanalyse verwendet werden, um an Ende der Pollensaison fehlende Messwerte einer Station mit Hilfe der Nachbarstationen zu modellieren und die Messlücken zu füllen.

Am Beispiel des Birkenpollenflugs von Münsterlingen und Basel sollen die Resultate der Regressionsmodellierung vorgestellt werden. Im Anhang 1 und 2 finden sich Grafiken mit der Modellierung der Testjahre 2000 – 2004 und 2010 für die andern Messstationen des Pollenmessnetzes. Für Davos wurden keine Regressionsmodelle erstellt, da sich der Pollenflug in Davos sehr stark von den andern Messstationen unterscheidet.

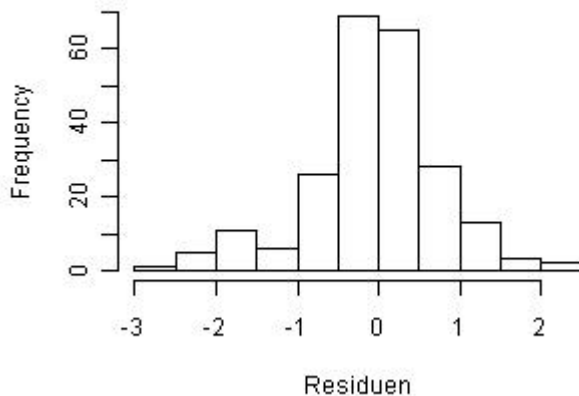
5.1 Regressionsmodell Birken von Münsterlingen

Die Messstation Münsterlingen weist für die Trainingsjahre 2005-2009 mittlere Korrelationskoeffizienten der Birkenpollen von 0.925 mit Zürich, 0.892 mit Luzern und 0.886 mit Buchs auf. Das beste Modell für die Vorhersage der Birkenpollen in Münsterlingen, nach dem Testen aller Variablen und nach schrittweiser Rückwärtselimination von nicht signifikanten Variablen, beinhaltet neben diesen drei Pollenmessstationen auch das Tagesmittel der relativen Feuchtigkeit.

```
Call:
regr(formula = lPMU ~ lPZH + lPLZ + lPBU + MUHumean, data = BetulaTraining,
      method = "rlm")
Fitting function rlm

Terms:
              coef  stcoef signif  R2.x df p.value
(Intercept)  0.8276  0.0000  0.988   NA  1  0.053
lPZH          0.5586  0.5936  5.298 0.654  1  0.000
lPLZ          0.1381  0.1306  1.182 0.649  1  0.006
lPBU          0.2194  0.2286  2.538 0.569  1  0.000
MUHumean     -0.0102 -0.0447 -1.003 0.128  1  0.017
```

Tabelle 5: Summary output des logarithmierten Birkenpollenmodells für Münsterlingen
 Variablen: lPMU: logarithm. Pollendaten Münsterlingen, lPZH: logarithm. Pollendaten Zürich, lPLZ: logarithm. Pollendaten Luzern, lPBU: logarithm. Pollendaten Buchs, MUHumean: Tagesmittel der relativen Feuchte in Münsterlingen

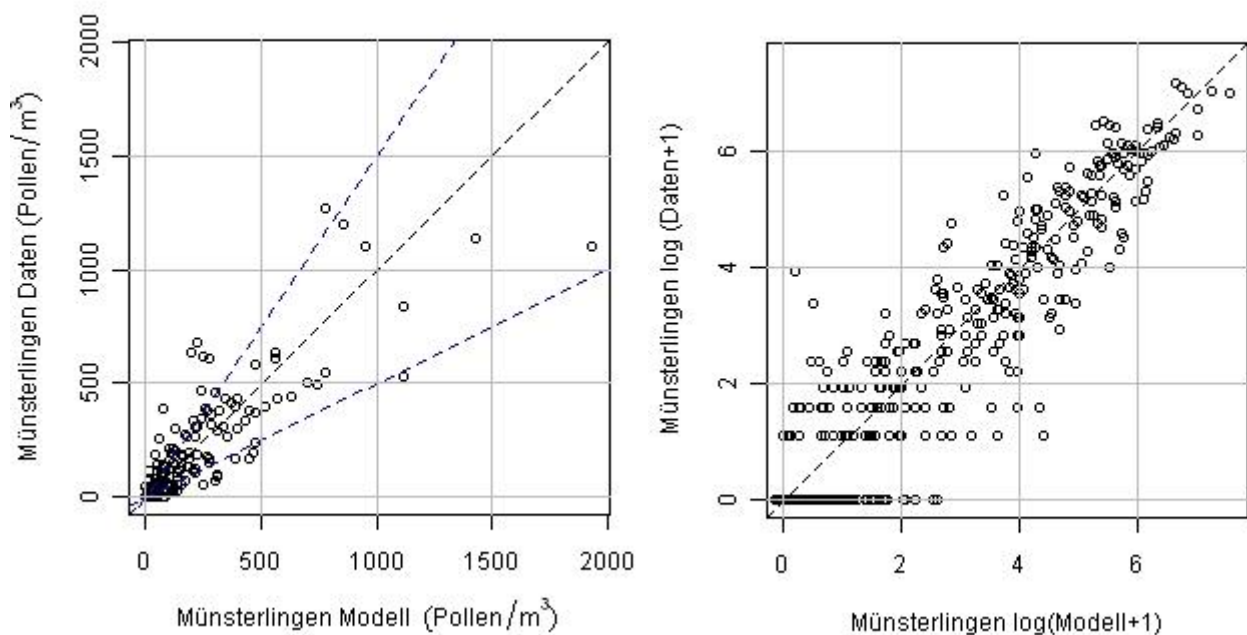


Figur 14: Histogramm der Residuen des gewählten Birkenpollenmodells für Münsterlingen. Die Residuen sind langschwänzig, weshalb ein robustes Regressionsmodell verwendet wurde.

Neben dem Modell mit den drei Pollenmessstationen wurden auch Modelle mit nur zwei Pollenmessstationen (Zürich und Luzern respektive Zürich und Buchs) erstellt, wobei im Modell von Zürich und Luzern auch das Mittel und das Minimum der Tagestemperatur und für Zürich und Buchs auch die mittlere Feuchte im Modell enthalten sind. Die drei Modelle zeigen alle sehr ähnliche Resultate (Tabelle 6) und weisen sehr hohe Korrelationskoeffizienten zwischen den Daten und dem Modell für die Testjahre (2000 – 2004, 2010) auf. Das Informationskriterium von Akaike (AIC) liefert ein Mass für die Anpassungsgüte des Modells. Je kleiner der Wert des AIC-Kriteriums ist, umso besser passt das Modell. Somit kommt es nicht darauf an, welches dieser Modelle für die Rekonstruktion der Birkenpollensaison in Münsterlingen verwendet wird. Die tiefsten Korrelationen werden im Jahr 2003 mit 0.869, 0.856 und 0.855 für die drei Modelle erreicht.

Modell	AIC	Mittl. Korrelationskoeff. Daten – Modell	Mittl. absoluter Fehler Daten - Modell
PZH, PLZ, PBU, Humean	564	0.917	42.9
PZH, PLZ, Tmean, Tmn	587	0.914	39.6
PZH, PBU, Humean	568	0.909	42.6

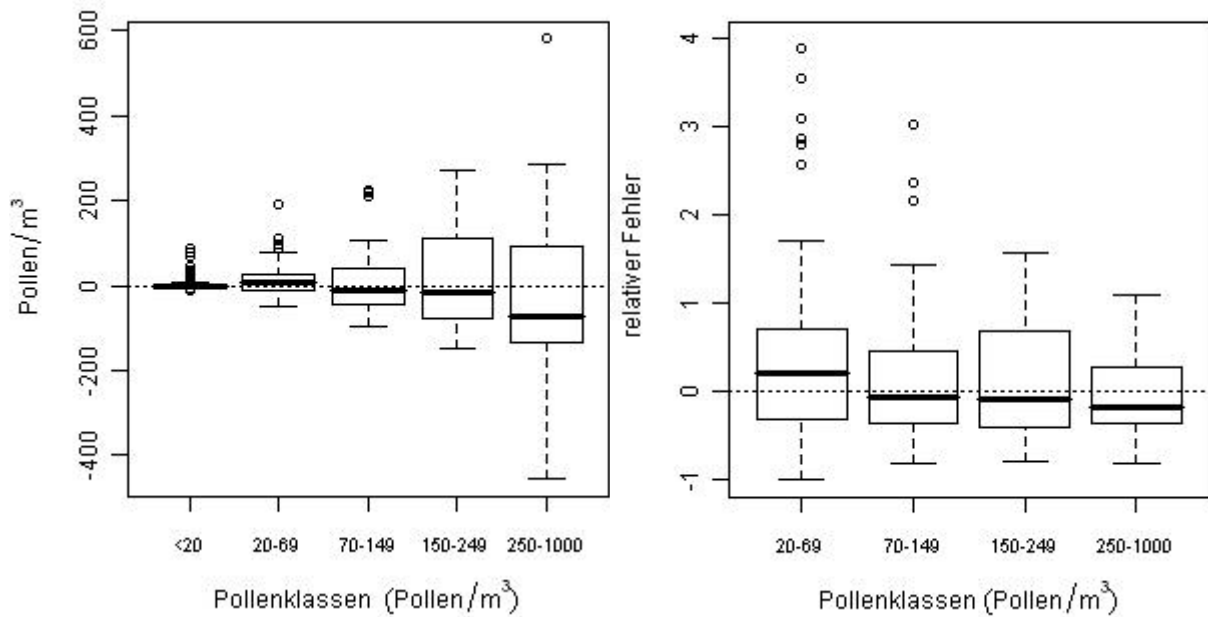
Tabelle 6: Vergleich der Birkenpollenmodelle für Münsterlingen. Mittlere Korrelationskoeffizienten und mittlere absoluter Fehler wurden für die Testjahre 2000 – 2004 und 2010 berechnet.



Figur 15: Scatterplot der gemessenen Birkenpollendaten mit den modellierten Daten in Münsterlingen für die Jahre 2000 – 2004 und 2010, links mit den absoluten Messdaten, rechts mit den logarithmierten Daten. Die blauen, gestrichelten Linien zeigen eine Abweichung von $\pm 50\%$ der Pollenkonzentration.

Figur 15 zeigt Scatterplots der gemessenen und modellierten Birkenpollendaten. Um die Qualität der Vorhersage weiter zu überprüfen, wurden absolute und relative Abweichungen der modellierten Daten von den gemessenen Daten für die Testjahre 2000 – 2004 und 2010 ermittelt, wobei die absolute Abweichung mit $\text{beobachtet} - \text{modelliert}$ und die relative Abweichung mit $(\text{beobachtet} - \text{modelliert}) / \text{beobachtet}$ berechnet wurde. Um Boxplots mit homogenen Datengruppen vergleichen zu können, wurden die Pollendaten in Pollenklassen aufgeteilt, die an die Allergenitätsstufen (Gehrig et al. 2010, Tabelle 7) angelehnt sind. Da bei tiefen Pollenkonzentrationen bereits geringe absolute Abweichungen zu einem grossen relativen Fehler führen, wurde für die Klasse < 20 Pollen kein relativer Fehler berechnet (Figur 16). Die Whiskers werden im Boxplot als maximal 1.5-mal die Länge des Interquartilsabstands eingezeichnet und entsprechen den grössten „normalen“ Beobachtungen (Stahel 2008).

Der Verlauf der Birkenpollensaison von Münsterlingen lässt sich mit den Pollenmessstationen Luzern, Zürich und Buchs gut rekonstruieren (Figur 16, Anhang 1). Die Korrelation zwischen den Daten und dem Modell der Testjahre ist mit 0.917 sehr hoch. Die einzelnen Pollenwerte werden bei tiefen Pollenkonzentrationen bis 69 Pollen leicht überschätzt, bei höheren Pollenmengen eher unterschätzt. Der Median der relativen Abweichungen der einzelnen Tage betragen bei der Klasse 20 – 69 Pollen + 20.6%, bei 70 – 149 Pollen -6.5%, bei 150 – 250 Pollen -7.6% und bei 250 – 1000 Pollen -17.6%.



Figur 16: Absoluter und relativer Fehler des Birkenregressionsmodells in Münsterlingen für die Testjahre 2000 – 2004 und 2010 aufgeteilt auf verschiedene Pollenklassen. Relative Fehler wurden für die Pollenklasse < 20 nicht berechnet.

Pollenkonzentrationen werden für die Kommunikation in der Öffentlichkeit in Belastungsklassen schwach bis sehr stark umgerechnet (Tabelle 7). Eine weitere Art der Überprüfung des Modells ist, ob die vorhergesagten Werte in derselben Pollenklasse wie die Daten liegen. Für das Modell von Münsterlingen ist der Anteil der korrekten Klassierungen 61.3%. Wenn der Datenwert 0 weggelassen wird, dann steigt der Anteil der richtigen Klassierungen auf 81.9%.

	Modell					
	Pollen/m ³ Pollenklasse	0 keine	1 – 9 schwach	10 – 69 mässig	70 – 249 stark	>250 sehr stark
Daten	0 keine	46	46	2	0	0
	1 – 9 schwach	9	57	13	2	0
	10 – 69 mässig	1	19	62	15	0
	70 – 249 stark	0	0	14	30	10
	> 250 sehr stark	0	0	1	13	35

Tabelle 7: Kontingenztafel der Pollenklassen für die Daten und der Modellprognosen für Birkenpollen in Münsterlingen

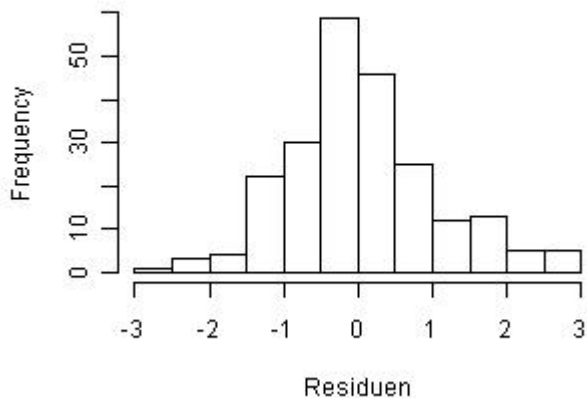
5.2 Regressionsmodell Birken von Basel

Auch für die Messstation Basel wurde ein robustes Regressionsmodell angepasst, da die Residuen eine langschwänzige Verteilung aufwiesen (Figur 17). Die Messstation Basel weist für die Trainingsjahre 2005-2009 mittlere Korrelationskoeffizienten der Birkenpollen von 0.84 mit Genève, 0.795 mit Neuchâtel und 0.772 mit Lausanne auf. Das beste Modell für die Vorhersage der Birkenpollen in Basel beinhaltet die Pollendaten von Genève und Neuchâtel und die minimale relative Tagesfeuchte von Basel (Tabelle 8).

```
Call:
regr(formula = lPBS ~ lPNE + lPGE + BSTmax + BSHum, data = BetulaTraining,
      method = "rlm")
Fitting function rlm
```

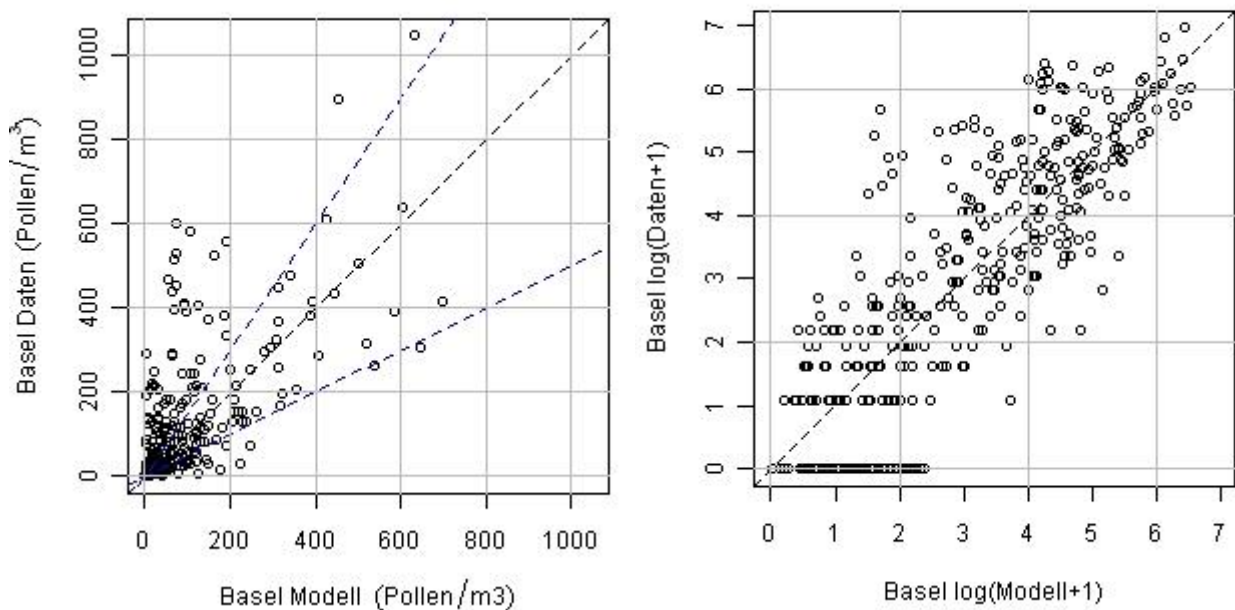
```
Terms:
      coef stcoef signif  R2.x df p.value
(Intercept)  2.5203  0.000   2.62   NA  1  0.000
lPNE         0.3215  0.354   2.40 0.541  1  0.000
lPGE         0.5649  0.612   4.08 0.548  1  0.000
BSTmax      -0.0668 -0.201  -2.05 0.310  1  0.000
BSHum       -0.0161 -0.131  -1.38 0.284  1  0.002
```

Tabelle 8: Summary output des logarithmierten Birkenpollenmodells für Basel
Variablen: lPNE: logarithm. Pollendaten Neuchâtel, lPGE: logarithm. Pollendaten Genève, BSTmax: Tagemaximum der Temperatur in Basel, BSHum: Tagesminimum der relativen Feuchte in Basel

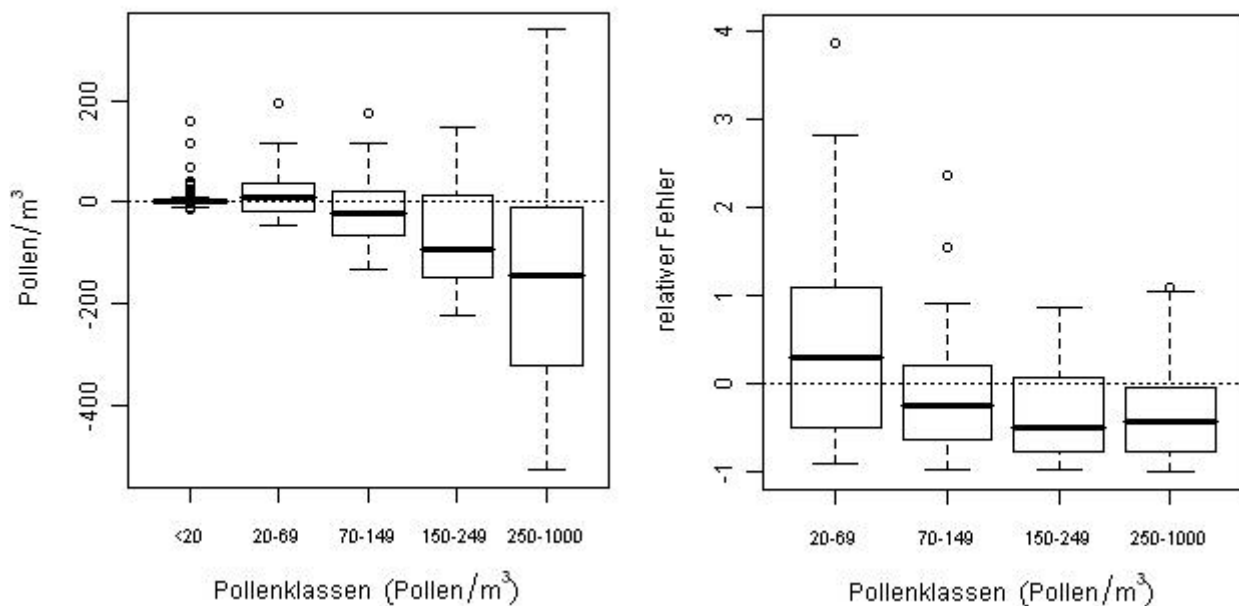


Figur 17: Histogramm der Residuen des gewählten Birkenpollenmodells für Basel. Die Residuen sind leicht langschwänzig, weshalb ein robustes Regressionsmodell angepasst wurde.

Das Modell weist einen Korrelationskoeffizienten von 0.823 zwischen Daten und den prognostizierten Werten der Testjahre auf. Der mittlere absolute Fehler ist 53.2 Pollen.



Figur 18: Scatterplot der gemessenen Birkenpollendaten mit den modellierten Daten in Basel für die Jahre 2000 – 2004 und 2010, links mit den absoluten Messdaten, rechts mit den logarithmierten Daten. Die blauen, gestrichelten Linien zeigen eine Abweichung von $\pm 50\%$ der Pollenkonzentration.



Figur 19: Absoluter und relativer Fehler des Birkenregressionsmodells in Basel für die Testjahre 2000 – 2004 und 2010 aufgeteilt auf verschiedene Pollenklassen. Relative Fehler wurden für die Pollenklasse < 20 nicht berechnet.

Der Verlauf der Birkenpollensaison von Basel lässt sich mit den Pollenmessstationen Genève und Neuchâtel deutlich schlechter rekonstruieren als in Münsterlingen (Figur 18 und Figur 19). So werden vor allem die frühen Peaks, welche Basel von den andern Stationen unterscheidet, nicht modelliert. Die Korrelation zwischen den Daten und dem Modell der Testjahre ist mit 0.823 deutlich geringer als in Münsterlingen. Die einzelnen Pollenwerte werden bei tiefen Pollenkonzentrationen bis 69 Pollen leicht überschätzt, bei höheren Pollenmengen deutlich unterschätzt (Figur 19). Der Median der relativen Abweichungen der einzelnen Tage betragen bei der Klasse 20 – 69 Pollen + 30.1%, bei 70 – 149 Pollen -15.6%, bei 150 – 250 Pollen -48.6% und bei 250 – 1000 Pollen -43.4%.

Die Überprüfung des Modells mit dem Vergleich der richtigen Einordnung in die Pollenklassen, zeigt für Basel einen Anteil der korrekten Klassierungen von nur 49.9%. Wenn der Datenwert 0 weggelassen wird, dann steigt der Anteil der richtigen Klassierungen auf 59.1%.

	Modell					
	Pollen/m³ Pollenklasse	0 keine	1 – 9 schwach	10 – 69 mässig	70 – 249 stark	>250 sehr stark
Daten	0 keine	5	62	0	0	0
	1 – 9 schwach	5	60	14	2	0
	10 – 69 mässig	0	23	59	18	0
	70 – 249 stark	0	6	31	42	4
	> 250 sehr stark	0	1	6	16	21

Tabelle 9: Kontingenztafel der Pollenklassen für die Daten und das Modell für Birkenpollen in Basel

5.3 Regressionsmodelle Birken der anderen Pollenmessstationen

Die Grafiken der Modelle und der Pollendaten von weiteren Stationen für die Testjahre befinden sich in den Anhängen 1 und 2. Mittlere Korrelationskoeffizienten zwischen den Daten und den Modelldaten für die Stationen für die Testjahre werden in Tabelle 10 angegeben. Sie geben einen Hinweis, wie gut die Modelle die Daten wiedergeben können.

	Korrelation Daten – Modell	Prädiktoren
Zürich	0.927	IPBU, IPLZ; IPMU
Luzern	0.922	IPBU, IPZH, IPMU
Lausanne	0.922	IPBE, IPNE, IPGE
Neuchâtel	0.920	IPBE, IPLS, IPGE
Münsterlingen	0.915	IPZH, IPLZ, IPBU, MUHumean
Bern	0.906	IPNE, IPLS, IPZH, BETmean
Genève	0.898	IPBS, IPNE, IPLS, ln(GENS+1)
Buchs	0.876	IPLZ, IPMU , BUTmean, BUTmn, BUSun, BUHumn, BUWind
Locarno	0.830	IPLU, LOTmax, LOWind
Basel	0.823	IPNE, IPGE, BSTmax, BSHumn
Lugano	0.819	IPLO, LUSun, LUHumn ²
Visp	0.810	IPGE, IPLS, IPBS. IPNE, VITmax, VITmn, VINS, VISun, VIWind
La Chaux-de-Fonds	0.790	IPBE, IPNE, CFTmean, CFTmn, CFNS, CFHumean, CFHumn

Tabelle 10: Mittlere Korrelationskoeffizienten der Modelldaten und der gemessenen Daten der Testjahre 2000 – 2004 und 2010 und die Prädiktoren der verschiedenen Regressionsmodelle. Erklärung der Prädiktoren der Modelle: IPZH: logarithmierte Pollendaten mit der jeweiligen Stationsabkürzung s. Tabelle 1, Wettervariable: zusammengesetzt aus der Kurzform des Stationsnamens und der Wettervariable: Humean: mittlere relative Feuchte, Humn: minimale relative Feuchte, Tmean: mittlere Tagestemperatur, Tmax: Tagesmaximum der Temperatur, Tmn: Tagesminimum der Temperatur, Wind: mittlere Windgeschwindigkeit, Sun: Sonnenscheindauer, NS: Tagesniederschlag

6 Diskussion Regression

Regressionsmodelle sind eine geeignete Methode, um die Ähnlichkeit von Pollenmessstationen innerhalb eines Clusters zu überprüfen. Neben den Pollenmessungen der Nachbarstationen desselben Clusters werden teilweise auch Wetterparameter als signifikante erklärende Variablen im Modell benötigt. Dabei sind für Stationen mit sehr hohen Korrelationskoeffizienten zwischen den Stationen die Wetterparameter nicht signifikant. Dies ist der Fall für die Regressionsmodelle von Zürich, Luzern, Neuchâtel und Lausanne.

Eine optische Überprüfung der Grafiken der Testjahre (Anhänge 1 und 2) zeigt, dass für die Stationen Zürich, Luzern, Münsterlingen, Neuchâtel und Lausanne die Birkenpollendaten sehr gut modelliert werden können. Vor allem der Verlauf wird bei allen diesen Stationen korrekt wiedergegeben. Die Höhe der Peaks kann jedoch in Einzelfällen verfehlt werden. Alle diese Stationen liegen in den beiden Clustern des Mittellands und korrelieren im Mittel hoch mit den für die Regression verwendeten Stationen (für die Trainingsjahre um 0.9, für die Testjahre 0.86-0.88). Für eine weitere Gruppe von Stationen, Bern, Buchs und Genève, wird der Verlauf der Pollensaison recht gut modelliert, die Höhe der Peaks wird jedoch teilweise deutlich verfehlt. Diese Stationen korrelieren in den Trainingsjahren mit 0.88-0.89 mit den erklärenden Stationen, in den Testjahren mit 0.83-0.86. In Basel wird im Modell regelmässig der erste Peak verfehlt, da die Birkenpollensaison häufig in Basel früher beginnt als an den andern Stationen der Alpennordseite. Das Modell für Basel ist deshalb ungenügend. Die Korrelation mit den erklärenden Stationen der Trainingsjahre ist 0.81, in den Testjahren 0.77. In Visp wird der Verlauf der Saison ebenfalls nicht allzu schlecht wiedergegeben, die Höhe der Peaks wird jedoch ungenügend modelliert. Die Korrelation mit den erklärenden Stationen beträgt in den Trainingsjahren 0.76 und 0.72 in den Testjahren. Auch für Locarno, Lugano können die Regressionsmodelle die Pollenmessungen nur ungenügend rekonstruieren (Korrelation der Trainingsjahre 0.76 und der Testjahre 0.82). In La Chaux-de-Fonds werden die transportierten Pollen recht gut modelliert, die lokale Blüte jedoch überhaupt nicht (Korrelation der Trainingsjahre 0.83 und der Testjahre 0.65).

Die Testjahre weisen alle leicht tiefere Korrelationen zwischen den Stationen auf als die Trainingsjahre.

Aufgrund dieser optischen Überprüfung sollten die Korrelationen bei den Birkenpollen zwischen den verschiedenen Messstationen über rund 0.88 liegen, um gute oder über rund 0.85 um brauchbare Modelle für die Pollensaisons zu erhalten. Unterhalb von Korrelationen von rund 0.85 weichen die modellierten Daten sehr stark von den gemessenen Daten ab und die Saisonmuster werden nicht mehr wiedergegeben. Ob diese Grenze auch für andere Pollenarten gilt, müsste konkret mit Regressionsmodellen dieser Arten überprüft werden.

Die Regressionsmodelle stützen die Resultate der Clusteranalyse. Klare Gruppen gibt es im zentralen/östlichen Mittelland (Zürich, Luzern, Münsterlingen) und im westlichen Mittelland (Neuchâtel,

Lausanne). Die Pollensaison von Genève weist einige Jahre auf, die nicht genügend gut modelliert werden können. Grund dafür sind die tieferen Korrelationskoeffizienten mit den Nachbarstationen während den Testjahren im Vergleich zu den Trainingsjahren. Die Stationen Bern und Buchs liegen wie in der Clusteranalyse etwas abseits. Basel, Visp und La Chaux-de-Fonds können durch Regressionen mit Nachbarstationen nur sehr ungenügend modelliert werden. Ihre Stellung als Einzelcluster wird dadurch bestätigt. Lugano und Locarno zeigen mit den unbefriedigenden Resultaten der Regressionsmodelle, dass eine Korrelation von 0.79 nicht reicht, um den Pollenflug mit Hilfe der Nachbarstation zu beschreiben.

Die Frage nach der Qualität der Regressionsmodelle lässt sich konkret nur im Zusammenhang mit der geplanten Anwendung der Resultate beantworten. Sollen die Regressionsmodelle eingesetzt werden, um Datenlücken einer Messstation zu füllen und so vollständige Datenreihen zu erhalten, so muss die Genauigkeit der Modelle hoch sein. Wird beispielsweise für 50% der Tageswerte (innerhalb der Quartile 25 – 75%) ein Fehler von maximal $\pm 50\%$ in allen Pollenklassen verlangt, so erfüllen nur die Modelle von Luzern und Lausanne diese Bedingung. Wird dieser Fehler auf $\pm 100\%$ erhöht, dann erfüllen nur noch die Modelle von Basel, Buchs, Bern, Visp und Lugano die Bedingung nicht, dies meist für die Klasse 20 – 69 Pollen. Die Werte der beiden grösseren Pollenklassen (150 – 249 und 250 – 1000 Pollen) werden in vielen Modellen systematisch unterschätzt, ausser in Bern, Buchs, Münsterlingen und Zürich. Dies ist vor allem ein wichtiger Hinweis, wenn mit den aufgefüllten Datenreihen der Seasonal Pollen Index (SPI, Summe der täglichen Pollenkonzentrationen) berechnet wird.

7 Schlussfolgerungen

Der Pollenflug des Mittellandes bis gegen rund 600-700 m Höhe kann gut durch das bestehende Pollenmessnetz beschrieben werden. Auch in Regionen ohne Pollenfalle, beispielsweise im zentralen Mittelland scheint der Pollenflug ähnliche Muster zu haben wie an den bestehenden Messstationen, wie die temporäre Pollenfalle in Aarau zeigt. Während der Periode 1991 – 93 liegt Aarau sogar näher an der Gruppe mit Zürich und Münsterlingen als die Messstation Luzern. Eigene Pollenregionen mit deutlich unterschiedlichen Mustern des Pollenflugs bilden jedoch die Messstationen ausserhalb des Mittellands: Basel, Buchs, Visp, La Chaux-de-Fonds, Davos und die beiden Stationen im Tessin Lugano und Locarno.

Im gesamten Pollenmessnetz werden deutlich tiefere Korrelationskoeffizienten zwischen den Stationen erreicht als bei der Temperatur und dem Niederschlag (Begert 2008), d.h. die räumliche Variabilität des Pollenflugs ist bedeutend grösser als bei diesen beiden Messgrössen auch innerhalb eines Clusters. Gründe für die ähnlichen Pollenflugmuster im Mittelland sind einerseits die Abhängigkeit des Pollenflugs vom Wetter, welches zur Gleichzeitigkeit der Schwankungen der Pollenkonzentrationen führt und der vermutlich starken Durchmischung der Pollen über dem Mittelland. Die Zusammensetzung der lokale Vegetation hat jedoch einen Einfluss auf die Intensität des Pollenflugs. Dieser Aspekt der Variabilität des Pollenflugs konnte mit dieser Studie nicht untersucht werden. Diese Unterschiede können nur mit zusätzlichen lokalen Messungen nachgewiesen werden. Dass diese Unterschiede sehr gross sind und durch lokale Vegetationsquellen geprägt werden, zeigten Rodriguez-Rajo et al. (2010) oder Cariñanos et al. (2002).

Es gibt nur im Mittelland Cluster, die durch mehrere Pollenmessstationen repräsentiert sind. Die beiden Cluster des Mittellands enthalten je drei bis vier Messstationen. Der untersuchte Birkenpollenflug kann mit Hilfe der andern Stationen des Clusters mittels Regression in den meisten Jahren gut rekonstruiert werden. Damit wird ein Werkzeug geschaffen, mit dem Datenlücken, die im Pollenmessnetz häufig vorkommen, gefüllt werden können. Vollständige Datenreihen sind eine Voraussetzung um beispielsweise Trends in der Veränderung der Intensität des Pollenflugs berechnen zu können. Um dieses Instrument nutzen zu können, ist es wichtig, dass alle Stationen des Mittellands weiterbetrieben werden. Datenanalysen aus den Jahren 1991 – 93 zeigen zudem, dass in einigen Jahren der Pollenflug der Messstationen innerhalb eines Clusters auch sehr unterschiedlich sein kann (z.B. Luzern, Münsterlingen) und sich somit Eigenheiten einer Pollenfalle in einzelnen Jahren durchaus zeigen können. Die bestehenden Standorte der Pollenfallen im Mittelland decken sich zudem gut mit der Bevölkerungsverteilung. Alle grossen Zentren der Schweiz werden durch Pollenmessungen bedient (Zürich, Bern, Basel, Genève, Lausanne, Luzern), da lokale Messungen wichtig für Ärzte und Pollenallergiker sind. Bei den mittelgrossen Bevölkerungszentren zeigen sich jedoch Lücken im Pollenmessnetz, beispielsweise St. Gallen, Winterthur, Biel, Fribourg oder Chur.

Als wichtigste Messstationen der Mittellandcluster werden aufgrund ihrer Länge der Messreihen Zürich und Neuchâtel bezeichnet. Genève mit dem jeweils etwas früher einsetzenden Pollenflug wird als zusätzlich wichtige Station bestimmt. Dieser Unterschied wird vor allem in den

Regressionsanalysen deutlich, bei denen in einigen Jahren der Pollenflug von Genève nur ungenügend modelliert werden kann. Tabelle 11 zeigt die Liste der Messstationen des Schweizer Pollenmessnetzes und die Bewertung ihrer Bedeutung für die Messung des Pollenflugs.

Für das Mittelland bringen die Resultate der Clusteranalyse die Sicherheit, dass die von MeteoSchweiz publizierten Polleninformationen, welche für die Messstationen erstellt werden, für grössere Regionen Gültigkeit haben. Selbst Pollenfallen, die 50 km entfernt liegen, weisen sehr ähnliche Muster auf, obwohl der Blühbeginn der Arten um einige Tage differieren kann. Offen bleibt jedoch wie die lokalen Unterschiede auf viel kleinerem Gebiet nachgewiesen werden können, z.B. innerhalb einer Stadt, welche mit dem bestehenden Messnetz nicht erfasst werden.

Die Clusteranalyse zeigt auch, welche Regionen der Schweiz durch Pollenmessungen nicht abgedeckt sind und durch die bestehenden Pollenfallen nicht repräsentiert werden. In Gebieten oberhalb von 650 m existieren nur die Pollenfallen La Chaux-de-Fonds und Davos. Höhenlagen von ungefähr 600 bis 1400 m sind einerseits von der Stärke des Pollentransports und andererseits von der Zusammensetzung und Blühintensität der lokalen Vegetation geprägt. In den Alpen, oberhalb von rund 1400 m ist der Pollenflug noch deutlicher von Transportvorgängen aus den tieferen Lagen bestimmt, denn die meisten Pflanzenarten der lokale Vegetation produzieren viel weniger Pollen.

Um mehr Informationen über die Charakteristik dieser Gebiete zu erhalten, sollten zumindest mobile Pollenfallen während mindestens zwei Jahren an ausgewählten Standorten der Voralpen und Alpen betrieben werden. In diesen Höhenlagen liegen wichtige Tourismusorte der Schweiz mit über 10 Millionen Logiernächten pro Jahr (Bundesamt für Statistik); ein grosses Potenzial für die Verbreitung von exakteren Polleninformationen. Angaben über Regionen mit keinem oder deutlich geringerem Pollenflug als im Mittelland sind für Allergikerinnen und Allergiker sehr wichtig, um während dem Höhepunkt der Pollensaison in den Alpen eine Reduktion der Beschwerden zu erhalten.

In den Alpen wäre es neben dem Aufstellen mobiler Messstationen wichtig, die Charakteristik der lokalen alpinen Pollensaison zu erarbeiten (Zeitpunkt, Dauer, Intensität, jährliche Variabilität und Vegetationszusammensetzung). Die transportierten Pollen können anschliessend am besten mit einem Ausbreitungsmodell (Vogel et al. 2008) modelliert werden.

Pollenprognosen mit Ausbreitungsmodellen werden erst seit kurzer Zeit entwickelt. In der Schweiz basieren sie auf dem numerischen Wettermodell COSMO (Vogel et al. 2008). Mit dem bestehenden Pollenmessnetz lassen sich diese Modelle im Mittelland sehr gut verifizieren. Die Gültigkeit dieser Modelle in Höhenlagen oberhalb von 600 m kann mit dem bestehenden Messnetz nicht verifiziert werden. Auch aus diesem Grund wären zusätzliche Pollenmessungen an ausgesuchten Standorten notwendig.

Station	Beschreibung	Messbeginn
Zürich	Hauptstation Cluster zentrales und östliches Mittelland	1982
Luzern	Cluster zentrales und östliches Mittelland, wichtig für Regressionsmodelle zentrales und östliches Mittelland und Buchs, Bevölkerungszentrum Zentralschweiz	1989
Münsterlingen	Cluster zentrales und östliches Mittelland, wichtig für Regressionsmodelle zentrales und östliches Mittelland und Buchs	1987
Buchs	Eigenes Cluster	1985
Bern	Bildet die Verbindung zwischen westlichem Mittelland und zentralem und östlichen Mittelland, Bevölkerungszentrum	1993
Neuchâtel	Hauptstation Cluster westliches Mittelland	1982
Lausanne	Cluster westliches Mittelland, wichtig für Regressionsmodell westliches Mittelland, Bevölkerungszentrum	1997
Genève	Hauptstation westliches Mittelland, wichtig für Regressionsmodelle westliches Mittelland und Basel	1979-85, ab 1989
Basel	Eigenes Cluster	1969
Visp	Eigenes Cluster, gültig für das mittlere Wallis	1993
La Chaux-de-Fonds	Eigenes Cluster	1986
Davos	Eigenes Cluster, aber nicht repräsentativ für die Alpen	1983
Locarno	Hauptstation im Cluster Tessin	1989
Lugano	Hauptstation im Cluster Tessin	1985-88, ab 1991

Tabelle 11: Liste der Messstationen des Schweizer Pollenmessnetzes und Bewertung ihrer Bedeutung für die Messung des Pollenflugs in der Schweiz

Dank

Die Analyse der Schweizer Pollenmessstationen wurde als Diplomarbeit im Rahmen des Weiterbildungslehrgangs in Angewandter Statistik der ETH Zürich 2009 – 2011 bei Herrn Prof. Dr. Werner Stahel durchgeführt. Ich möchte Werner Stahel herzlich für die Betreuung, die Diskussionen und Anregungen danken, die zum Gelingen dieser Studie beigetragen haben.

Literatur

- Brändli U.-B. 1998. Die häufigsten Waldbäume der Schweiz. Ergebnisse aus dem Landesforstinventar 1983-85: Verbreitung, Standort und Häufigkeit von 30 Baumarten. Berichte der Eidgenössischen Forschungsanstalt für Wald, Schnee und Landschaft, 342. 279 S.
- Bundesamt für Statistik, Statistischer Atlas der Schweiz:
<http://www.atlas.bfs.admin.ch/core/projects/13/de-de/viewer.htm?13.0.de>
- Cariñanos P., Sánchez-Mesa J.A., Priet-Baena J.C., Lopez A., Guerra F., Moreno C., Domínguez E., Galan C. 2002. Pollen allergy related to the area of residence in the city of Córdoba, south-west Spain. *J. Environ. Monit.*, 4, 734-738.
- Clot B. 1996. Analyse aéropalynologique à Neuchâtel et à La Chaux-de-Fonds en 1995. *Bull. Soc. Neuchâtel Scie Nat* 119, 163-165.
- Comtois P., Alcazar P. and Néron D. 1999. Pollen counts statistics and its relevance to precision. *Aerobiologia* 15, 19–28.
- Defila C. 1991. Pflanzenphänologie der Schweiz. Dissertation der Universität Zürich. Veröffentlichungen der Schweizerischen Meteorologischen Anstalt, Nr. 50, 234 S.
- Emberlin J., Jaeger S., Domínguez-Vilches E., Galán C., Hodal L., Mandrioli, P., Rantio Letimäki A., Savage M., Spieksma F.Th., and Bartlett C. 2000. Temporal and geographical informations in grass pollen seasons in areas of Western Europe: an analysis of season dates at sites of the European Pollen Information Systems. *Aerobiología*, 16, 373-379.
- Frei T. 1997. Pollen distribution at high elevation in Switzerland: Evidence for medium range transport, *Grana* 36, 34–38.
- Gehrig R., Peeter A.G. 2000. Pollen distribution at elevations above 1000 m in Switzerland. *Aerobiologia*, 16&1, 69-74.
- Gehrig R., Pietragalla-Köhler B., Clot B., Herren T., Graber M.J., Hauser M., Moersen M., Sallin C. 2010. Luftpollengehalt in der Schweiz 2010. *MeteoSchweiz*, 75.S.
- Gehrig R., Jud S., Schuepbach E., Clot B, 2011. Pollen measurement in an alpine environment – altitudinal gradients and transport. In: Clot B, Comtois P, Escamilla-Garcia B (Eds.). *Aerobiological Monographs, Towards a comprehensive vision. MeteoSwiss (CH) and University of Montreal (CA)*, Montreal, Canada.1:19-38.
- Kaufman, L., Rousseeuw, P. *Finding Groups in Data: An Introduction to Cluster Analysis*. Hoboken: Wiley, 2005.
- Landolt E. 1984. *Unsere Alpenflora*, Verlag Schweizer Alpen-Club. Zürich.
- Latorre R., Belmonte J. 2004. Temporal and spatial distribution of Poaceae pollen in Catalonia (North-East Spain). *Grana*, 43(3), 156-163
- Leuschner R. 1991. Comparison of airborne pollen levels in Switzerland at four recording stations in Davos, Lucerne, Nyon and Basel during 1989. *Int. J. Biometeorol.* 35, 71-75.

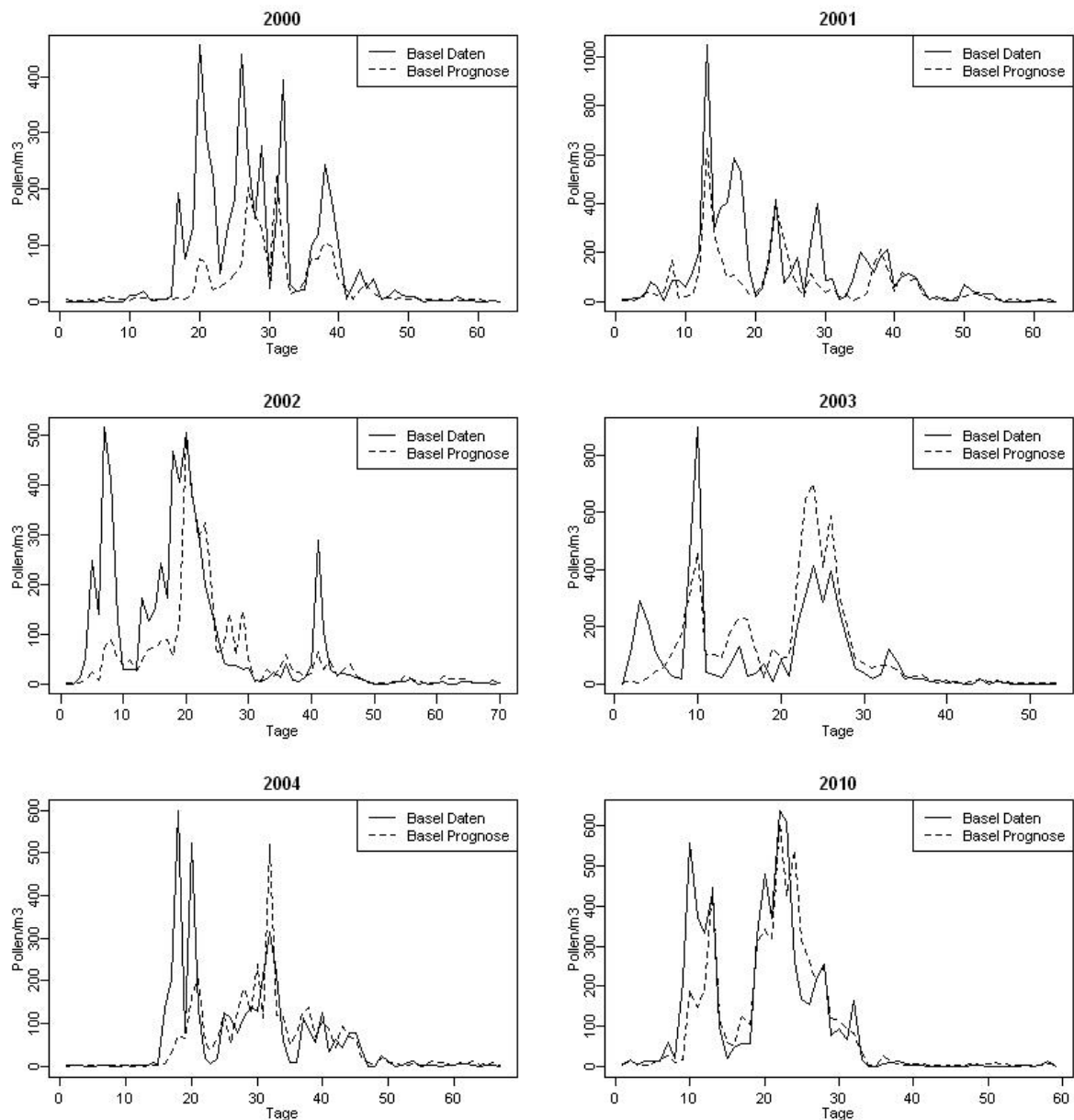
- Mandrioli P, Comtois P., Dominguez Vilches E., Galan Soldevilla C., isard S., Syzdek L. 1998. Sampling: Principles and Techniques. In: Mandrioli P., Comtois P., Levizzani V. (Eds.) *Methods in Aerobiology*. Pitagora Editrice Bologna., 47 -112.
- Peeters A.G. and Zoller H. 1988. Long range transport of *Castanea sativa* pollen. *Grana* 27, 203–207.
- Rieux C., Personnaz M.-B., Thibaudon M., 2008. Spatial variation of airborne pollen over south-east France: characterization and implications for monitoring networks management. *Aerobiologia* 24, 43-52.
- Rodríguez-Rajo F.J., Fdez-Sevilla D., Stach A., Jato V. 2010. Assessment between pollen seasons in areas with different urbanization level related to local vegetation sources and differences in allergen exposure. *Aerobiologia*, 26, 1 – 14.
- Spieksma F.T.M., Corden J.M., Detandt M., Millington W.M., Nikkels H., Nolard N., Schoenmakers C.H.H., Wachter R., de Weger L.A. and Willems R., 2000. Quantitative trends in annual totals of five common airborne pollen types (*Betula*, *Quercus*, *Poaceae*, *Urtica*, and *Artemisia*), at five pollen-monitoring stations in western Europe. *Aerobiologia*, 19/ 3-4, 171-184.
- Stahel W. A. 2008. *Statistische Datenanalyse. Eine Einführung für Naturwissenschaftler*. Vieweg Verlag, Wiesbaden, 5. Auflage. 418 S.
- Stahel W. 2010. Skript *Angewandte Multivariate Statistik. Vorlesung Weiterbildungslehrgang in Angewandter Statistik, Frühlingssemester 2010*, ETH Zürich.
- Swiss web flora WSL: <http://www.wsl.ch/land/products/webflora/welcome-de.ehtml>
- Vogel H, Pauling A., Vogel B. 2008. Numerical simulation of birch pollen dispersion with an operational weather forecast system *International Journal of Biometeorology*, 2008, 52, 805-814.
- Werner P. *Erkenne die Natur im Wallis. Die Flora*. Verlag Pillet, Martigny, 259 S.
- Wilks D.S., 2006. *Statistical methods in the atmospheric sciences*. Elsevier, 2nd edition, 627 S.
- Wohlgemuth T. 1993. Der Verbreitungsatlas der Farn- und Blütenpflanzen der Schweiz (Welten und Sutter 1982) auf EDV. Die Artenzahlen und ihre Abhängigkeit von verschiedenen Faktoren. *Bot. Helv.* 103: 55-71.
- Wüthrich B., Schindler Ch., Leuenberger Ph., Ackermann-Liebrich U. and SAPALDIA-Team. Prevalence of atopy and pollinosis in the adult population of Switzerland (SAPALDIA study). *Int Arch Allergy Immunol* 1995, 106, 149-156.
- Wüthrich C. Scherrer S., Begert M., Croci-Maspoli M., Marty C., Seiz G., Foppa N., Konzelmann T., Appenzeller C. 2010. Die langen Schneemessreihen der Schweiz – Eine basisklimatologische Netzanalyse und Bestimmung besonders wertvoller Stationen mit Messbeginn vor 1961. *Arbeitsbericht MeteoSchweiz Nr. 233*, 33 S.
- ZDSF – Zentrum des Datenverbundnetzes der Schweizer Flora: Nationales Zentrum für die Kartierung der Schweizer Flora (Farn- und Blütenpflanzen), www.crsf.ch

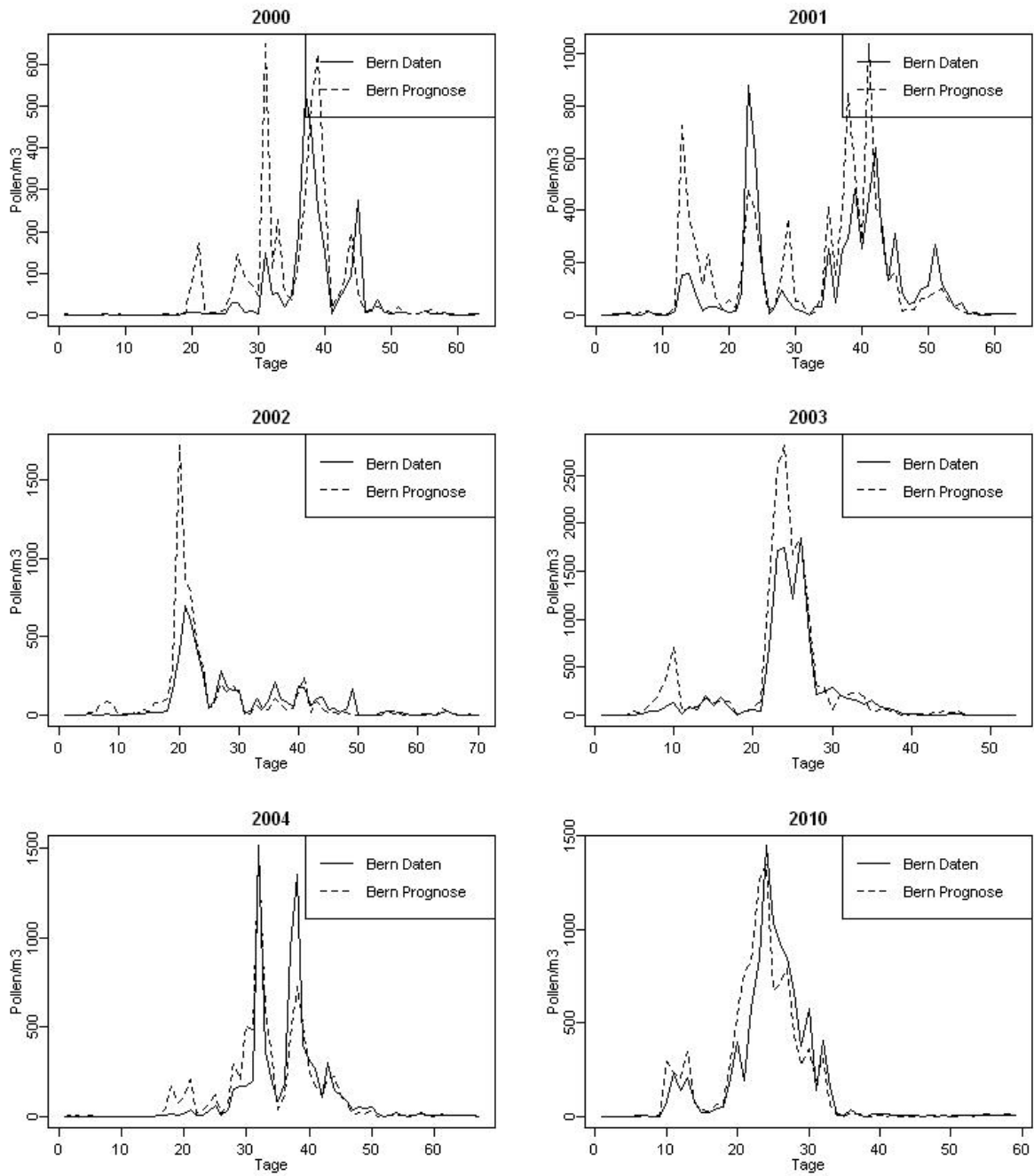
Anhang 1

Grafiken der mit den Regressionsmodellen prognostizierten Pollenkonzentrationen für die Testjahre 2000 – 2004, 2010 verglichen mit den gemessenen Pollendaten für die Stationen des Schweizer Pollenmessnetzes. Die Beschreibung der Prädiktoren der Modelle findet sich in Tabelle 10.

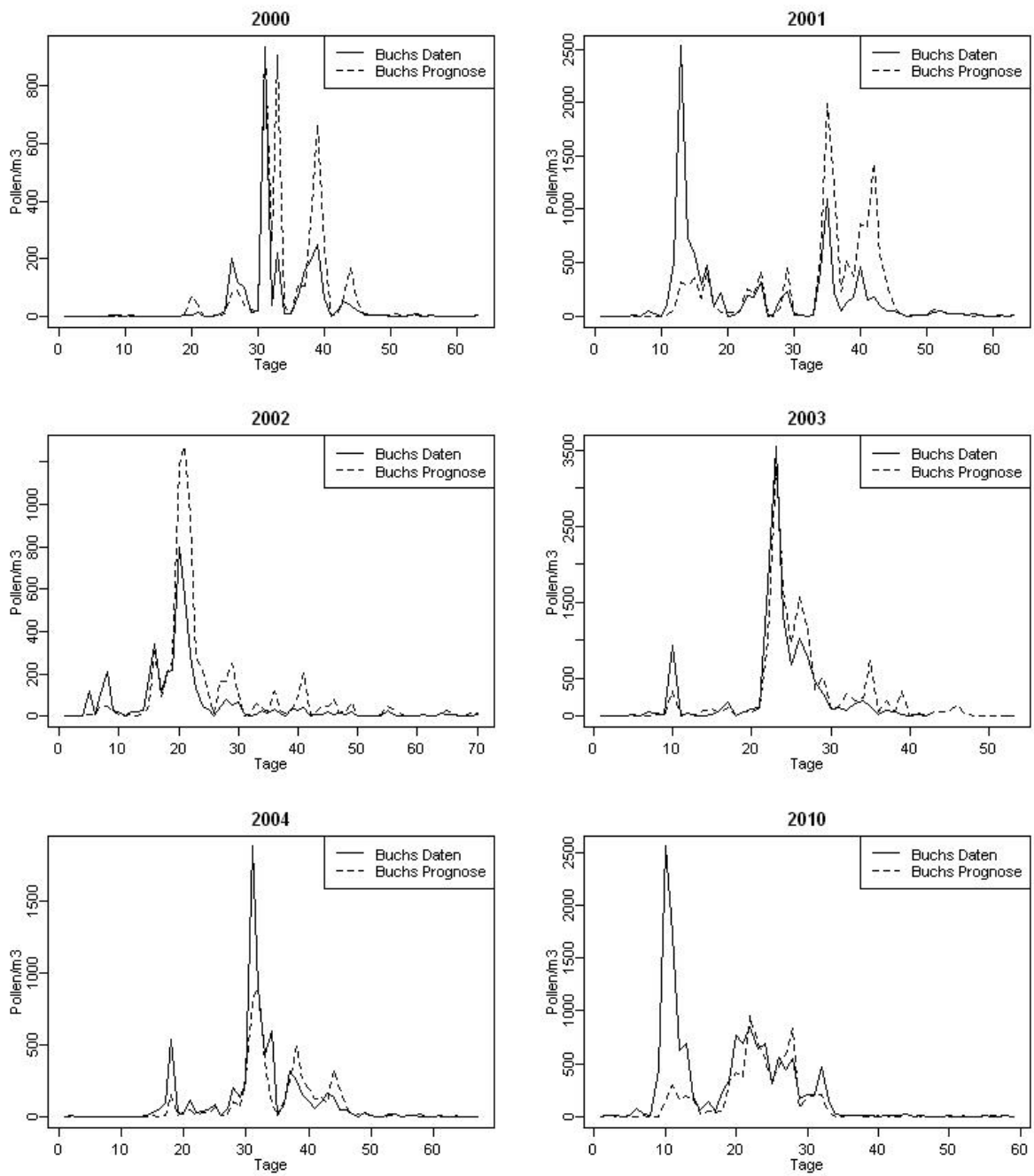
Beschriftung der Zeitachse: Sie zeigt die Anzahl Tage ab Beginn der Birkenpollensaison, die in jedem Jahr einheitlich für alle Stationen festgelegt wurde.

Basel Prognose Betula

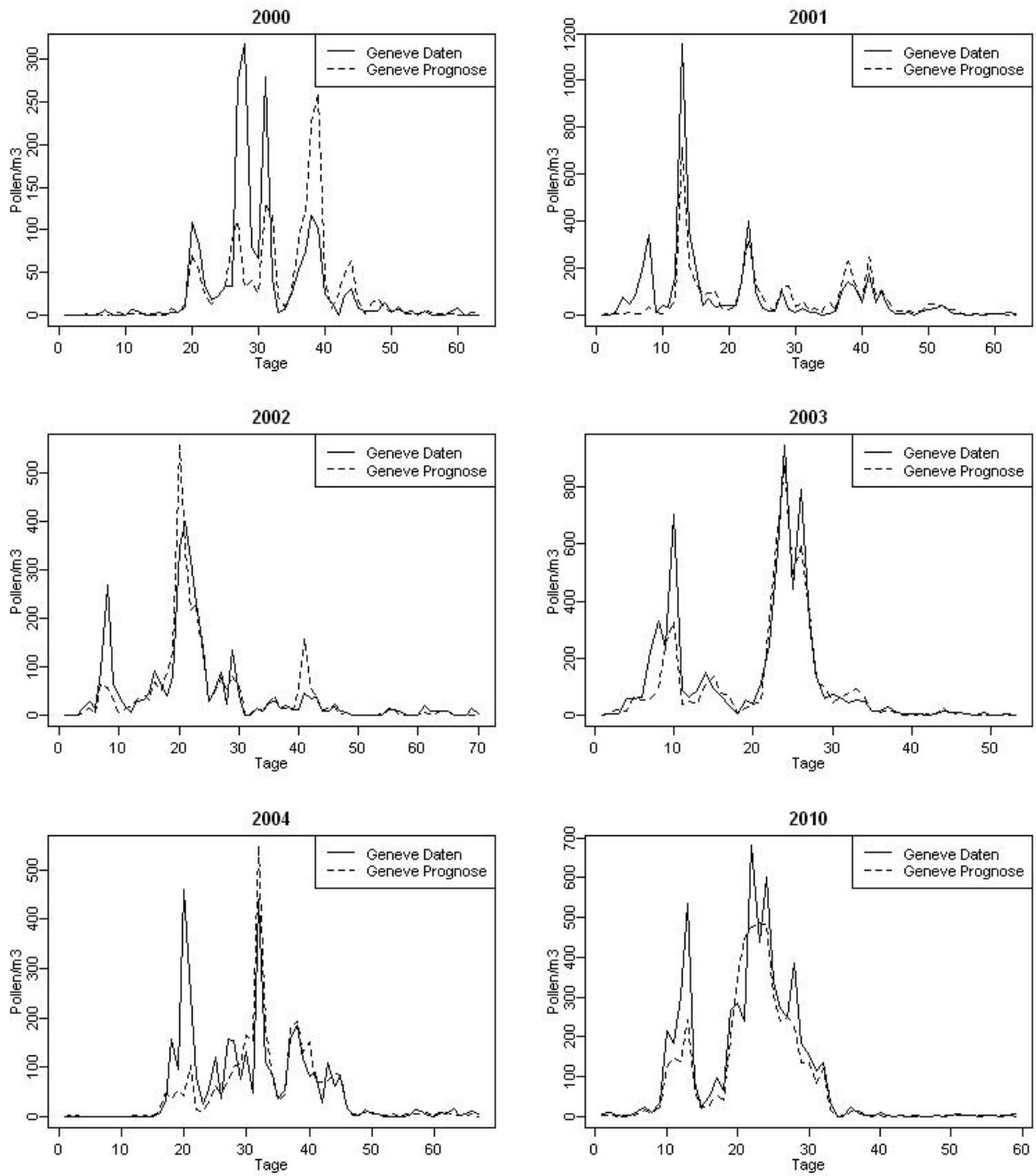


Bern Prognose Betula

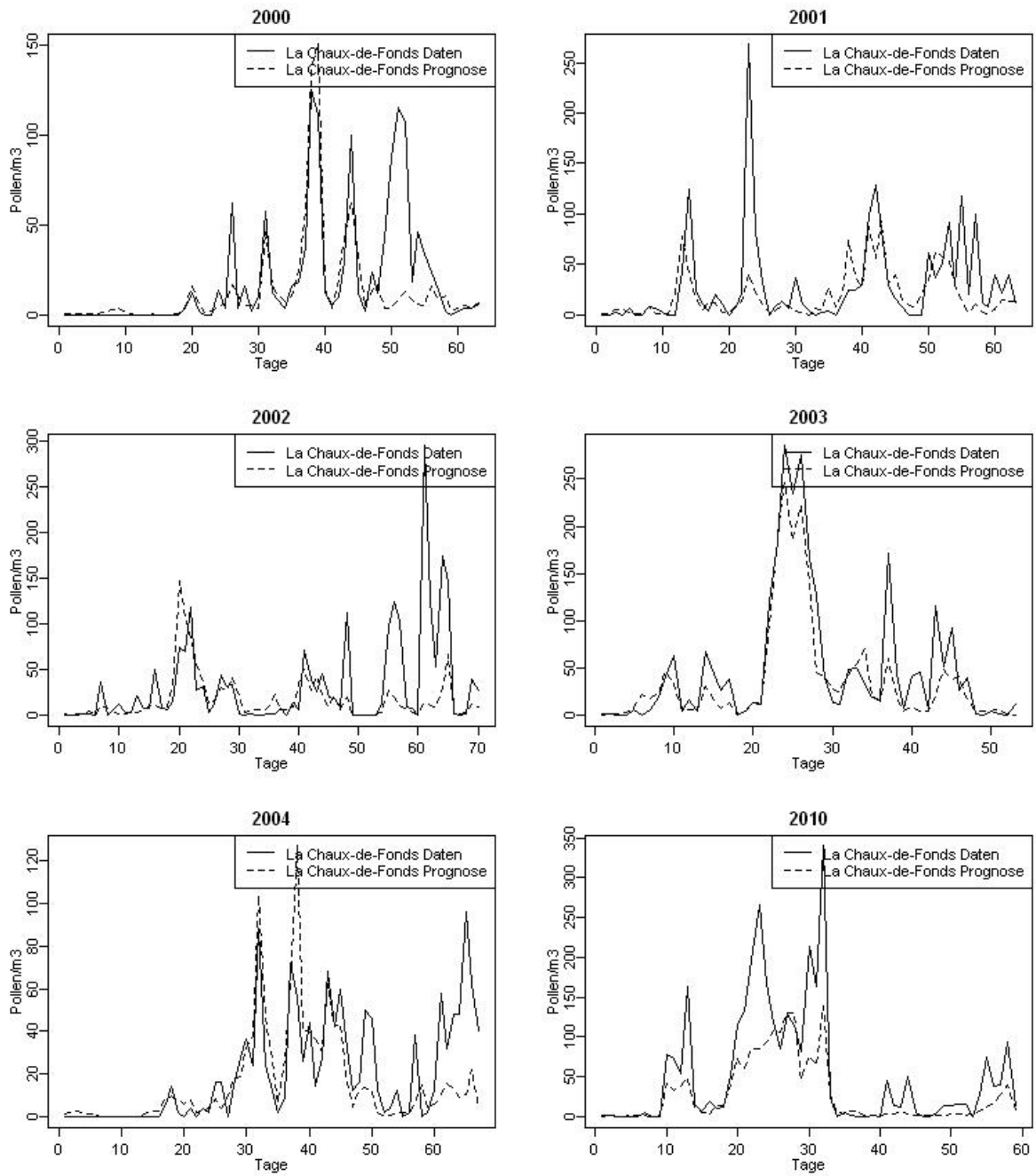
Buchs Prognose Betula

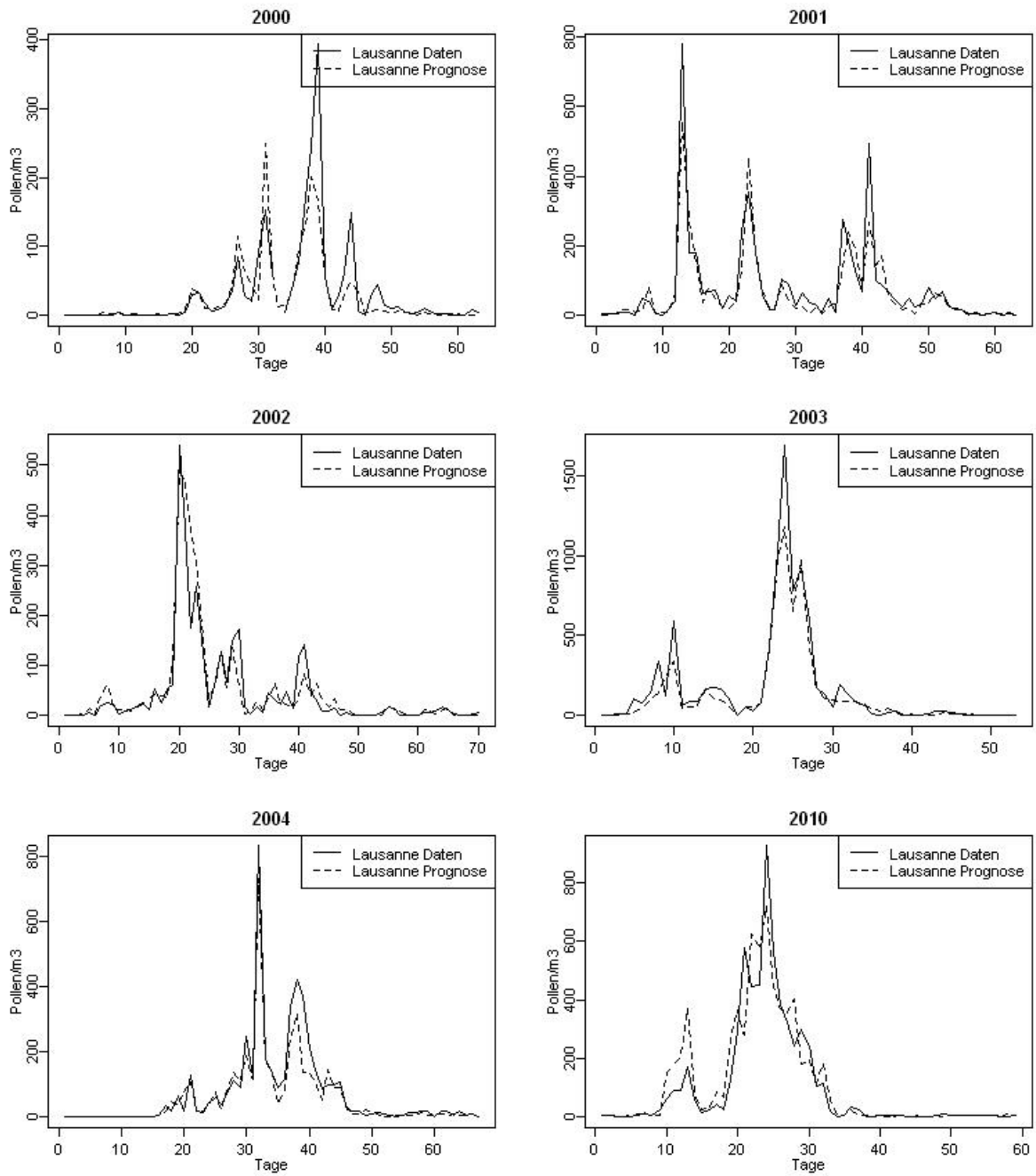


Geneve Prognose Betula

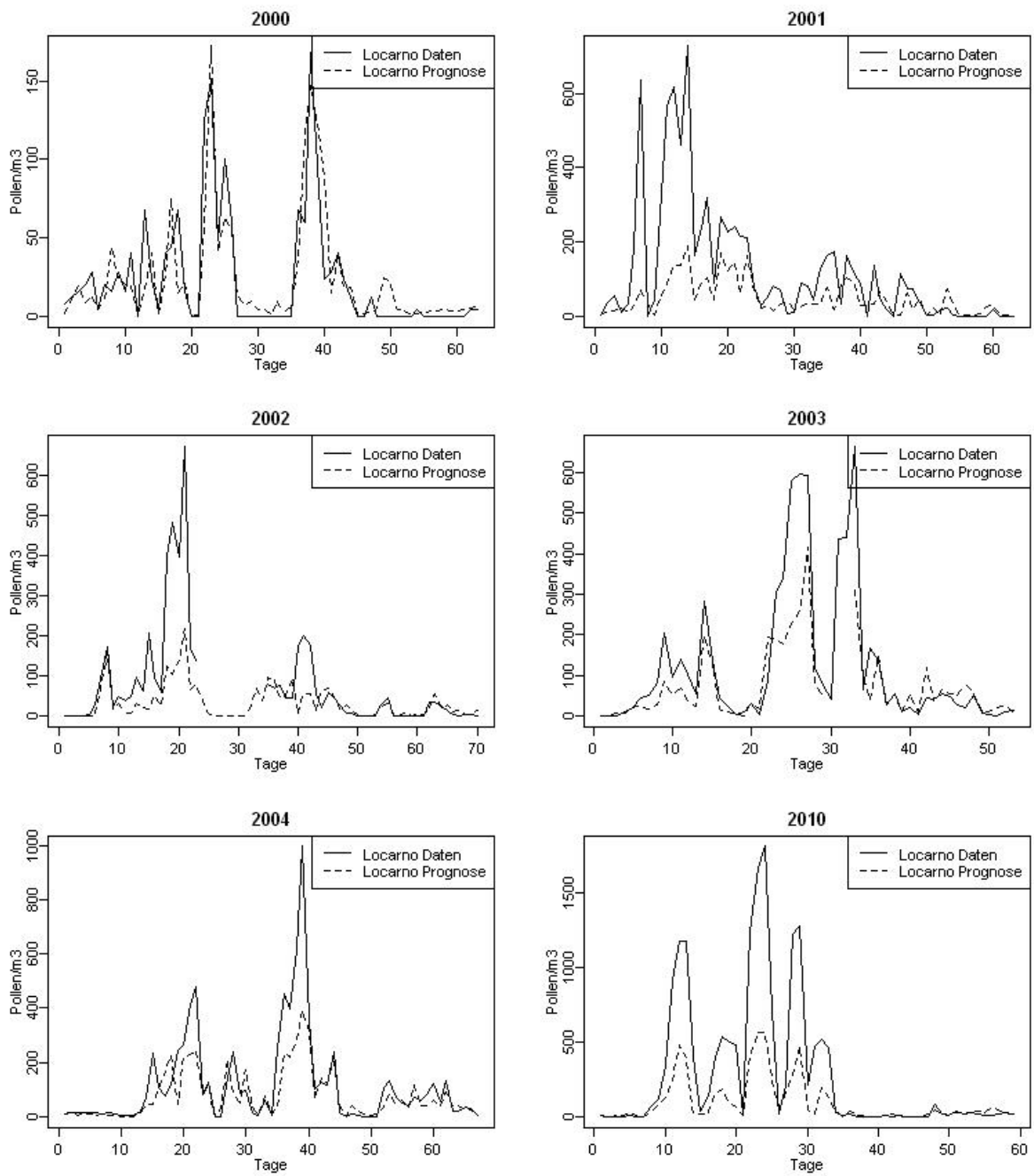


La Chaux-de-Fonds Prognose Betula

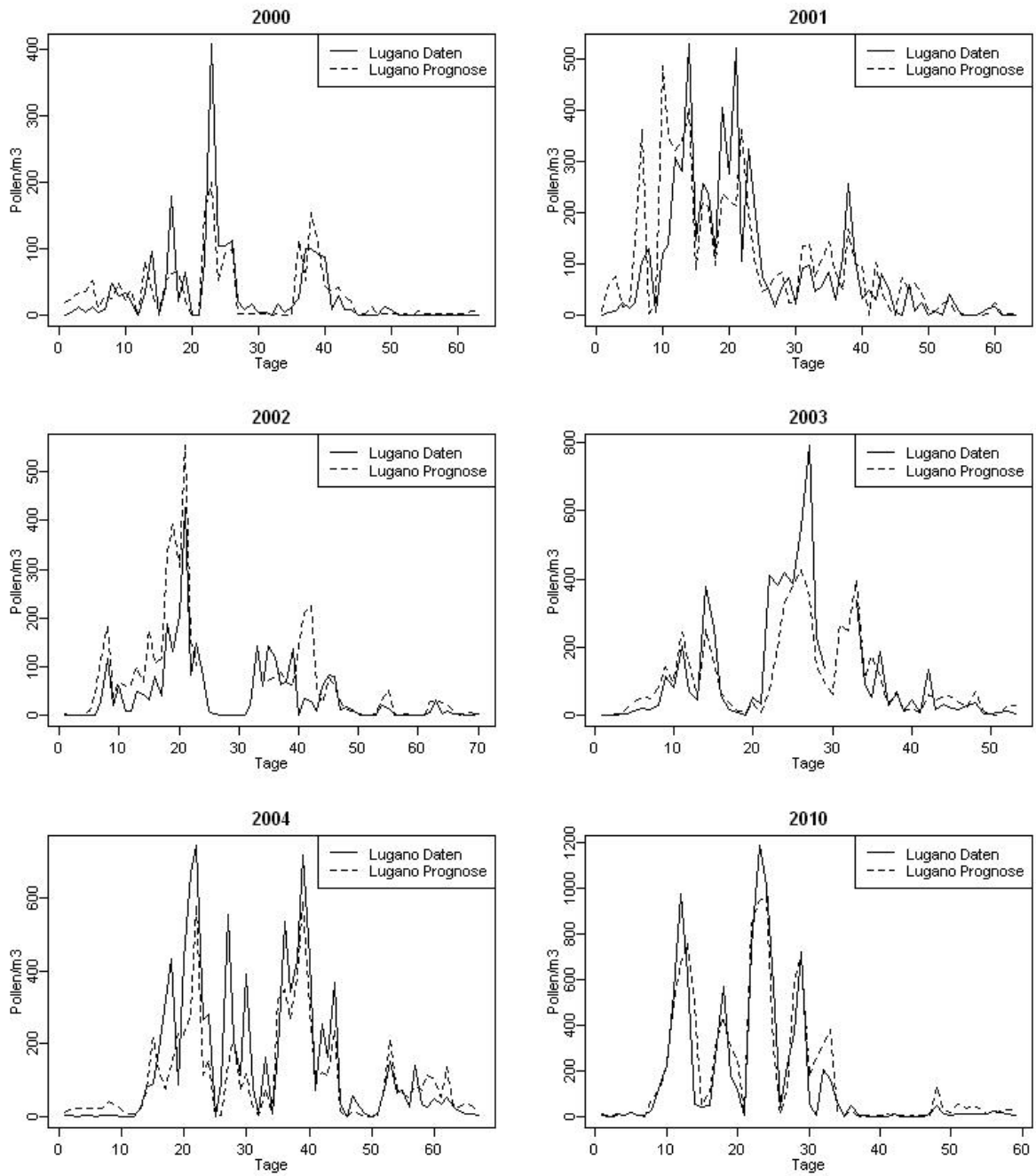


Lausanne Prognose Betula

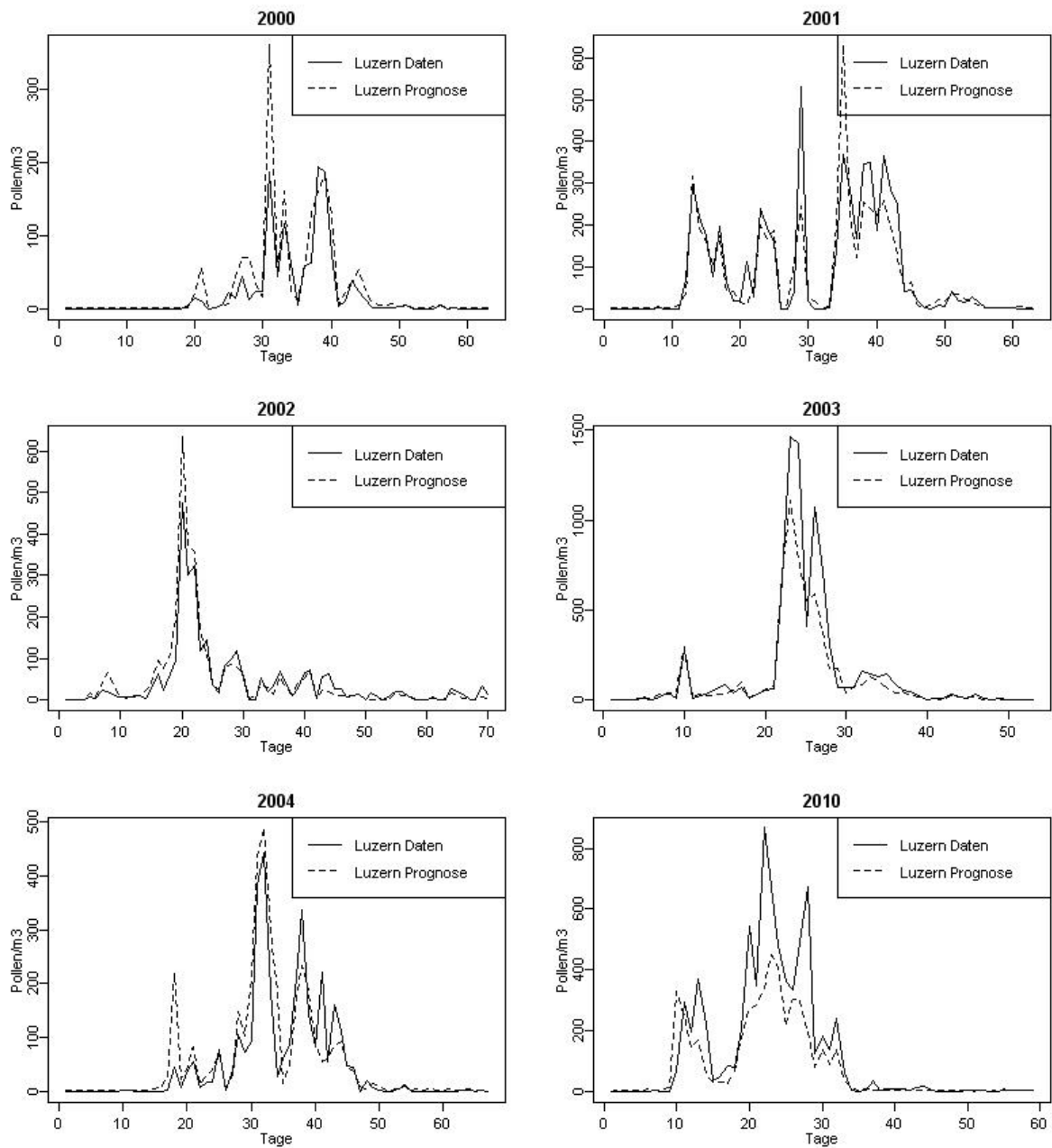
Locarno Prognose Betula



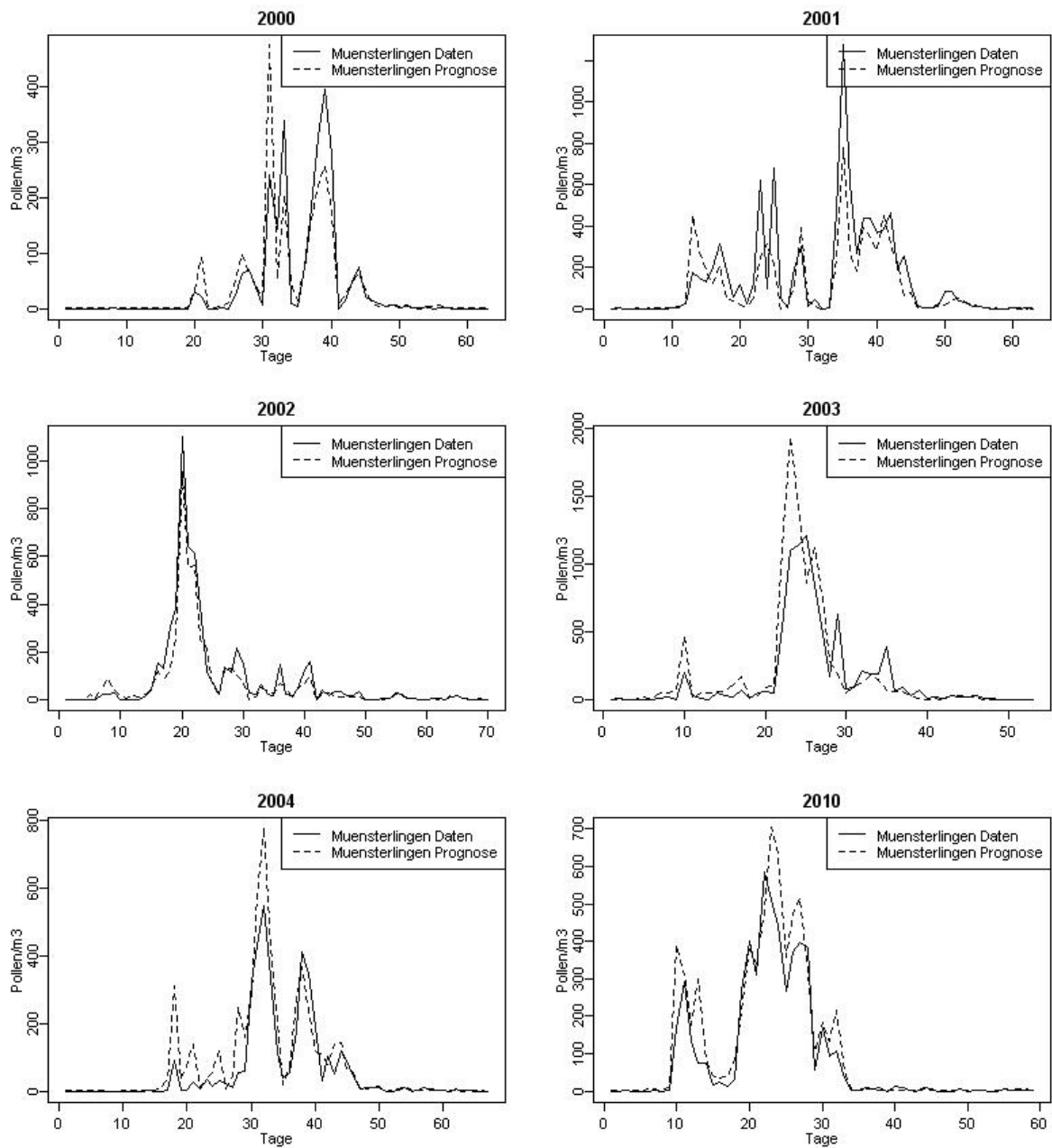
Lugano Prognose Betula



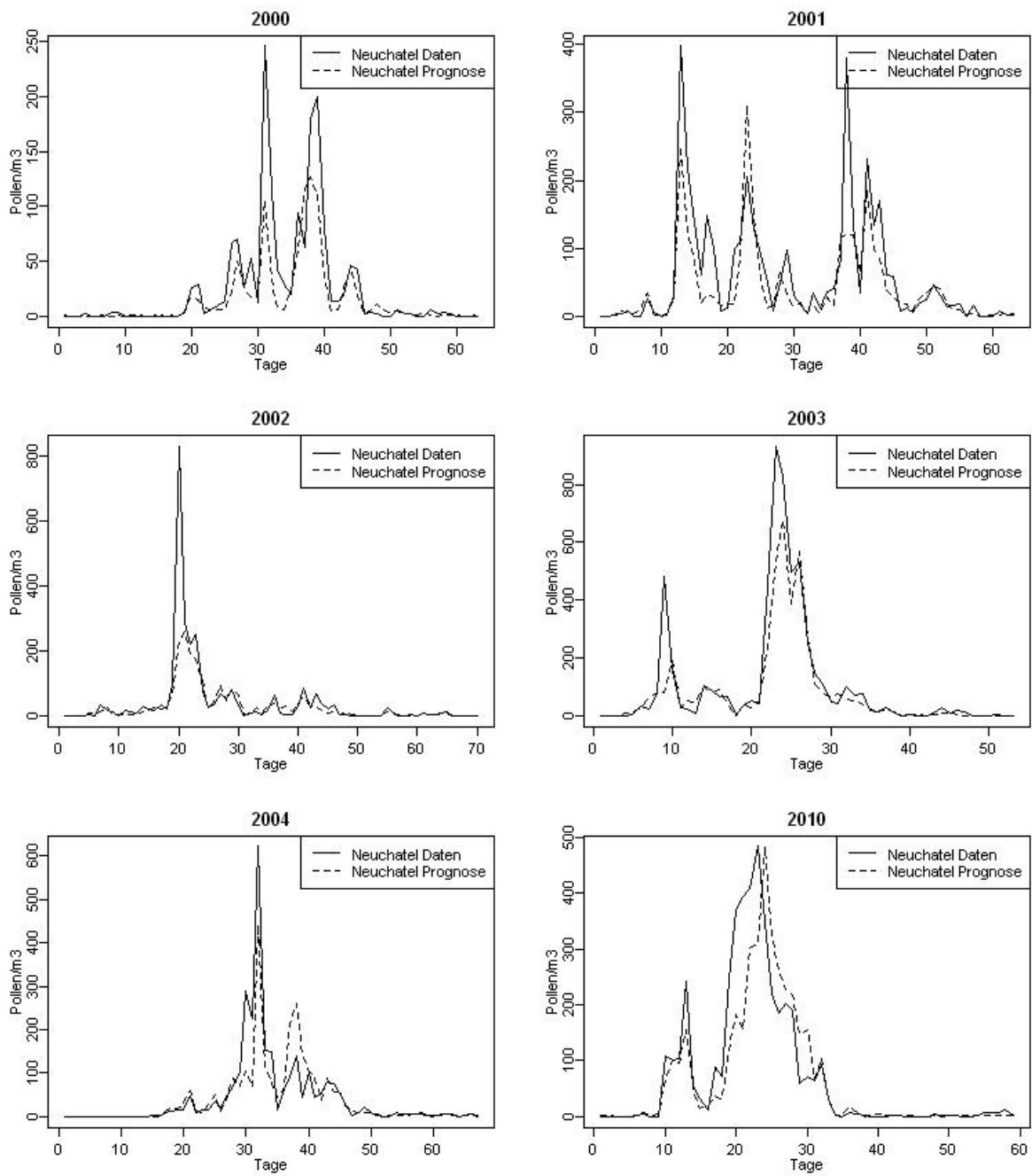
Luzern Prognose Betula

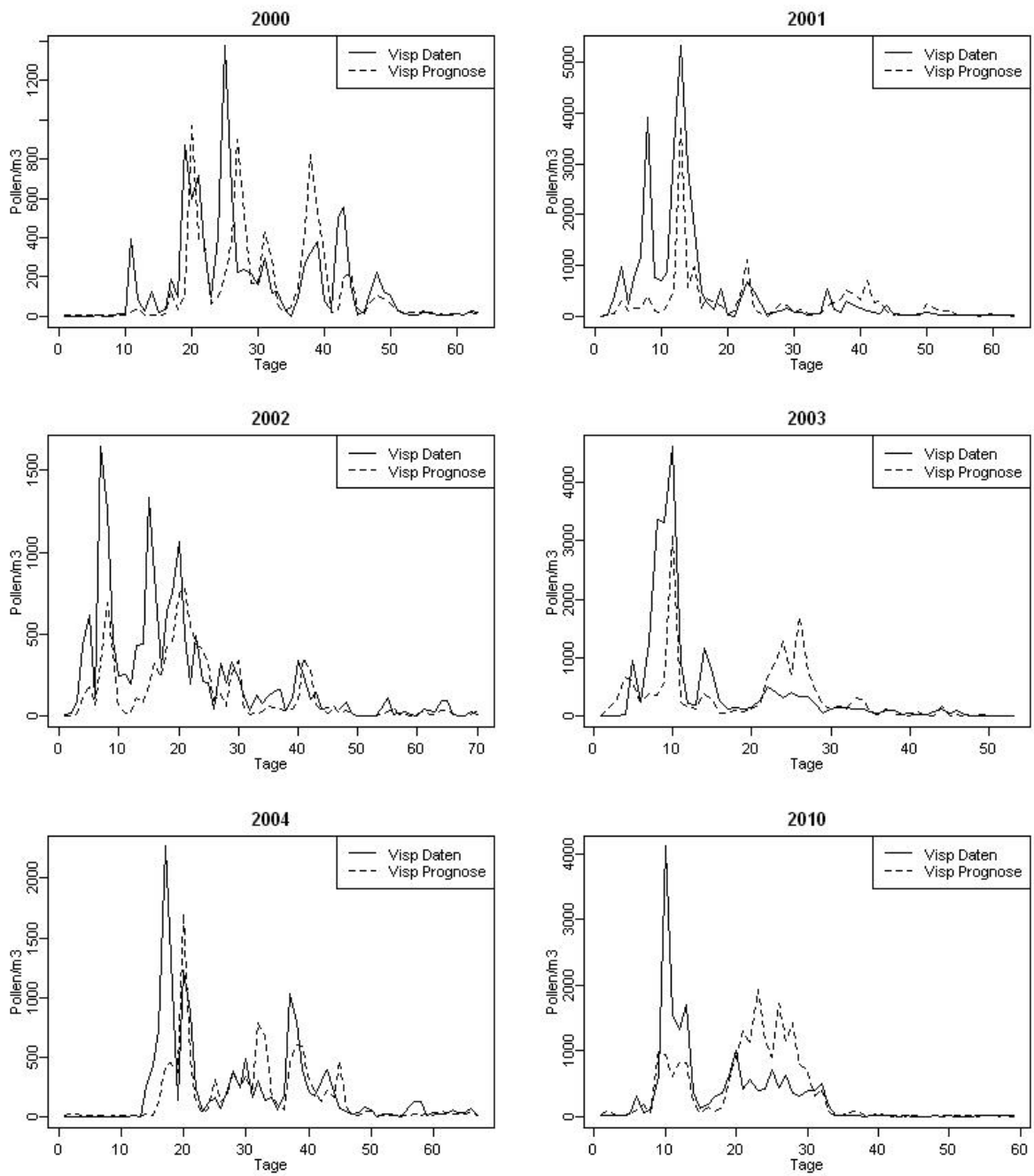


Muensterlingen Prognose Betula

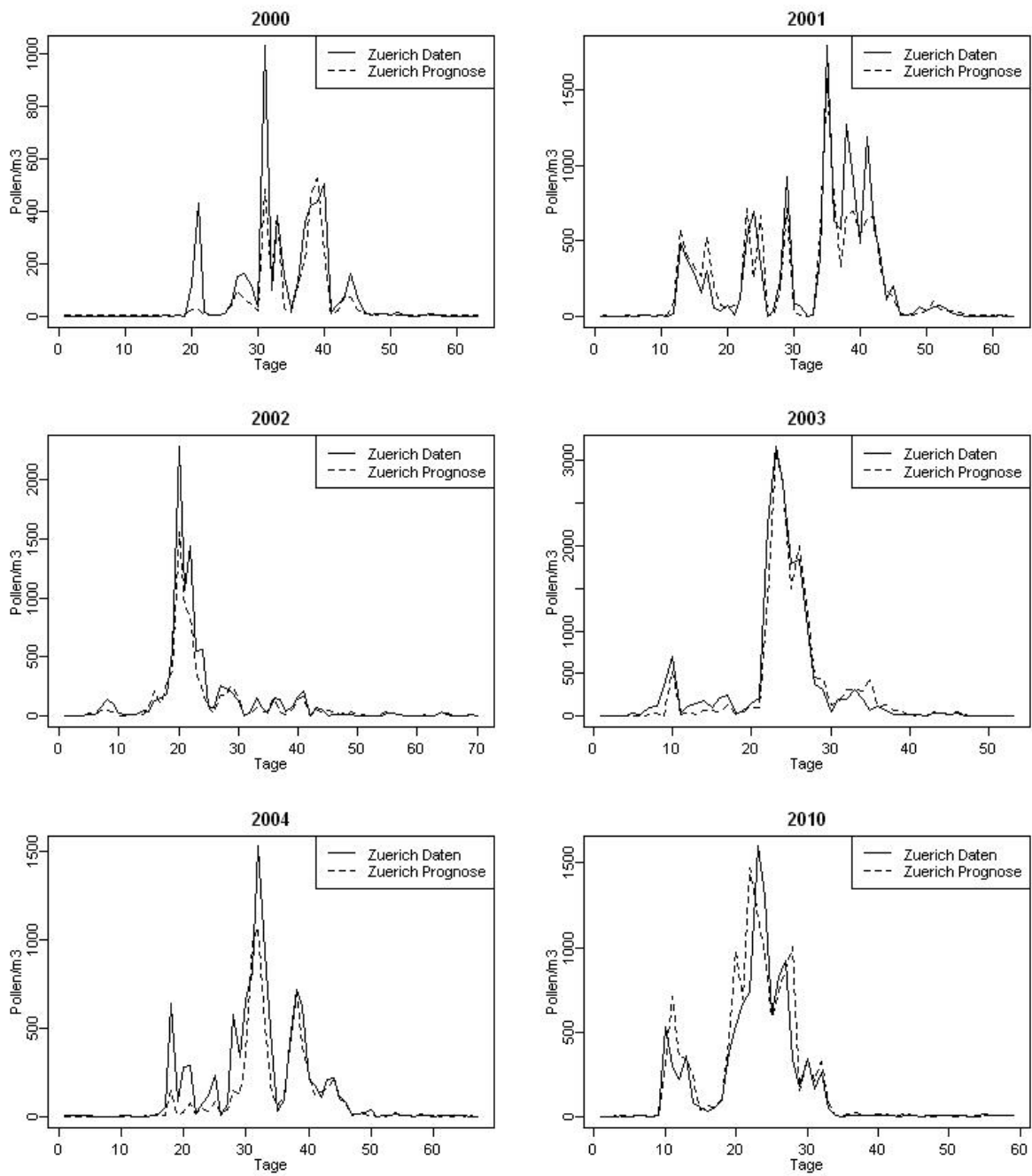


Neuchatel Prognose Betula



Visp Prognose Betula

Zuerich Prognose Betula



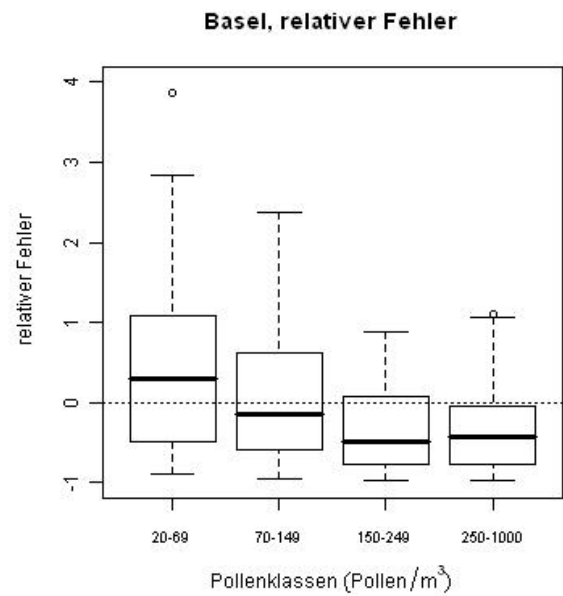
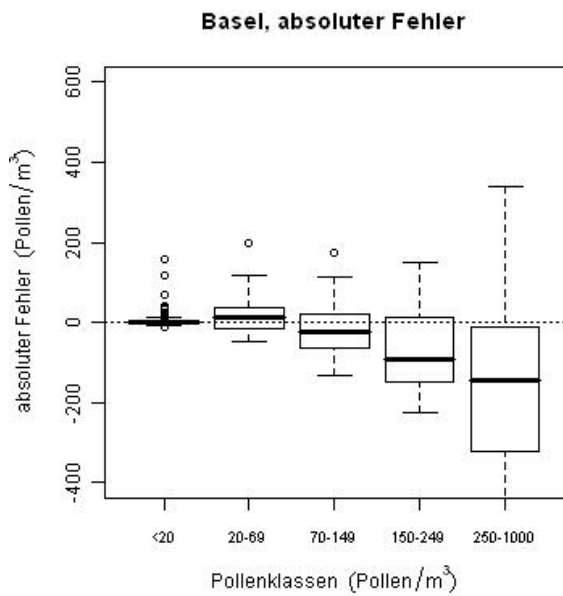
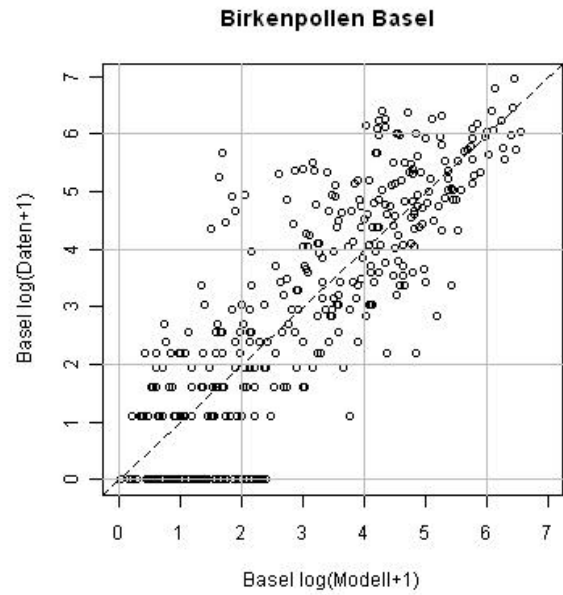
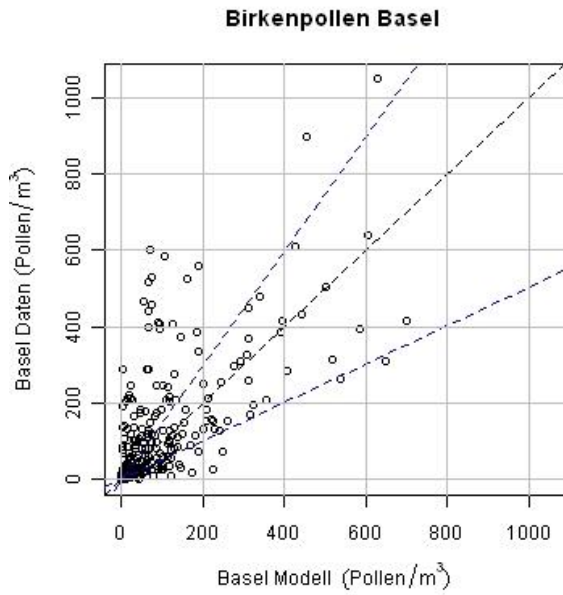
Anhang 2

Grafiken zum Vergleich der Resultate der Regressionsmodelle Birkenpollen (vgl. Tabelle 10) mit den gemessenen Pollendaten für die Testjahre 2004 und 2010 für alle 14 Pollenmessstationen des Schweizer Pollenmessnetzes.

1. Scatterplots der gemessenen Birkenpollendaten mit den modellierten Daten für die Jahre 2000 – 2004 und 2010, links mit den absoluten Messdaten, rechts mit den logarithmierten Daten. Die blauen, gestrichelten Linien zeigen jeweils eine Abweichung von $\pm 50\%$ des Pollenwerts.

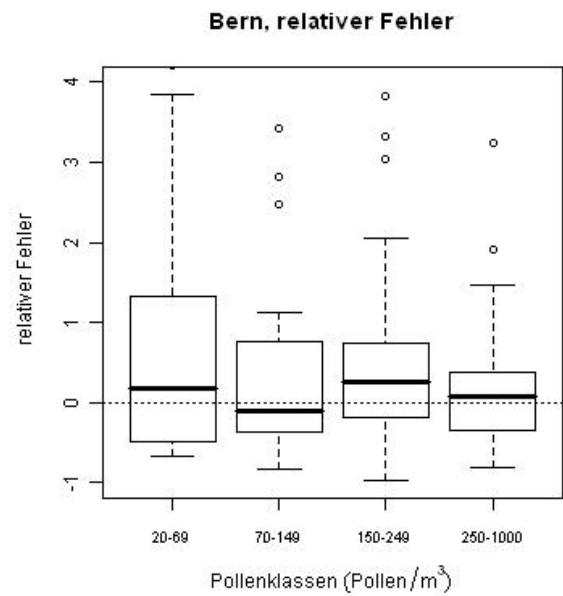
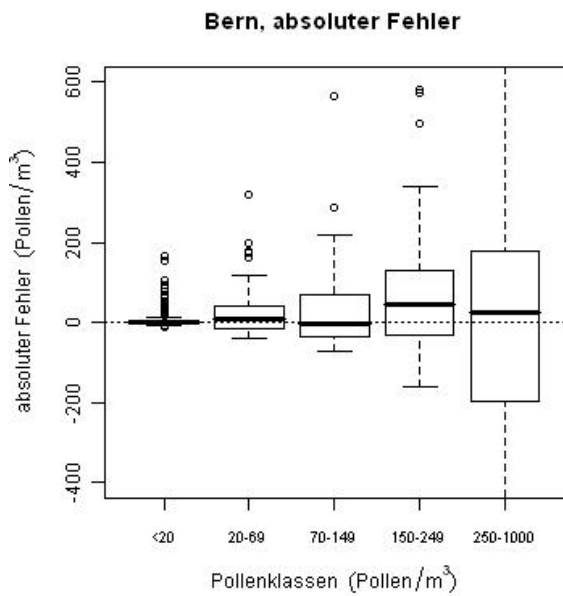
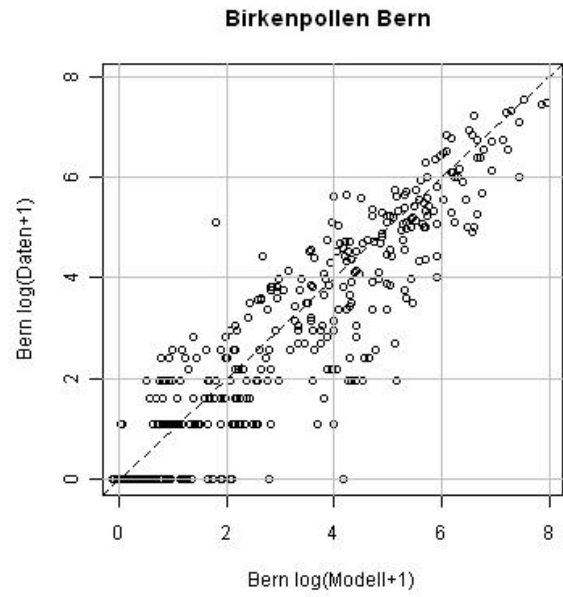
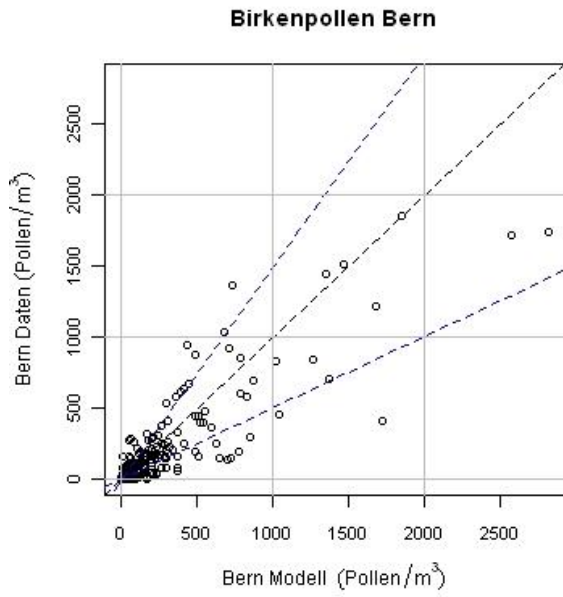
2. Absoluter und relativer Fehler der Birkenregressionsmodells für die Testjahre 2000 – 2004 und 2010 aufgeteilt auf verschiedene Pollenklassen. Relative Fehler wurden für die Pollenklasse < 20 nicht berechnet.

3. Kontingenztafel der Pollenklassen für die Daten und das Modell für Birkenpollen



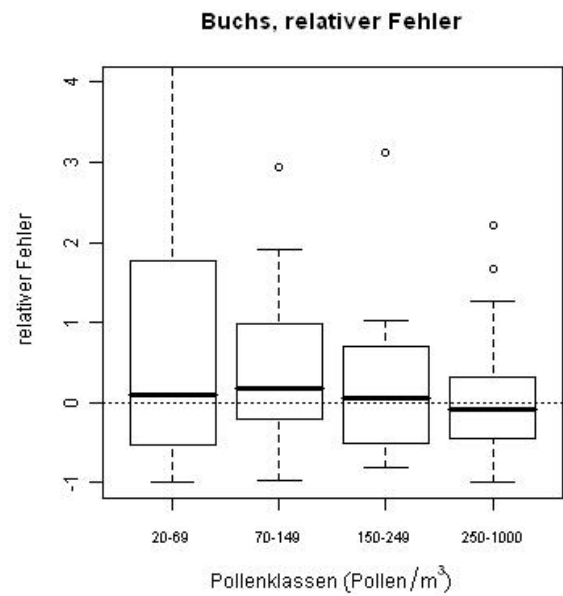
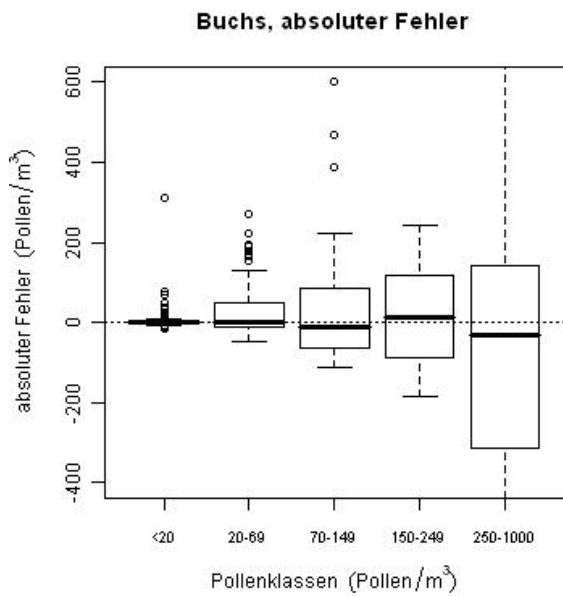
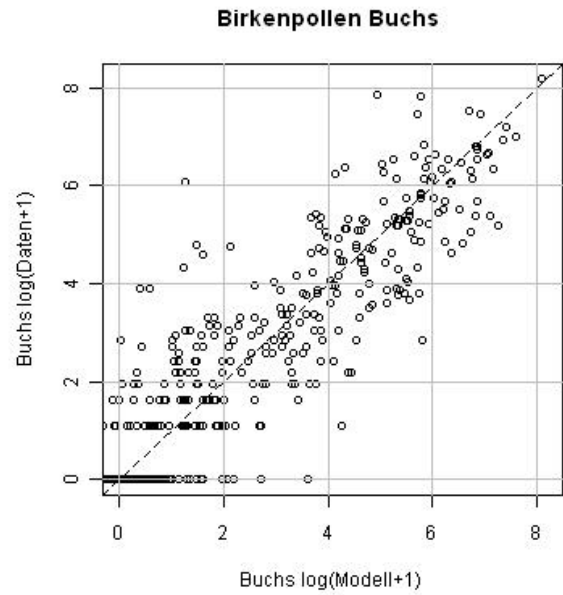
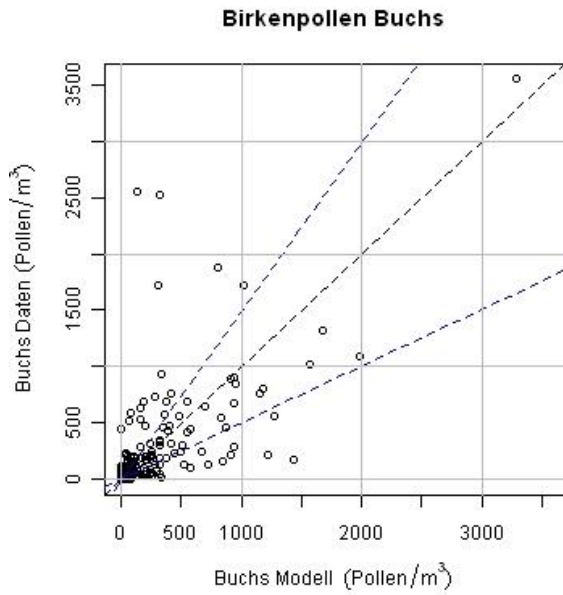
		Modell				
Pollen/m ³ Pollenklasse		0 keine	1 – 9 schwach	10 – 69 mässig	70 – 249 stark	>250 sehr stark
Daten	0 keine	5	62	0	0	0
	1 – 9 schwach	5	60	14	2	0
	10 – 69 mässig	0	23	59	18	0
	70 – 249 stark	0	6	31	42	4
	> 250 sehr stark	0	1	6	16	21

Anteil korrekte Klassierungen Basel: 49.9%



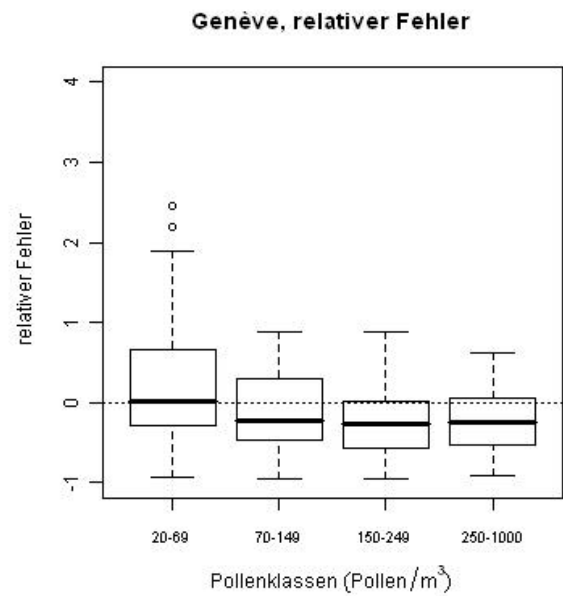
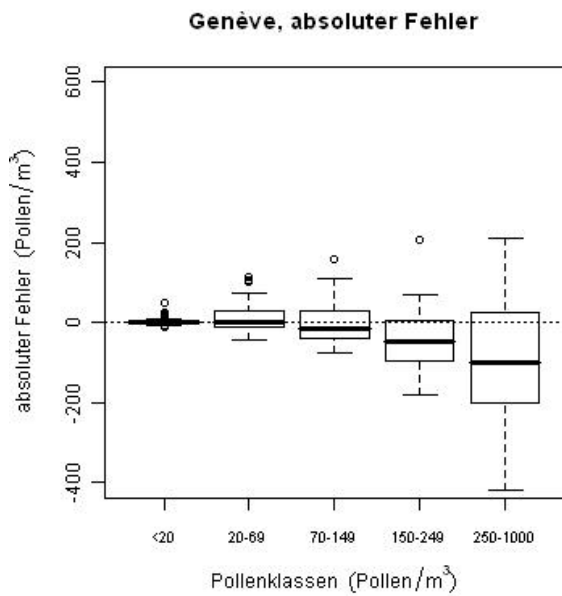
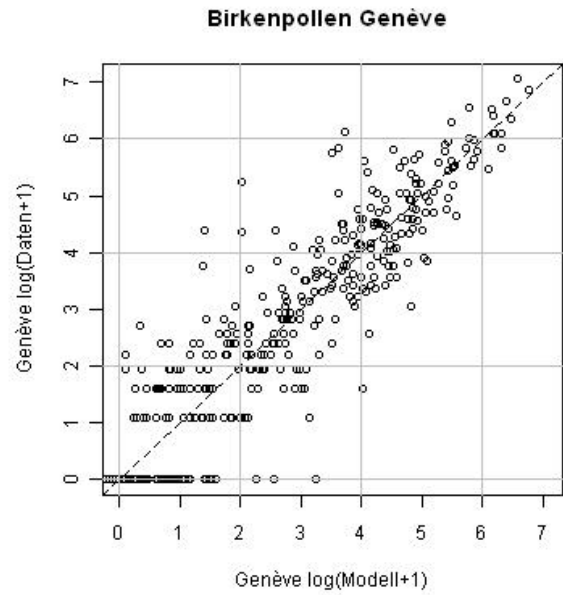
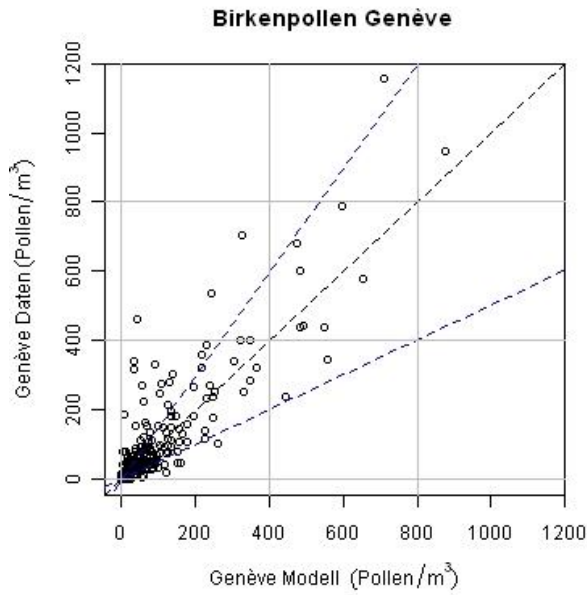
		Modell				
Pollen/m ³ Pollenklasse		0 keine	1 – 9 schwach	10 – 69 mässig	70 – 249 stark	>250 sehr stark
Daten	0 keine	31	44	2	0	0
	1 – 9 schwach	2	60	21	4	0
	10 – 69 mässig	0	18	50	25	1
	70 – 249 stark	0	1	15	32	19
	> 250 sehr stark	0	0	2	6	40

Anteil korrekte Klassierungen Bern: 56.8%



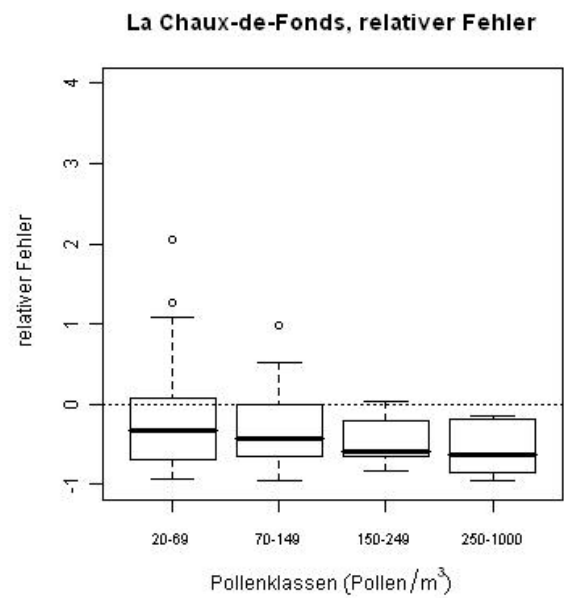
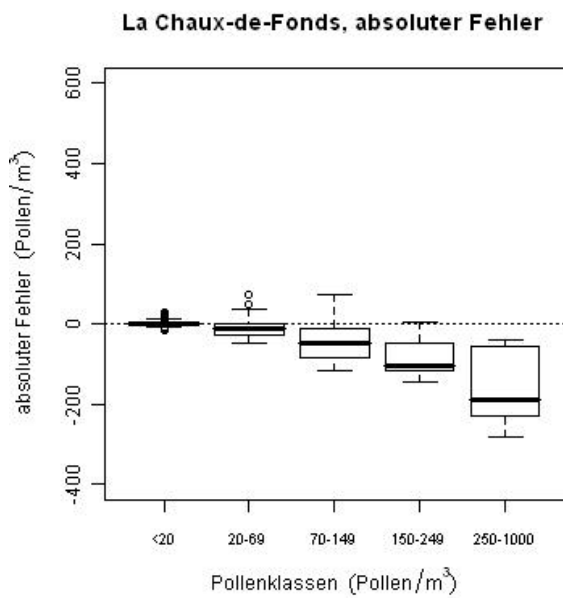
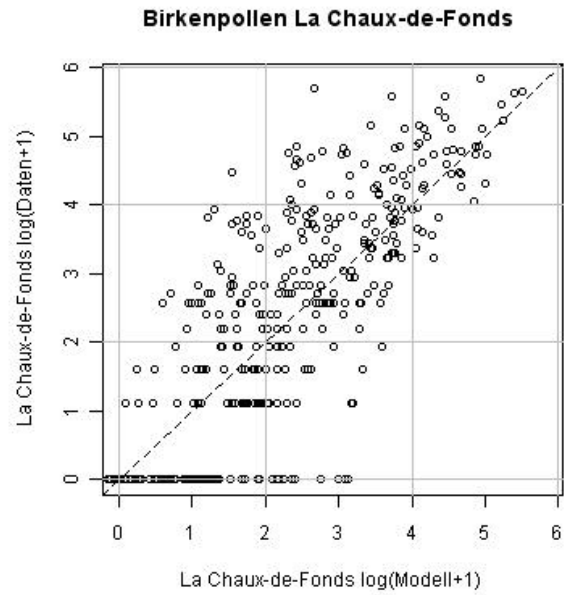
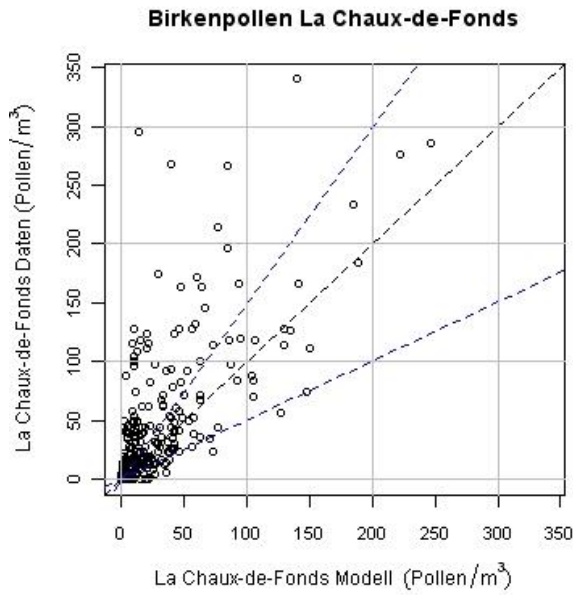
		Modell				
Pollen/m ³ Pollenklasse		0 keine	1 – 9 schwach	10 – 69 mässig	70 – 249 stark	>250 sehr stark
Daten	0 keine	44	35	2	0	0
	1 – 9 schwach	15	50	14	2	0
	10 – 69 mässig	2	27	51	14	4
	70 – 249 stark	0	4	12	26	18
	> 250 sehr stark	0	1	1	8	37

Anteil korrekte Klassierungen Buchs: 55.5%



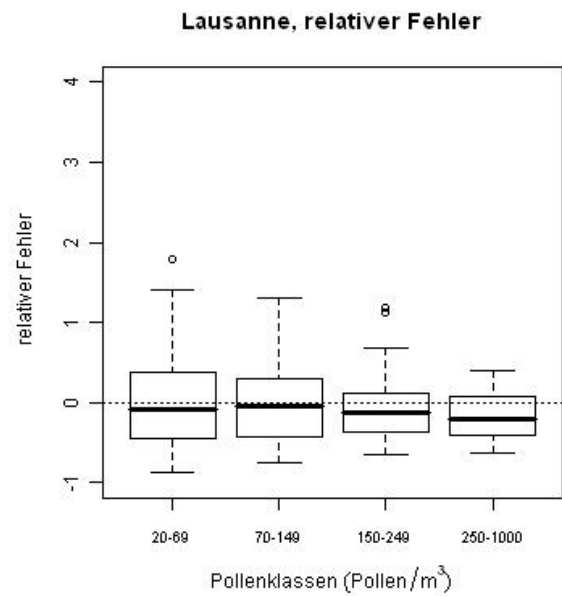
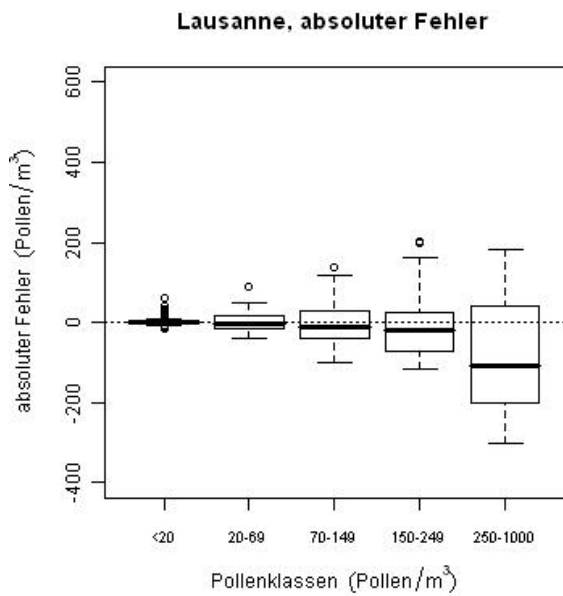
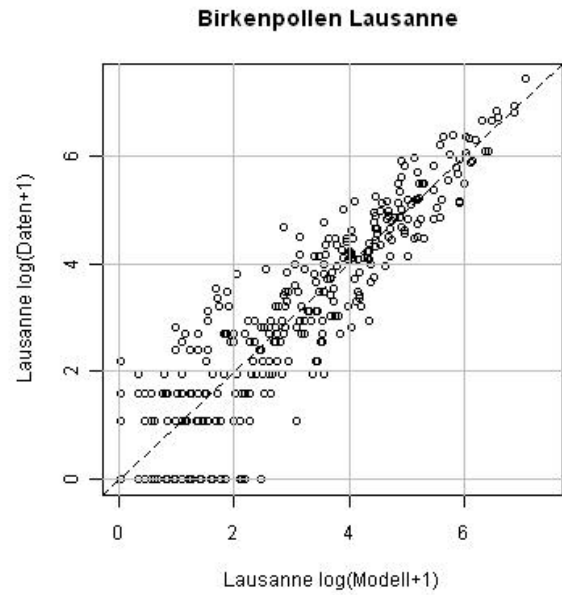
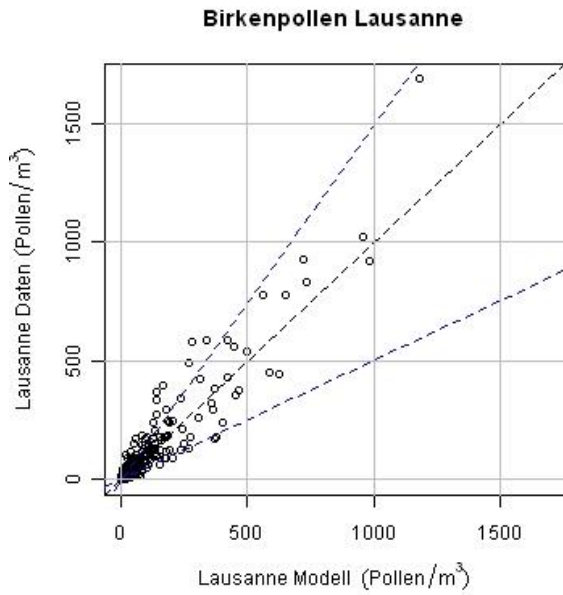
	Modell					
	Pollen/m ³ Pollenklasse	0 keine	1 – 9 schwach	10 – 69 mässig	70 – 249 stark	>250 sehr stark
Daten	0 keine	27	43	2	0	0
	1 – 9 schwach	10	62	14	0	0
	10 – 69 mässig	1	22	82	17	0
	70 – 249 stark	0	3	16	42	2
	> 250 sehr stark	0	0	4	10	18

Anteil korrekte Klassierungen Genève: 61.6%



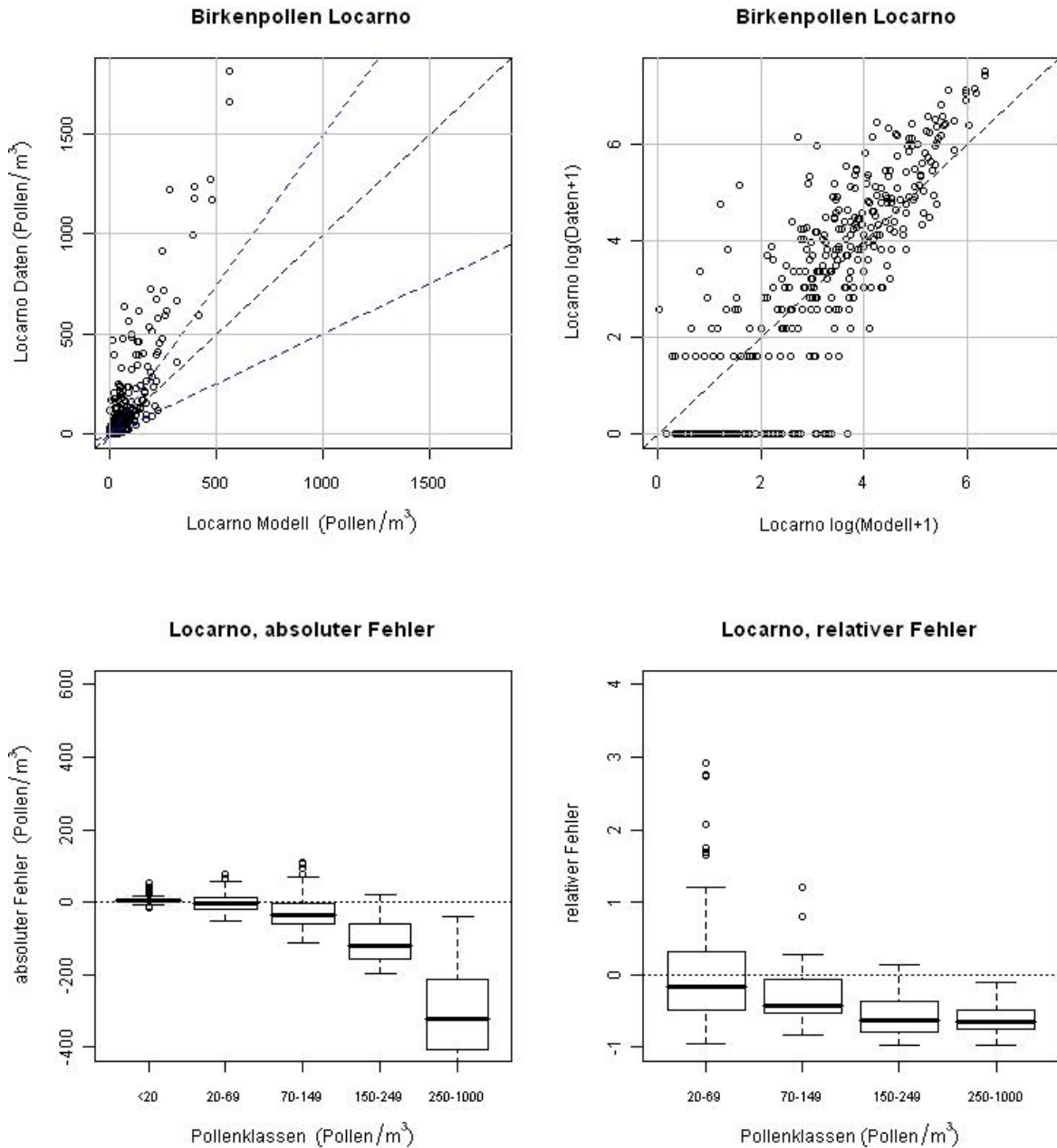
	Modell					
	Pollen/m ³ Pollenklasse	0 keine	1 – 9 schwach	10 – 69 mässig	70 – 249 stark	>250 sehr stark
Daten	0 keine	25	64	4	0	0
	1 – 9 schwach	3	60	13	0	0
	10 – 69 mässig	0	53	91	4	0
	70 – 249 stark	0	2	30	20	0
	> 250 sehr stark	0	0	2	4	0

Anteil korrekte Klassierungen La Chaux-de-Fonds: 52.3%



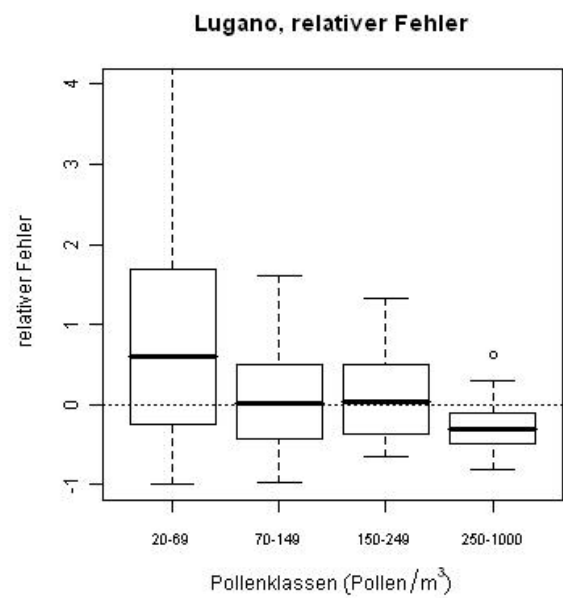
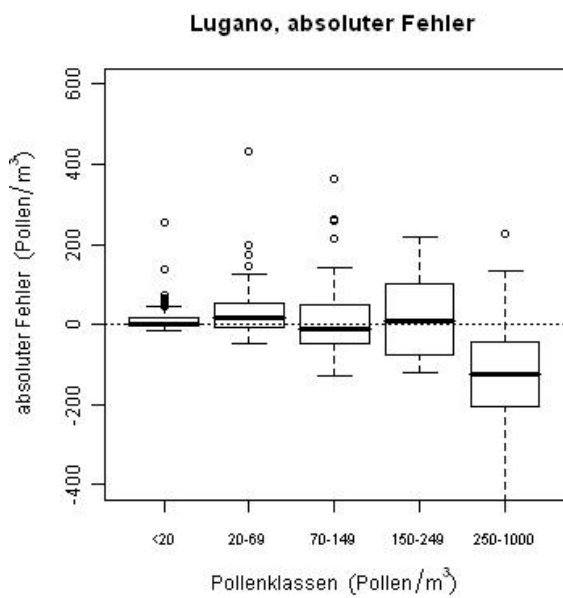
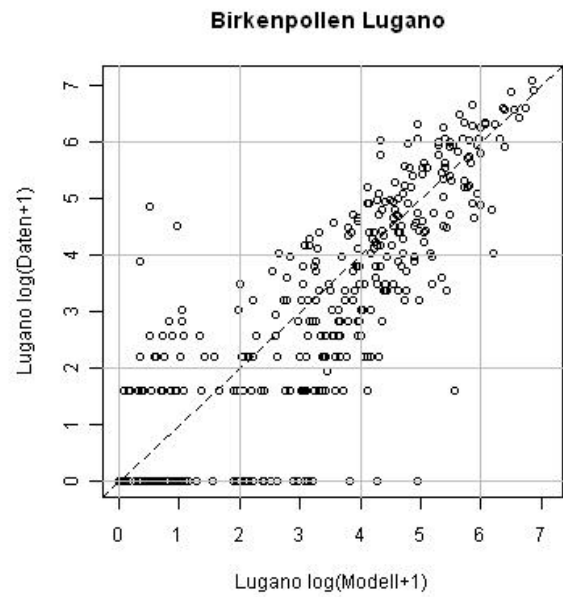
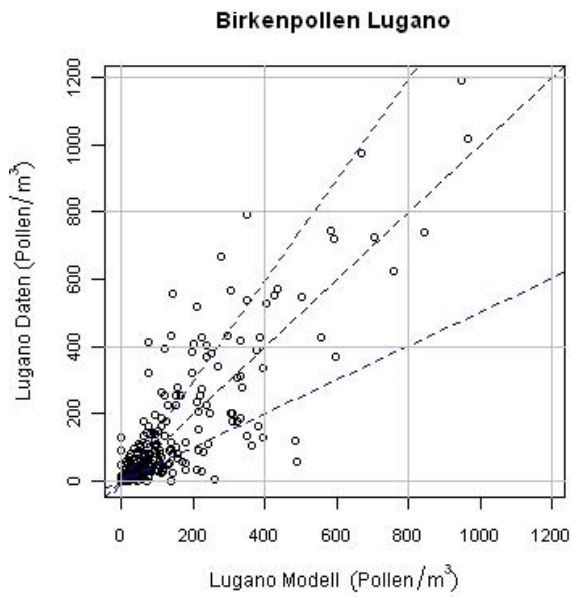
	Modell					
	Pollen/m ³ Pollenklasse	0 keine	1 – 9 schwach	10 – 69 mässig	70 – 249 stark	>250 sehr stark
Daten	0 keine	38	35	1	0	0
	1 – 9 schwach	9	57	17	0	0
	10 – 69 mässig	0	28	83	11	0
	70 – 249 stark	0	0	14	47	5
	> 250 sehr stark	0	0	0	6	23

Anteil korrekte Klassierungen Lausanne: 66.1%



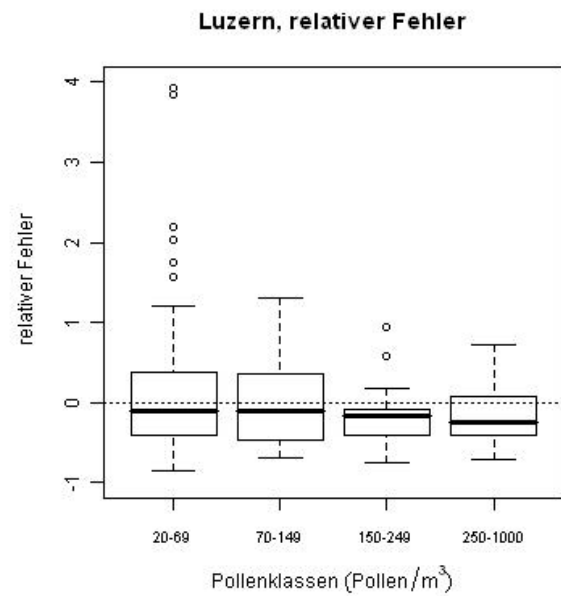
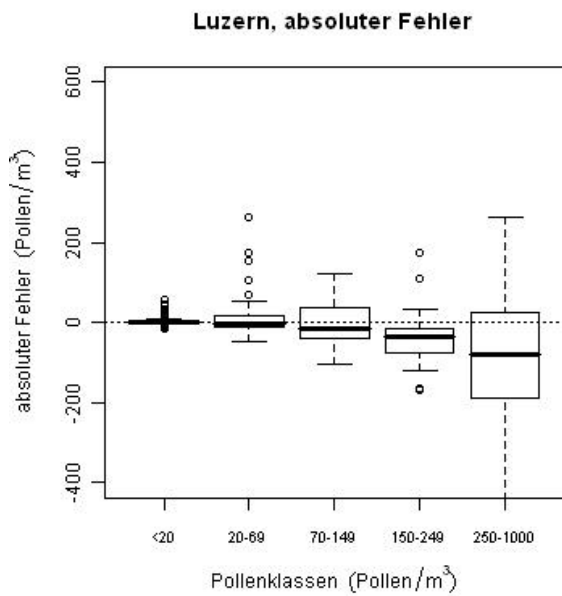
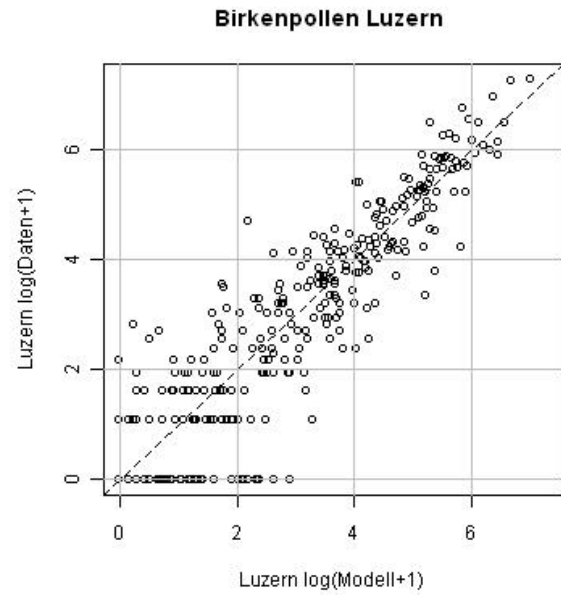
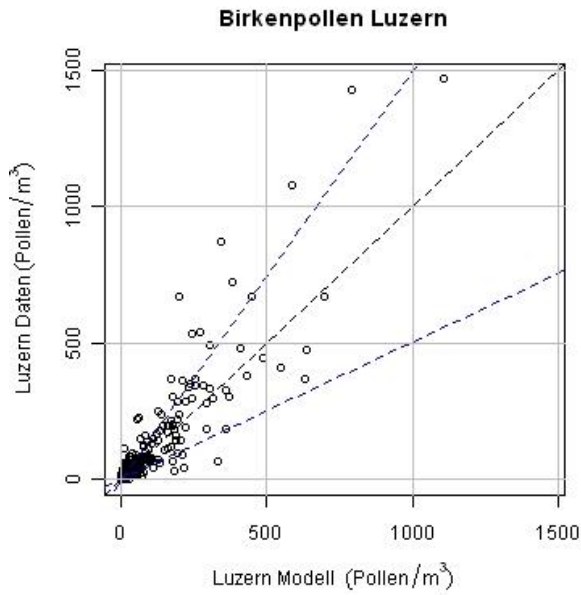
	Modell					
	Pollen/m ³ Pollenklasse	0 keine	1 – 9 schwach	10 – 69 mässig	70 – 249 stark	>250 sehr stark
Daten	0 keine	6	59	13	0	0
	1 – 9 schwach	2	23	17	0	0
	10 – 69 mässig	1	16	90	12	0
	70 – 249 stark	0	2	40	34	0
	> 250 sehr stark	0	0	6	26	14

Anteil korrekte Klassierungen Locarno: 44.5%



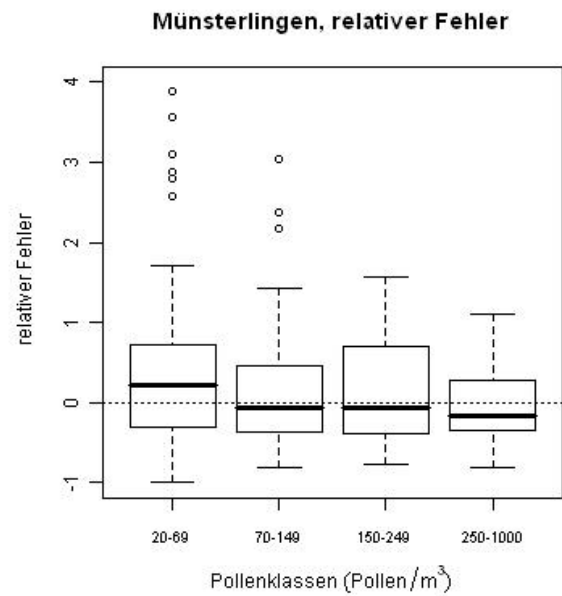
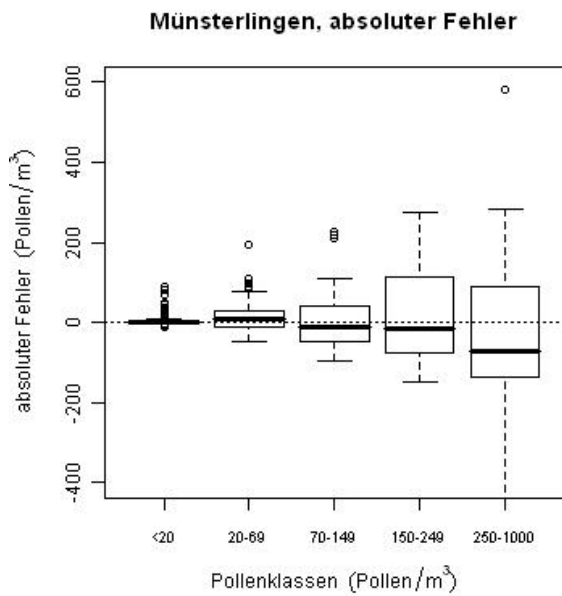
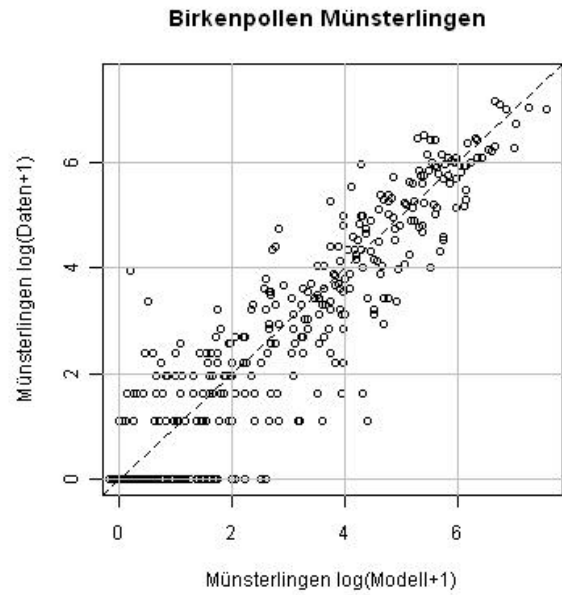
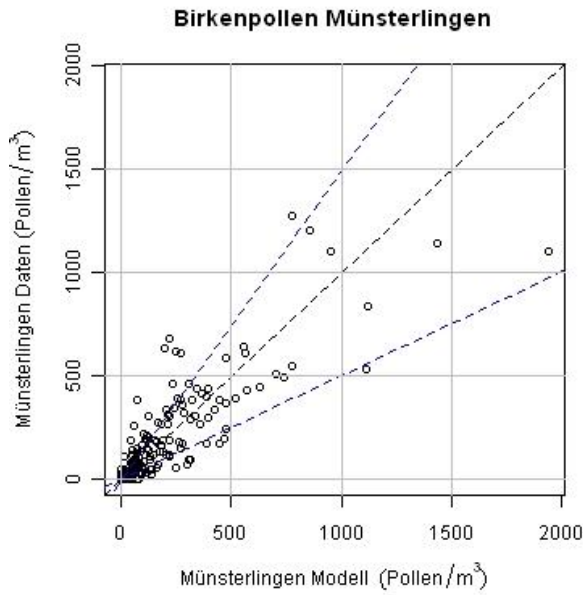
		Modell				
Pollen/m ³ Pollenklasse		0 keine	1 – 9 schwach	10 – 69 mässig	70 – 249 stark	>250 sehr stark
Daten	0 keine	12	46	8	2	0
	1 – 9 schwach	8	26	32	1	1
	10 – 69 mässig	1	12	64	30	1
	70 – 249 stark	0	2	15	42	11
	> 250 sehr stark	0	0	0	19	28

Anteil korrekte Klassierungen Lugano: 45.9%



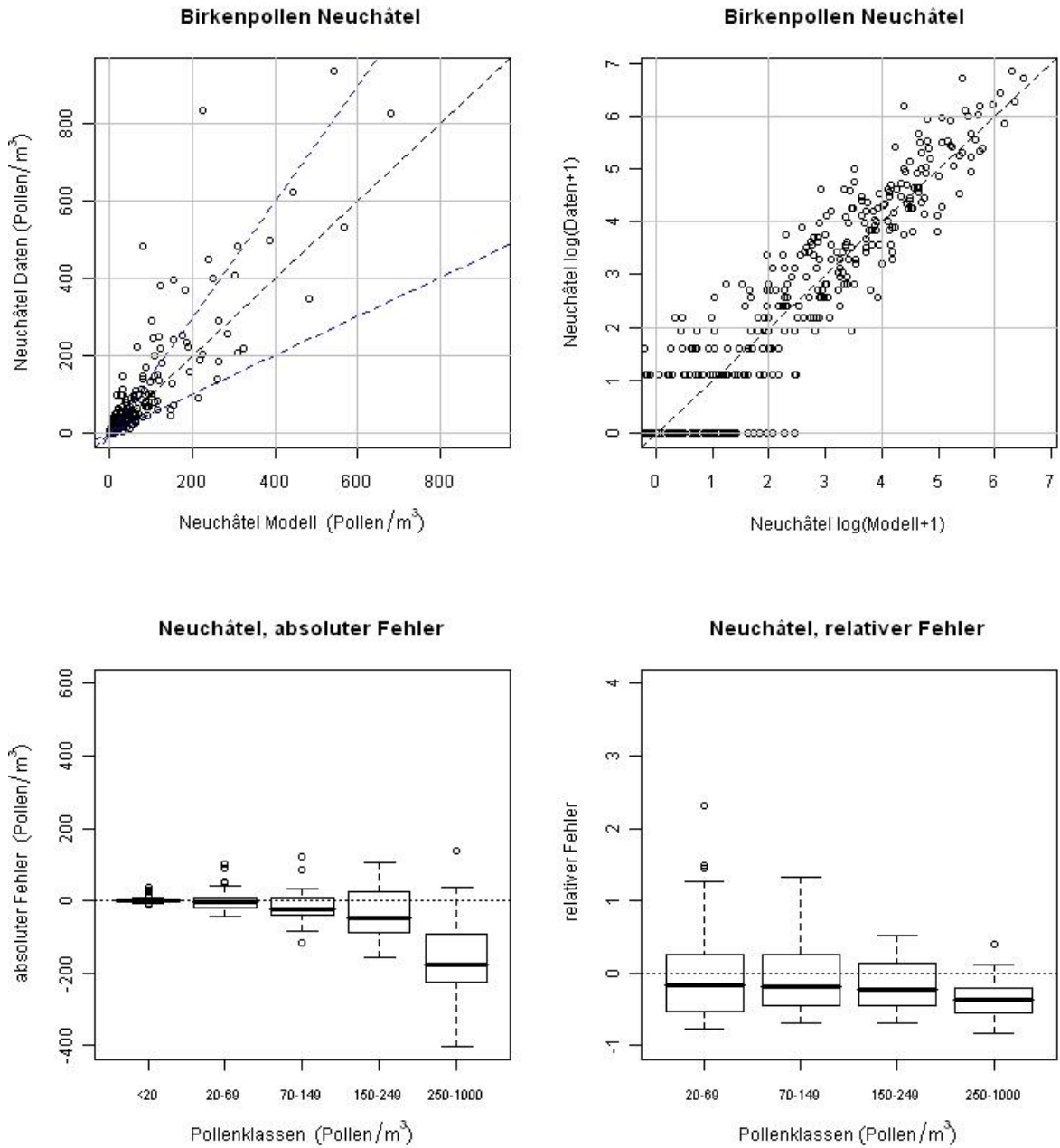
	Modell					
	Pollen/m ³ Pollenklasse	0 keine	1 – 9 schwach	10 – 69 mässig	70 – 249 stark	>250 sehr stark
Daten	0 keine	49	57	2	0	0
	1 – 9 schwach	12	45	17	0	0
	10 – 69 mässig	1	18	74	12	1
	70 – 249 stark	0	1	12	39	2
	> 250 sehr stark	0	0	0	10	23

Anteil korrekte Klassierungen Luzern: 61.3%



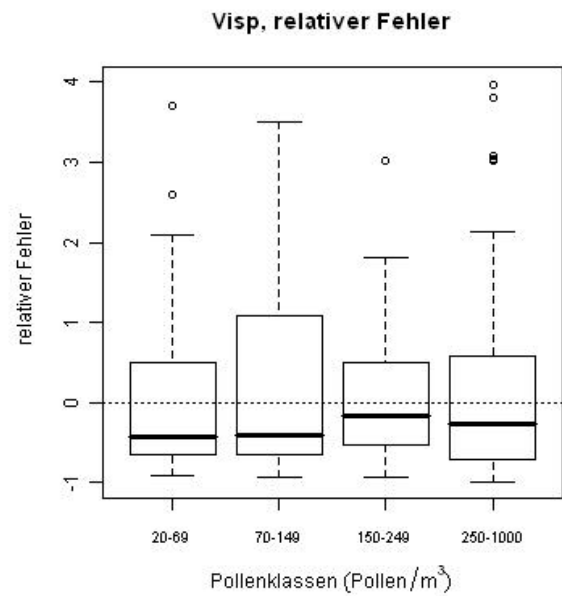
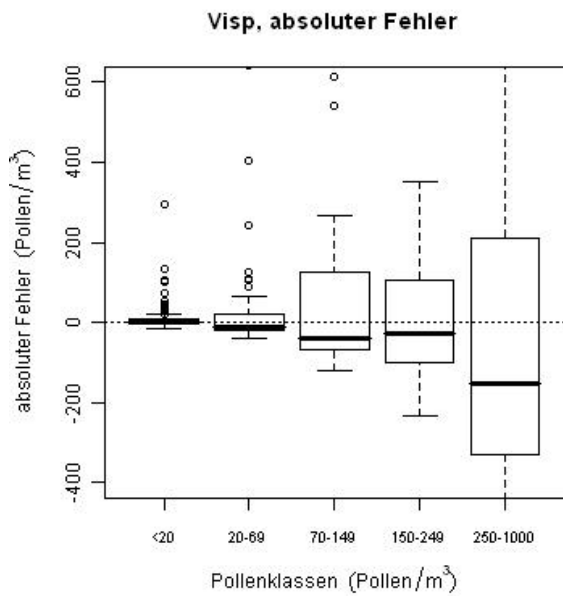
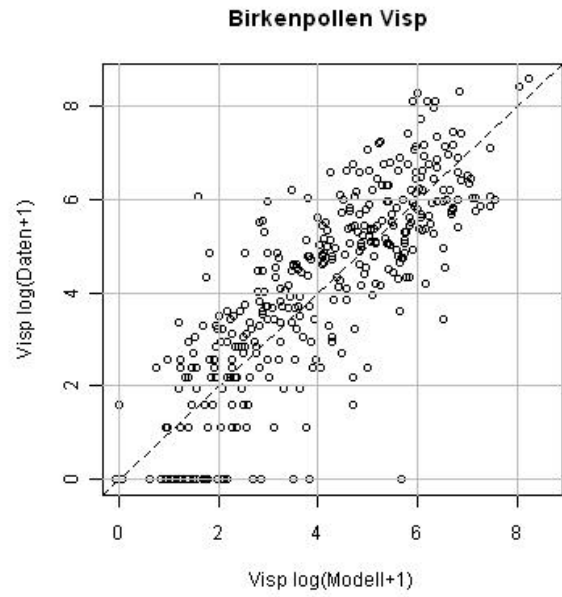
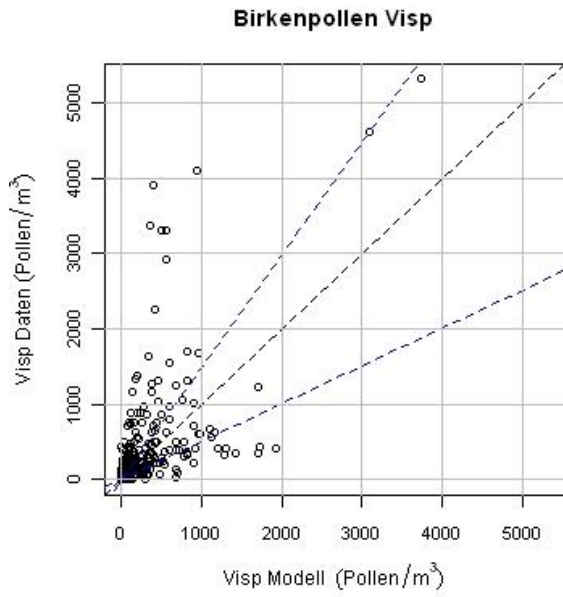
		Modell				
Pollen/m ³ Pollenklasse		0 keine	1 – 9 schwach	10 – 69 mässig	70 – 249 stark	>250 sehr stark
Daten	0 keine	46	46	2	0	0
	1 – 9 schwach	9	57	13	2	0
	10 – 69 mässig	1	19	62	15	0
	70 – 249 stark	0	0	14	30	10
	> 250 sehr stark	0	0	1	13	35

Anteil korrekte Klassierungen Münsterlingen: 61.3%



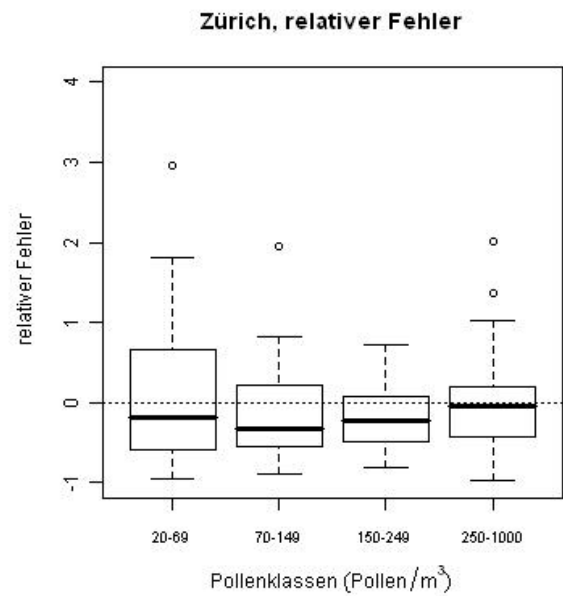
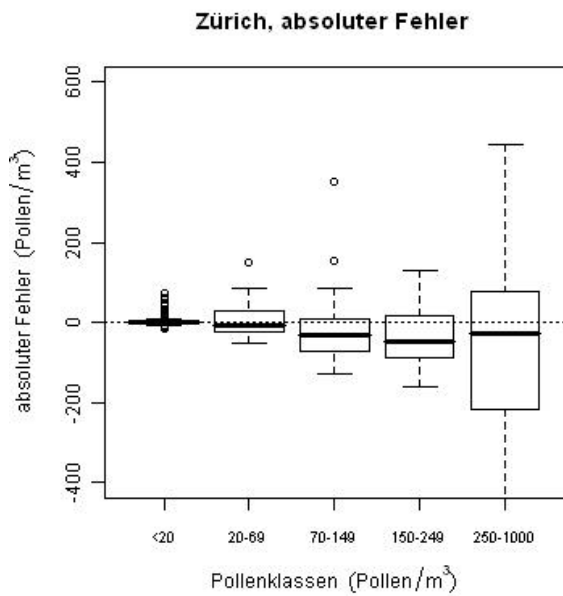
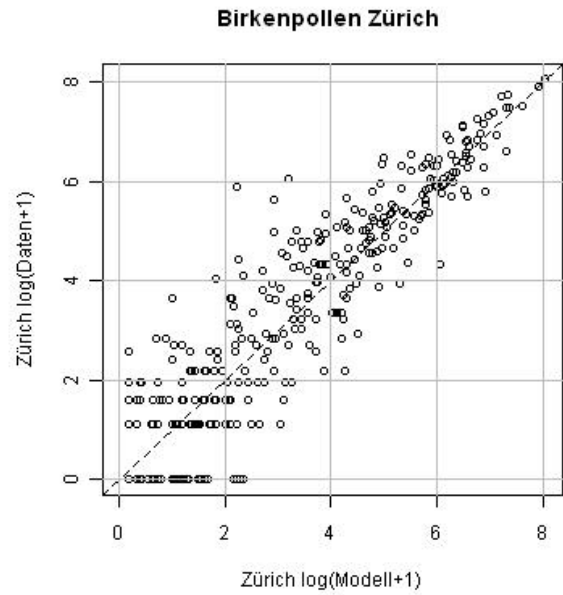
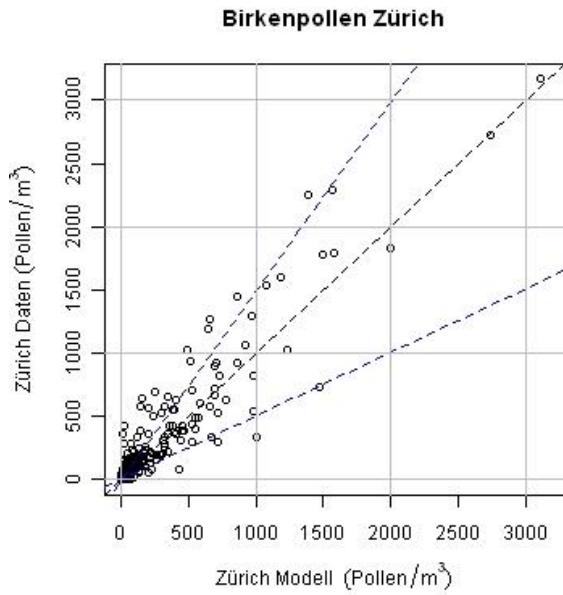
		Modell				
Pollen/m ³ Pollenklasse		0 keine	1 – 9 schwach	10 – 69 mässig	70 – 249 stark	>250 sehr stark
Daten	0 keine	45	46	1	0	0
	1 – 9 schwach	12	63	12	0	0
	10 – 69 mässig	0	26	84	5	0
	70 – 249 stark	0	0	21	37	4
	> 250 sehr stark	0	0	0	9	10

Anteil korrekte Klassierungen Neuchâtel: 63.7%



		Modell					
		Pollen/m ³ Pollenklasse	0 keine	1 – 9 schwach	10 – 69 mässig	70 – 249 stark	>250 sehr stark
Daten	0 keine	2	24	4	0	1	
	1 – 9 schwach	1	26	11	2	0	
	10 – 69 mässig	0	32	52	13	3	
	70 – 249 stark	0	2	34	37	23	
	> 250 sehr stark	0	1	6	29	71	

Anteil korrekte Klassierungen Visp: 50.1%



		Modell				
Pollen/m ³ Pollenklasse		0 keine	1 – 9 schwach	10 – 69 mässig	70 – 249 stark	>250 sehr stark
Daten	0 keine	45	34	0	0	0
	1 – 9 schwach	20	50	13	0	0
	10 – 69 mässig	1	23	41	8	0
	70 – 249 stark	0	1	23	38	7
	> 250 sehr stark	0	1	2	10	58

Anteil korrekte Klassierungen Zürich: 61.9%

Arbeitsberichte der MeteoSchweiz

- 236** Fülleemann, C., Begert, M., Croci-Maspoli, M., S. Brönnimann: 2011, Digitalisieren und Homogenisieren von historischen Klimadaten des Swiss NBCN – Resultate aus DigiHom, *Arbeitsberichte der MeteoSchweiz*, 48 pp., CHF 71.-
- 235** Weusthoff T: 2011, Weather Type Classification at MeteoSwiss - Introduction of new automatic classification schemes, 38pp, CHF 66.-
- 234** Hächler P, Burri K, Dürr B, Gutermann T, Neururer A, Richner H, Werner R: 2011, Der Föhnfall vom 8. Dezember 2006 – Eine Fallstudie, 47pp, CHF 68.-
- 233** Wüthrich C, Scherrer S, Begert M, Croci-Maspoli M, Marty C, Seiz G, Foppa N, Konzelmann T, Appenzeller C: 2010, Die langen Schneemessreihen der Schweiz - Eine basisklimatologische Netzanalyse und Bestimmung besonders wertvoller Stationen mit Messbeginn vor 1961, 33pp, CHF 64.-
- 232** Willi, M: 2010, Gridding of Daily Sunshine Duration by Combination of Station and Satellite Data, 92pp, CHF 78.-
- 231** Scherrer, S: 2010, Die Niederschlagstotalisatoren der Schweiz –Eine basisklimatologische Netzanalyse und Bestimmung besonders wertvoller Stationen, 32pp, CHF 64.-
- 230** Michel, D, MW Rotach, R Gehrig, R Vogt: 2010, Experimental investigation of micrometeorological influences on birch pollen emission, 37 pp, CHF 56.-
- 229** Philipona R, Levrat G, Romanens G, Jeannet P, Ruffieux D and Calpini B: 2009, Transition from VIZ / Sippicanto ROTRONIC - A new humidity sensor for the SWISS SRS 400 Radiosonde, 37pp, CHF 66.-
- 228** MeteoSchweiz: 2009, Klimabericht Kanton Graubünden, 40pp, nur als .pdf erhältlich
- 227** MeteoSchweiz, 2009, Basisanalysen ausgewählter klimatologischer Parameter am Standort KKWLeibstadt, 135pp, CHF 88.-
- 226** MeteoSchweiz: 2009, Basisanalysen ausgewählter klimatologischer Parameter am Standort KKW-Mühleberg, 135pp, CHF 88.-
- 225** MeteoSchweiz: 2009, Basisanalysen ausgewählter klimatologischer Parameter am Standort KKW-Gösigen, 135pp, CHF 88.-
- 224** MeteoSchweiz: 2009, Basisanalysen ausgewählter klimatologischer Parameter am Standort KKW-Beznau, 135pp, CHF 88.-
- 223** Dürr B: 2008, Automatisiertes Verfahren zur Bestimmung von Föhn in den Alpentälern, 22pp, CHF 62.-
- 222** Schmutz C, Arpagaus M, Clementi L, Frei C, Fukutome S, Germann U, Liniger M und Schacher F: 2008, Meteorologische Ereignisanalyse des Hochwassers 8. bis 9. August 2007, 29pp, CHF 64.-
- 221** Frei C, Germann U, Fukutome S und Liniger M: 2008, Möglichkeiten und Grenzen der Niederschlagsanalysen zum Hochwasser 2005, 19pp, CHF 62.-
- 220** Ambühl J: 2008, Optimization of Warning Systems based on Economic Criteria, 79pp, CHF 75.-
- 219** Ceppi P, Della-Marta PM and Appenzeller C: 2008, Extreme Value Analysis of Wind Observations over Switzerland, 43pp, CHF 67.-
- 218** MeteoSchweiz (Hrsg): 2008, Klimaszenarien für die Schweiz – Ein Statusbericht, 50pp, CHF 69.-
- 217** Begert M: 2008, Die Repräsentativität der Stationen im Swiss National Basic Climatological Network (Swiss NBCN), 40pp, CHF 66.-

Veröffentlichungen der MeteoSchweiz

- 86** Walker, D: 2010, 2010, Cloud effects on erythemal UV radiation in a complex topography, 106 pp, CHF 81.-
- 85** Ambühl, J: 2010, Neural interpretation of ECMWF ensemble predictions, 48pp, CHF 68.-
- 84** Ambühl, J: 2010, Customer oriented warning systems, 91pp, CHF 78.-
- 83** Ceppi, P: 2010, Spatial characteristics of gridded Swiss temperature trends: local and large-scale influences, 82pp, CHF 76.-
- 82** Blanc, P: 2009, Ensemble-based uncertainty prediction for deterministic 2 m temperature forecasts, 90pp, CHF 78.-
- 81** Erdin R: 2009, Combining rain gauge and radar measurements of a heavy precipitation event over Switzerland: Comparison of geostatistical methods and investigation of important influencing factors, 109pp, CHF 81.-
- 80** Buzzi M: 2008, Challenges in Operational Numerical Weather Prediction at High Resolution in Complex Terrain, 186pp, CHF 103.-
- 79** Nowak D: 2008, Radiation and clouds: observations and model calculations for Payerne BSRN site, 101 pp, CHF 80.-
- 78** Arpagaus M, Rotach M, Ambrosetti P, Ament F, Appenzeller C, Bauer H-S, Bouttier F, Buzzi A, Corazza M, Davolio S, Denhard M, Doringner M, Fontannaz L, Frick J, Fundel F, Germann U, Gorgas T, Grossi G, Hegg C, Hering A, Jaun S, Keil C, Liniger M, Marsigli C, McTaggart-Cowan R, Montani A, Mylne K, Ranzi R, Richard E, Rossa A, Santos-Muñoz D, Schär C, Seity Y, Staudinger M, Stoll M, Vogt S, Volkert H, Walser A, Wang Y, Werhahn J, Wulfmeyer V, Wunram C and Zappa M: 2009, MAP D-PHASE: Demonstrating forecast capabilities for flood events in the Alpine region. Report of the WWRP Forecast Demonstration Project D-PHASE submitted to the WWRP Scientific Steering Committee, 65pp, CHF 73.-
- 77** Rossa AM: 2007, MAP-NWS – an Optional EUMETNET Programme in Support of an Optimal Research Programme, 67pp, CHF 73.-
- 76** Baggenstos D: 2007, Probabilistic verification of operational monthly temperature forecasts, 52pp, CHF 69.-
- 75** Fikke S, Ronsten G, Heimo A, Kunz S, Ostrozlik M, Persson PE, Sabata J, Wareing B, Wichura B, Chum J, Laakso T, Sääntti K and Makkonen L: 2007, COST 727: Atmospheric Icing on Structures Measurements and data collection on icing: State of the Art, 110pp, CHF 83.-
- 74** Schmutz C, Müller P und Barodte B: 2006, Potenzialabklärung für Public Private Partnership (PPP) bei MeteoSchweiz und armasuisse Immobilien, 82pp, CHF 76.-
- 73** Scherrer SC: 2006, Interannual climate variability in the European and Alpine region, 132pp, CHF 86.-
- 72** Mathis H: 2005, Impact of Realistic Greenhouse Gas Forcing on Seasonal Forecast Performance, 80pp, CHF 75.-
- 71** Leuenberger D: 2005, High-Resolution Radar Rainfall Assimilation: Exploratory Studies with Latent Heat Nudging, 103pp, CHF 81.-
- 70** Müller G und Viatte P: 2005, The Swiss Contribution to the Global Atmosphere Watch Programme – Achievements of the First Decade and Future Prospects, 112pp, CHF 83.-
- 69** Müller WA: 2004, Analysis and Prediction of the European Winter Climate, 115pp, CHF 34.
- 68** Bader S: 2004, Das Schweizer Klima im Trend: Temperatur- und Niederschlagsentwicklung seit 1864, 48pp, CHF 18.-