



Schweizerische Eidgenossenschaft  
Confédération suisse  
Confederazione Svizzera  
Confederaziun svizra

Eidgenössisches Departement des Innern EDI  
Bundesamt für Meteorologie und Klimatologie MeteoSchweiz

Arbeitsbericht MeteoSchweiz Nr. 213

# Saisonale Vorhersage in Tradition und Moderne: Vergleich der „Sommerprognose“ des Zürcher Bööggs mit einem dynamischen Klimamodell

*Daniela Schmuki und Andreas P. Weigel*





Arbeitsbericht MeteoSchweiz Nr. 213

# Saisonale Vorhersage in Tradition und Moderne: Vergleich der „Sommerprognose“ des Zürcher Bööggs mit einem dynamischen Klimamodell

*Daniela Schmuki und Andreas P. Weigel*

## **Bitte zitieren Sie diesen Arbeitsbericht folgendermassen**

Schmuki D und Weigel AP: 2006, Saisonale Vorhersage in Tradition und Moderne: Vergleich der „Sommerprognose“ des Zürcher Bööggs mit einem dynamischen Klimamodell, *Arbeitsberichte der MeteoSchweiz*, **213**, 41 pp.

## **Herausgeber**

Bundesamt für Meteorologie und Klimatologie, MeteoSchweiz, © 2006

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

<b>Zusammenfassung</b>	<b>3</b>
<b>1 Einleitung</b>	<b>6</b>
1.1 Bedeutung der saisonalen Vorhersage . . . . .	6
1.2 Aufbau der Arbeit . . . . .	6
<b>2 Sommerprognose des Böögg</b>	<b>8</b>
2.1 Geschichte des Böögg . . . . .	8
2.2 Zürcher Sechseläuten . . . . .	10
2.3 Vorhersagen des Böögg . . . . .	12
<b>3 Saisonale Vorhersage mit einem Klimamodell</b>	<b>14</b>
3.1 Grundlagen . . . . .	14
3.2 Statistische und dynamische Prognosen . . . . .	15
3.3 Wie zuverlässig sind saisonale Vorhersagen? . . . . .	17
<b>4 Methoden</b>	<b>18</b>
4.1 Lineare Regression . . . . .	18
4.2 Korrelation . . . . .	19
4.3 Statistischer Test . . . . .	20
4.4 Ranked Probability Skill Score . . . . .	20
4.4.1 Ranked Probability Score ( <i>RPS</i> ) . . . . .	20
4.4.2 Ranked Probability Skill Score ( <i>RPSS</i> ) . . . . .	21
4.4.3 Ranked Probability Skill Score Debaised ( <i>RPSS<sub>D</sub></i> ) . . . . .	22
<b>5 Resultate</b>	<b>23</b>
5.1 Sommerprognose des Böögg . . . . .	23
5.2 Prognose mit dem dynamischen Klimamodell des ECMWF . . . . .	30
5.3 Vergleich zwischen der saisonalen Vorhersage der MeteoSchweiz und der Sommerprognose des Böögg . . . . .	31
5.3.1 Voraussetzung . . . . .	31
5.3.2 Ergebnisse der <i>RPSS<sub>D</sub></i> Analyse . . . . .	32

<b>6</b>	<b>Diskussion</b>	<b>34</b>
6.1	Sommerprognose des Bööggs . . . . .	34
6.2	Saisonale Vorhersage der MeteoSchweiz . . . . .	34
6.3	Vergleich zwischen der saisonalen Vorhersage der MeteoSchweiz und der Sommerprognose des Bööggs . . . . .	35
<b>7</b>	<b>Ausblick</b>	<b>36</b>
7.1	Sommerprognose des Bööggs . . . . .	36
7.2	Saisonale Vorhersage der Meteo Schweiz . . . . .	36
	<b>Literatur</b>	<b>39</b>
<b>A</b>	<b>Appendix</b>	<b>40</b>
A.1	Daten . . . . .	40
A.2	Grafiken . . . . .	41
A.2.1	Vergleichbarkeit der mittleren Sommertemperatur mit der Anzahl Sommer- und Hitzetage . . . . .	41

## Zusammenfassung

In dieser Arbeit werden zwei „Ansätze“ der saisonalen Sommerprognose für die Stadt Zürich untersucht. Der Böögg am Zürcher Sechseläutenfest stellt jedes Jahr eine Prognose für den Sommer auf, die auf der Annahme beruht, dass der Sommer umso schöner wird, je schneller der Wattermann dem Feuertod erliegt. Neben diesem traditionellen Orakel gibt es aber auch die wissenschaftlich fundierte saisonale Vorhersage der MeteoSchweiz, welche das Klima über mehrere Monate im Voraus mit Hilfe eines numerisch dynamischen Modells prognostiziert. Dabei handelt es sich um eine sogenannte Ensemble-Vorhersage, bei der mehrere Modellläufe mit leicht unterschiedlichen Anfangsbedingungen die Bandbreite und Eintritts-Wahrscheinlichkeiten potentieller Klimaereignisse berechnen. In dieser Arbeit wird die Qualität der beiden Sommerprognosen auf zweierlei Weise wissenschaftlich untersucht und miteinander verglichen. Zum einen auf der Basis der Korrelation zwischen beobachteten und vorhergesagten Sommerindikatoren, zum anderen auf der Basis des RPSS<sub>D</sub>, eines speziell für Ensemble-Vorhersagen konzipierten probabilistischen Vorhersagegüte-Masses.

Was die Korrelationsanalyse anbelangt, so kann für die Prognose des Bööggs keine statistische Signifikanz nachgewiesen werden, während die Modell-Vorhersage für den Sommer statistisch signifikante Vorhersagegüte aufweist. In diesem Zusammenhang wird auch der Einfluss des Hitzesommers 2003 untersucht, der vor allem das Ergebnis des Bööggs entscheidend beeinflusst, da er in diesem Jahr zufällig sehr schnell abgebrannt ist. Neben der Korrelationsanalyse zeigt auch die probabilistische RPSS<sub>D</sub>-Analyse, dass die dynamische Vorhersage statistisch signifikant besser ist, als wenn auf Basis der langjährigen Klimatologie geraten wird, wie die mittlere Sommertemperatur ausfällt. Der Böögg schneidet auch bei dieser Methode sehr schlecht ab und gibt keinen Informationsgewinn gegenüber klimatologischem Raten.

Dass der Böögg bei dieser Untersuchung so schlecht abschneidet, ist nicht überraschend, denn woher sollte er auch über gute Vorhersage Qualitäten verfügen? Viel mehr hängt seine Brennzeit vom Aufbau des Reishaufens und der Feuchtigkeit des verwendeten Holzes ab. Von entscheidender Bedeutung ist auch die Menge der eingesetzten Brandbeschleuniger. Im Gegensatz dazu handelt es sich bei der Ensemble-Vorhersage der MeteoSchweiz um eine wissenschaftliche Methode, die auf einem gekoppelten Atmosphären-Ozean-Modell beruht und mit

globalen Messdaten initialisiert wird. Mit der Verbesserung des weltweiten Messnetzes, vor allem aber mit der Erhöhung der Rechenleistung und damit einhergehend besserer Modellauflösung wird es in Zukunft möglich sein, die Qualität saisonaler Vorhersagen weiterhin zu steigern.

# 1 Einleitung

## 1.1 Bedeutung der saisonalen Vorhersage

Klimavorhersagen sind in den verschiedensten Bereichen der Gesellschaft von grossem Interesse. Für die Menschen im Einflussbereich des ENSO-Zyklus (El Niño-Southern-Oscillation) beispielsweise ist dessen Vorhersage von entscheidender Bedeutung, weil sie sich so auf Trockenheit oder extreme Regenfälle einstellen können. Ausserdem sind auch die Erträge aus der Fischerei vor der Westküste Südamerikas vom ENSO-Zyklus abhängig. Weltweit grossen Nutzen bringen saisonale Vorhersagen für Risikoanalysen im Versicherungsbereich, wo mit sogenannten Wetterderivaten den Kunden Versicherungen bezüglich Risiken von Wetter- und Klimaereignissen angeboten werden. Auch ist die saisonale Vorhersage für Elektrizitätswerke ein hilfreiches Instrument bei der Planung ihrer Produktion (Hotz, 2004). Ein weiteres Beispiel findet sich im Energiesektor bei der Staudammreservoir-Planung. Im Bereich Gesundheit kann im Vorfeld mit der entsprechenden klimatologischen Information auf mögliche Malaria-Epidemien reagiert werden. Weiter bringen saisonale Vorhersagen einen grossen Nutzen im Bereich Agronomie. Dünge- und Saatplanungen können verbessert werden, ausserdem ermöglichen Dürrevorhersagen eine frühe Reaktion und dementsprechende Massnahmen. Kurzum, diese Beispiele zeigen, dass in der Prognose saisonaler Klimaschwankungen ein grosses Potential mit vielseitigen Anwendungsbereichen liegt, sowohl für die Industrienationen als auch für Drittweltländer.

## 1.2 Aufbau der Arbeit

In dieser Arbeit werden zwei „Ansätze“ für saisonale Klimavorhersagen untersucht. Zum einen als Vertreter traditioneller Orakel die Sommerprognose des Zürcher Böögg, zum anderen als Vertreter moderner wissenschaftlicher Methoden das dynamische saisonale Vorhersagemodell des Europäischen Zentrums für mittelfristige Wettervorhersage (ECMWF System 2), auf welchem die saisonale Prognose der MeteoSchweiz beruht. Die Arbeit ist wie folgt gegliedert. In Kapitel 2 wird der historische Kontext sowie die Sommervorhersage des Böögg erläutert. Darauf folgen in Kapitel 3 die Hintergründe der numerischen saisonalen Vorhersage der MeteoSchweiz. Kapitel 4 beschreibt die verwendeten Methoden und in

Kapitel 5 sind die Resultate beschrieben. Auf die Ergebnisse wird in der Diskussion in Kapitel 6 eingegangen und in Kapitel 7 wird die Arbeit mit einem Ausblick abgerundet.

## 2 Sommerprognose des Bööggs

### 2.1 Geschichte des Bööggs

Der Böögg kann auf eine turbulente Geschichte zurückblicken. Ursprünglich entzündete man in der ganzen Stadt Zürich, unter anderem an der Lindenhofhalde, im Selnauquartier, in Stadelhofen und auf dem Bahnhofplatz, am ersten Montag nach dem Frühlingsbeginn um 18:00 Uhr kleine Feuer. Im Quartier Kratz, welches den alten Stadtteil zwischen dem Fraumünster und dem See umfasste, wurde dieser Brauch mit besonderem Eifer gepflegt (Gyr, 1912). Trotz des Faschnachtsverbotes haben die Buben aus dem Kratz jedes Jahr einen „Bööggenzug“ veranstaltet und am jeweiligen Abend einen Strohmann auf dem Faschnachtsfeuer verbrannt. Unter der Bezeichnung Böögg verstand man ursprünglich einen Schurken. Schliesslich hat sich dann die Verbrennung des Bööggs als Symbol des Frühlingseinzugs ganz auf dieses Viertel beschränkt. Der damalige Böögg hatte jedoch noch wenig mit dem heutigen gemeinsam; er war eine einfache Strohpuppe, welche auch als eine Art Vogelscheuche bezeichnet werden konnte. Er nahm sogar einmal die Gestalt eines gefährlichen Drachens (1869) oder des Kriegsgottes Mars (1868) an.

In den 60er Jahren des 19. Jahrhunderts nahm die politische Bedeutung der Zünfte ab (vergleiche Kapitel 2.2) und das Sechseläuten erhielt neues Leben durch den Einbezug der Kinder und des Bööggs. Heinrich Cramer (1808-1871) integrierte die Kratz-Buben und ihren Bööggen erfolgreich ins Sechseläuten und organisierte 1862 erstmals einen Knabenumzug. 1867 durften dann auch die Mädchen teilnehmen und noch ein Jahr später wurde der Kinderumzug sowie die Verbrennung des Bööggs in den Montagsumzug integriert. Heinrich Cramer wurde bekannt für seine grossen historischen Umzüge mit Karnevalelementen. Gegen Ende des Jahrhunderts zählte das Sechseläuten neben dem Knabenschüssen zu den bedeutendsten Brauchtumsfesten in Zürich.

Seit dem zweiten Weltkrieg gibt es das heutige Sechseläuten-Ritual mit dem Umzug der kostümierten Kinder am Sonntag, Festzug der Zünfte am Montag und anschliessender Exekution des Bööggs um Punkt 18:00 Uhr.

Das Anzünden des Bööggs, welches an die heidnische Verbrennung des Winters erinnert, ist ein Beispiel dafür, dass sich gewisse mythologische Einflüsse des alten Römischen Reiches sowie des Nordischen Götterglaubens bis heute durchsetzen

konnten. So pflegten schon die alten Römer ein grosses Frühlingsfest im Monat März zu Ehren des Kriegsgottes Mars, der als Anführer der zwölf Monate und damit des ganzen Jahres galt (Gyr, 1912). Der Böögg wird nach dem Glockenschlag der ältesten Stadtkirche, der Kirche St. Peter, angezündet. Nach häufigem Wechsel des Verbrennungsortes kam der Böögg 1904 erstmals auf den ehemaligen Tonhalleplatz am Bellevue, welcher seit 1947 offiziell als „Sechseläuten-Platz“ bekannt ist.

Das Leben und vor allem das „Sterben“ des Bööggs war nicht immer einfach. Seiner Chronik kann entnommen werden, dass er beispielsweise im Jahre 1901 aufgrund starken Windes nicht richtig brennen konnte und erst nach fünf Viertelstunden dem Feuer erlag. 1921 stiftete ein fanatischer Kommunist einen Knaben an, den Böögg schon am Nachmittag anzuzünden. Ganz Zürich geriet in helle Aufregung und mit vereinten Kräften wurde an einem Ersatzböögg gearbeitet, welcher dann pünktlich um 18:00 Uhr in Brand gesetzt werden konnte. In den Kriegsjahren 1940-44 musste auf den Umzug zum Bellevue verzichtet werden, da der Platz als Acker<sup>1</sup> verwendet wurde. Ersatzweise wurde der Böögg in den Jahren 1943 und 1944 auf dem Hafendamm Enge angezündet, wobei er 1944 beim Abbrennen den legendären Sturz ins Wasser erlitt.

Der Böögg wird seit bald 40 Jahren in der Werkstatt von Heinz Wahrenberger hergestellt. Selbst im November 2003, als die Zürcher ihren Brauch für drei Tage nach London exportierten, war er mit einem Böögg zur Stelle, welchen er aufgrund der Sicherheitsvorschriften erst vor Ort mit Brandbeschleuniger laden konnte (Eitle, 2003). Heute handelt es sich beim Böögg nicht mehr um eine einfache Strohuppe, sondern um einen 3.4 Meter hohen und 80 Kilogramm schweren Schneemann aus Watte (siehe Abbildung 1), dessen Herstellung fünf bis sechs Tage in Anspruch nimmt. Die Gesamtkosten belaufen sich auf ungefähr CHF 5000, wovon CHF 1000 allein für die Sprengladung aufgewendet werden müssen. Die Ausrüstung des Bööggs mit Feuerwerkskörpern erfolgt aus Sicherheitsgründen erst ein bis zwei Tage vor seinem Abtransport zur Sechseläuten-Wiese. Obwohl der grosse Reisighaufen den Böögg klein erscheinen lässt, besitzt er mit einem Körperumfang von 2.8 Meter und einer Armlänge von 1.9 Metern eine respektable Grösse. Allein der Umfang seines Hutes, der aus einem Weidenkorb besteht, beträgt 1.8 Meter. Am Kinderumzug am Sonntag ist auch ein Böögg beteiligt,

---

<sup>1</sup>Anbau von Lebensmitteln auf allen verfügbaren Flächen nach Plan Wahlen

welcher jedoch nicht mit Sprengstoff „geladen“ ist und für das kommende Jahr in der Stadtgärtnerei aufbewahrt wird.

Am Morgen des Sechseläuten Montages errichtet das Gartenbauamt von Zürich aus Abfallholz der Region einen Reisighaufen von sieben Meter Durchmesser mit einer Höhe von 13 Meter. In die Mitte wird eine Stange verankert und darauf das Podest mit dem Böögg platziert. Heute findet der Aufbau unter den wachsamen Augen von Sicherheitsleuten statt, damit der Böögg nicht zu früh in Brand gesetzt werden kann (Baumann, 1992).



Abbildung 1: Der Böögg auf dem Reisighaufen am Sechseläuten vom 18. April 2005 (Foto: Roli Walter, Männedorf)

## 2.2 Zürcher Sechseläuten

Frühlingsfeste werden nördlich der Alpen zum ältesten und ursprünglichsten Brauchtum gezählt. Neben den kirchlichen Feiertagen sind sie am weitesten verbreitet und haben die verschiedensten Formen angenommen. In der Schweiz wird vor allem der Fasnachts-Brauch gepflegt. Das Sechseläuten, welches gegen Ende des

19. Jahrhunderts von der Fasnacht geprägt war, entwickelte sich nach der Jahrhundertwende zu einem vorwiegend historisch-patriotischen Fest.

Die Bezeichnung „Sechseläuten“ geht auf eine alte Gewerbeordnung der Zürcher Handwerker aus dem 13. Jahrhundert zurück. Im dunklen Winterhalbjahr konnte aufgrund schlechter Beleuchtung nur bis zum Einbruch der Dämmerung gearbeitet werden. Nach dem Frühlingsbeginn am 21. März kündigte jedoch wieder die Feierabendglocke um 18:00 Uhr das Ende der Arbeit an.

Zu dieser Zeit war der Zusammenschluss der Handwerker zu Zünften noch strengstens verboten. Doch schon im 14. Jahrhundert wurden alle Handwerker in 13 Zünfte eingeteilt. Jede Zunft verfügte über eine eigene Zunftstube, in der sie Politik und ihre Berufsangelegenheiten besprachen. Das Zunftregiment, ursprünglich eine frühdemokratische Einrichtung, entwickelte sich bald zur privilegierten Herrschaft weniger Familien. Neue Berufszweige wurden von der Stadt ferngehalten oder verboten. Erst im Jahr 1798 nach der französischen Revolution geriet die Zunftherrschaft ins Wanken und konnte ihre Macht nie mehr im alten Mass ausbauen, bis sie schliesslich 1866 auch noch das Privileg verlor, eigene Wahlkreise zu bilden. Um nicht ganz in Vergessenheit zu geraten, waren die Zünfte gezwungen, mit neuen Aktivitäten auf sich aufmerksam zu machen. Das Resultat waren die legendären Umzüge mit Reitern, Wagen und Musikanten. Diese Tradition, sowie die gegenseitigen Besuche der Zünfte, zählen heute noch zu den Höhepunkten des Sechseläutens.

Aufgrund des kalten und oft schlechten Wetters wurde 1842 das Sechseläuten um einen Monat in Richtung der wärmeren Jahreszeit verschoben. Bis heute gilt folgende Regel: Das Sechseläuten ist der dritte Montag im April, sofern dieses Datum nicht in die Karwoche oder auf den Ostermontag fällt. Als Ausweichdatum gilt der nächstfolgende Montag.

Das Sechseläuten gliedert sich in fünf deutlich voneinander getrennte Akte: Als Auftakt findet jedes zweite Jahr der Ball der Zünfte am Samstagabend vor dem eigentlichen Fest statt, wo sich die Zürcher Stadt-Prominenz trifft. Der Kinderumzug bildet den zweiten Akt, welcher jeweils am Sonntag durch Zürich zieht. Viele kostümierte Kinder, oft in Trachten, sowie Erwachsene bilden diesen farbenprächtigen Zug, der von einem Wagen mit dem Böögg abgeschlossen wird. Am Montag folgt als dritter Akt das traditionelle Mittagessen der Zünfte, welches vom vierten Akt, dem gemeinsamen Zug aller Zünfte zum Feuer, abgelöst wird. Dieser gilt als

sehr wichtiger Teil des Sechseläutens und dauert zirka 2.5 Stunden. Um Punkt 18:00 Uhr gibt der sechste Glockenschlag der St.Peterskirche das Signal zum Anzünden des Bööggs und damit zum spannendsten Teil des Festes. Mitarbeiter des städtischen Gartenbauamtes entfachen den hohen Reisighaufen, auf dessen Spitze der weisse Schneemann sitzt. Sobald die Flammen seinen Kopf erreicht haben, explodiert der ganze Böögg (siehe Abbildung 2). Während des Feuerwerkes wird der Scheiterhaufen von Reitergruppen umrundet. Früher bestanden sie nur aus Zunftmitgliedern, heute ist zusätzlich ein Gastkanton anwesend. Der fünfte Akt bildet den Ausklang der Feier mit gegenseitigen Besuchen der Zünfte in ihren Zunftstuben (Baumann, 1992).



Abbildung 2: Der brennende Böögg am Sechseläuten vom 18. April 2005 (Foto: Roli Walter, Männedorf)

### 2.3 Vorhersagen des Bööggs

Die Zeitdauer vom Anzünden des Bööggs beim sechsten Schlag der St.Peterskirche bis zum Verlust des Kopfes soll Rückschluss über den kommenden Sommer geben. Eine kurze Leidenszeit verheisst einen schönen Sommer. Ausserdem

steckt in der Brennzeit auch eine Vorhersage über den Frühling: Je kürzer sie ist, desto früher soll dieser einsetzen. Ausserdem existiert noch eine dritte Vorhersage: Wenn der Böögg umfalle, werde Krieg in Europa ausbrechen. Da dies aber weder 1914 noch 1939 der Fall war, ist diese Prognose in Vergessenheit geraten (Primault, 2005). In dieser Arbeit wird nur auf die Vorhersage des Sommers eingegangen, da sich diese mit meteorologischen Daten prüfen lässt und ausserdem Vergleiche zur saisonalen Vorhersage der MeteoSchweiz zulässt.

## 3 Saisonale Vorhersage mit einem Klimamodell

### 3.1 Grundlagen

In Gegensatz zur „klassischen“ Wettervorhersage, bei der der Zustand der Atmosphäre deterministisch in die Zukunft gerechnet wird, handelt es sich bei der saisonalen Vorhersage um eine Prognose des Klimas, das heisst des mittleren Wettergeschehens. Zwar sind auch solche Klimamodelle formal deterministisch; man macht aber keine Aussage mehr über Wetterereignisse an einem bestimmten Tag in der Zukunft, sondern beschränkt sich auf die statistische Zusammenfassung aller möglichen Wetterereignisse. Eine typische Fragestellung der saisonalen Klimaprognostik ist beispielsweise, wie die Temperatur einer Jahreszeit im Vergleich zum langjährigen Mittelwert ausfällt.

Bei der Atmosphäre handelt es sich um ein hoch-chaotisches System. Das heisst, kleinste Störungen breiten sich rasch aus. Numerische Wettervorhersagemodelle, die auf prognostischen hydro- und thermodynamischen Gleichungen beruhen, beinhalten zwei potentielle Fehlerquellen: Zum einen Unsicherheiten in den Anfangsbedingungen der Atmosphäre, mit denen das Modell initialisiert wird; zum anderen Unsicherheiten in der Beschreibung kleinskaliger Prozesse wie beispielsweise Turbulenz oder Konvektion. Als Konsequenz dieser Unsicherheiten ist die Zuverlässigkeit von Wettervorhersagen auf weniger als zwei Wochen beschränkt (Liniger, Schlegel & Bader, 2006).

Das Klima wird durch eine Reihe von äusseren Faktoren bestimmt, die eine Variabilität über grössere Zeitskalen (Jahreszeiten, Jahre) aufweisen. Dazu zählt vor allem der Zustand des Ozeans. Da sich diese Randbedingungen teilweise vorhersagen lassen, ist es trotz der chaotischen Natur des Systems Atmosphäre in einem gewissen Rahmen möglich, Langzeitprognosen aufzustellen. Besonders deutlich wird dies beim ENSO (El Nino Southern Oscillation) Zyklus, welcher durch Ozeantemperatur, Niederschlag, Atmosphärische Zirkulation und Luftdruck in der Region des tropischen Pazifiks gegeben ist. Der ENSO-Zyklus ist die grösste Klimavariation auf Jahresskala, und mittlerweile lassen sich El Nino beziehungsweise La Nina Ereignisse mit der Erfassung von Temperatur- und Druckanomalien gut vorhersagen. Kleinere und weniger gut prognostizierbare Zyklen sind beispielsweise die NAO (Nordatlantische Oszillation) oder die AAO (Antarktische Oszillation). Andere wichtige Einflussfaktoren auf das jahreszeitliche Klima

sind die Bodenfeuchte, welche einen grossen Einfluss auf die Austauschprozesse an der Erdoberfläche hat, und die Schneedecke, welche zu einer Erhöhung der Albedo und damit einem Rückgang der Temperatur führt (European Centre for Medium-Range Weather Forecasts, 2003).

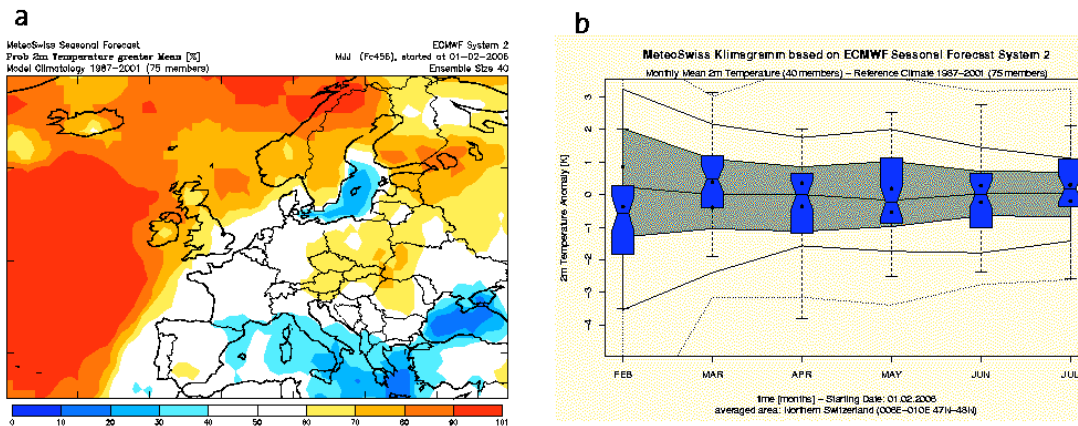


Abbildung 3: (a) Europakarte mit Wahrscheinlichkeiten, ob die Temperatur für die Monate Mai - Juli 2006 höher als die Referenzklimatologie ausfällt. Das Modell wurde im Februar 2006 gestartet. (b) Klimagramm mit Boxplots der erwarteten Temperaturanomalien für die Monate Februar - Juli 2006. Gezeigt ist die zeitliche Entwicklung der Ensemble-Verteilungen.

### 3.2 Statistische und dynamische Prognosen

Von grosser Bedeutung für saisonale Vorhersagen ist eine gute Kenntnis der Klimatologie, das heisst des mittleren Wettergeschehens. Manchmal stellt eine gut erhobene Klimatologie allein schon ein brauchbares Instrument zur „statistischen“ Vorhersage des zukünftigen Klimas dar, nämlich dann, wenn sich statistische Korrelationen zwischen zeitlich versetzten Klimakomponenten finden lassen. Hierbei spricht man von „statistischen Vorhersagen“. Ein Beispiel dafür ist der Zusammenhang zwischen dem Niederschlag in den Monaten März bis Mai im nordöstlichen Teil von Brasilien und der Oberflächentemperatur des tropischen Atlantiks in den vorangegangenen Monaten und während der Regenzeit.

Für gute statistische Vorhersagen auf globaler Skala werden weit zurückreichende und detaillierte Aufzeichnungen des Klimas benötigt. Die verfügbaren Messwerte reichen jedoch höchstens 50 bis 100 Jahre in die Vergangenheit, was einer sehr unvollständigen Näherung des Klimas gleichkommt. So ist es nicht

möglich, bei saisonalen Vorhersagen längerfristige Schwankungen und anthropogene Einflüsse wie beispielsweise den potentiellen Einfluss der Klimaerwärmung zu berücksichtigen.

Neben der statistischen existiert die dynamische Prognose, welche anhand eines numerischen Klimamodells die Entwicklung des globalen Klimasystems beschreibt. Wie bereits in Kapitel 1.2.1. erwähnt, muss für eine saisonale Vorhersage auch die ozeanische Komponente berücksichtigt werden, da die Atmosphäre allein zu wenig Vorhersagbarkeit aufweist. Die atmosphärische und ozeanische Zirkulation müssen somit als gekoppeltes System betrachtet werden. Um die Unsicherheit in den Anfangsbedingungen des gekoppelten Ozean-Atmosphäre-Systems quantifizieren zu können, wird eine Vielzahl von Modellläufen mit leicht variierten Anfangsbedingungen in der Ozean-Oberflächentemperatur durchgeführt. Dadurch können Aussagen über die Bandbreite und die Wahrscheinlichkeiten der zu erwartenden Klimarealisationen gemacht werden. Es handelt sich also um „Wahrscheinlichkeits-Prognosen“. Wenn beispielsweise 30 von 40 Vorhersagen eine überdurchschnittlich hohe Temperatur bezüglich des langjährigen Mittels zeigen, so wird die Wahrscheinlichkeit für eine überdurchschnittlich warme Periode mit 75% angegeben. Die statistische Signifikanz der Vorhersagen ist umso grösser, je mehr solche Modellläufe durchgeführt werden, das heisst, je grösser die Vorhersage-„Ensembles“ sind. Gleichzeitig wächst jedoch auch der Rechenaufwand entsprechend (European Centre for Medium-Range Weather Forecasts, 2003).

In dieser Arbeit wird als Vergleichsformat zum Böögg ein dynamisches Ensemble-Vorhersagesystem gebraucht. Verwendet wird das ECMWF<sup>2</sup> System 2-Modell, welches bei der MeteoSchweiz für saisonale Vorhersagen im operationellen Einsatz gebraucht wird. Die Vorhersagen werden in der Regel als Anomalien bezüglich der klimatologischen Referenz angegeben. In Abbildung 3 ist ein solches Vorhersage-Produkt zu sehen: 3a zeigt, wie sich die erwartete Temperatur zur Basisklimatologie verhält und in 3b ist ein sogenanntes „Klimagramm“ dargestellt, welches die zeitliche Entwicklung der Ensemble-Vorhersage zeigt (Liniger et al., 2006). Die saisonale Sommerprognose der MeteoSchweiz wird jeweils in der zweiten Mai-Hälfte erstellt.

---

<sup>2</sup>European Centre for Medium-Range Weather Forecasts, England

### 3.3 Wie zuverlässig sind saisonale Vorhersagen?

Gute saisonale Vorhersagen können dann gemacht werden, wenn sich die Bandbreite der Ensemble-Werte deutlich von der Klimatologie abhebt. In einigen Regionen der Erde, wie zum Beispiel den vom ENSO-Zyklus beeinflussten Tropen, ist das Vorhersage-Signal in der Tat relativ scharf. In den mittleren Breiten hingegen wird das Signal grösstenteils vom chaotischen „Hintergrund-Rauschen“ des Klimas überdeckt. Generell gilt, dass ein grosser Teil der Variabilität des Klimas in vielen Teilen der Erde nicht vorhersagbar ist.

Ob eine Vorhersage verwendet werden kann, hängt auch stark von den Bedürfnissen des Nutzers ab. Zwar sind schon diverse saisonale Vorhersagen im operationellen Einsatz, doch es wird immer nur eine Aussage über eine Anzahl von möglichen Ereignissen möglich sein. Das Risiko, dass etwas Unvorhergesehenes eintritt, kann nie ausgeschlossen werden (Liniger et al., 2006).

Um die saisonale Vorhersagbarkeit für eine bestimmte Region zu bestimmen, werden saisonale Vorhersagen nach Eintreten der betreffenden Periode mit den entsprechenden Messwerten geprüft (siehe Kapitel 4.4). Um mehr Vergleichsmöglichkeiten zu erhalten, werden oftmals auch vergangenen Ereignisse, zu denen Messwerte existieren, nachträglich „vorhergesagt“ und verifiziert. Man spricht hierbei von „Hindcasts“.

## 4 Methoden

Für die Berechnung der linearen Regressionen, der statistischen Auswertungen und Tests kam das Statistikprogramm R zur Anwendung. Die folgende Zusammenfassung basiert auf dem Buch von Stahel (2002).

### 4.1 Lineare Regression

Bei einer Regression geht es darum, den einen Datensatz  $y_i$  als Funktion des anderen Datensatzes  $x_i$  darzustellen. So lässt sich für beliebige Werte von  $x_i$  ein dazugehöriger Wert  $y_i$  bestimmen.

$$y_i \approx h(x_i) \quad (1)$$

Eine der einfachsten Funktionen für  $h$  ist die einer Geraden. Man spricht in diesem Fall von einer linearen Regression. Das Ziel ist die Bestimmung einer Geraden, welche für alle  $x_i$  möglichst genau den beobachteten Wert  $y_i$  wiedergibt.

Eine Gerade ist durch die Funktion  $h(x) = a + bx$  definiert und durch den Achsenabschnitt  $a$  und die Steigung  $b$  festgelegt. Für eine hypothetische Lösung  $[a, b]$  kann man die Abweichungen oder Residuen bilden:

$$r_i(a, b) = y_i - (a + bx_i) \quad (2)$$

Die Residuen sollten möglichst klein sein. Als Mass für die Grösse der Abweichungen wird üblicherweise die Quadratsumme verwendet:

$$Q(a, b) = \sum_i (r_i(a, b))^2 \quad (3)$$

In einem nächsten Schritt werden  $a$  und  $b$  so bestimmt, dass  $Q$  minimal wird. Dieses Verfahren ist unter der Bezeichnung „Methode der kleinsten Quadrate“ bekannt. Zur Berechnung der Werte  $a$  und  $b$ , welche die Quadratsumme minimieren, setzt man die partiellen Ableitungen von  $Q$  nach  $a$  und  $b$  gleich null.

$$0 = \sum_i (y_i - (a + bx_i)), \quad 0 = \sum_i (y_i - (a + bx_i)) x_i \quad (4)$$

Wird die erste Gleichung nach  $a$  aufgelöst und in die zweite eingesetzt, so erhält

man:

$$a = \bar{y} - b\bar{x}, \quad b = \frac{\sum_i (y_i - \bar{y})x_i}{\sum_i (x_i - \bar{x})x_i} \quad (5)$$

Die Mittelwerte von  $x$  beziehungsweise  $y$  sind mit  $\bar{x}$  beziehungsweise  $\bar{y}$  dargestellt. Da  $\sum_i (x_i - \bar{x}) = 0$  kann  $b$  auch wie folgt beschrieben werden:

$$b = \frac{\sum_i (y_i - \bar{y})(x_i - \bar{x})}{\sum_i (x_i - \bar{x})^2} = \frac{(n-1) \text{cov}_{xy}}{(n-1) s_x^2} = r_{xy} \frac{s_y}{s_x} \quad (6)$$

Dabei sind  $s_x$  und  $s_y$  die Standardabweichungen von  $x$  und  $y$ ,  $\text{cov}_{xy}$  ist die Kovarianz zwischen  $x$  und  $y$ ,  $r_{xy}$  die entsprechende Korrelation (siehe Kapitel 4.2).

## 4.2 Korrelation

Die Korrelation  $r_{xy}$  ist ein Mass dafür, wie stark zwei Datensätze zusammenhängen. Sie ist definiert als:

$$r_{xy} = \frac{\text{cov}(xy)}{s_x s_y}; \quad -1 \leq r_{xy} \leq 1 \quad (7)$$

Die Kovarianz  $\text{cov}_{xy}$  errechnet sich dabei aus

$$\text{cov}_{xy} = \frac{1}{n-1} \sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x})(y_i - \bar{y}) \quad (8)$$

Mit  $n$  ist die Anzahl Werte von  $x_i$  beziehungsweise  $y_i$  gemeint. Die Standardabweichungen  $s_x$  beziehungsweise  $s_y$  sind:

$$s_x = \sqrt{\frac{1}{n-1} \sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x})^2} \quad (9)$$

beziehungsweise

$$s_y = \sqrt{\frac{1}{n-1} \sum_{i=1}^n (y_i - \bar{y})^2} \quad (10)$$

Das Quadrat der Korrelation  $r_{xy}$  wird oft als der  $R^2$ -Wert der Regression bezeichnet. Er wird in Kapitel 4.3 als statistische Information zu den einzelnen Grafiken mit den linearen Regressionen angegeben.  $R^2$  kann Werte zwischen 0 (völlig un-

korreliert) und 1 (perfekt korreliert) annehmen. Schliesslich ist noch anzumerken, dass die lineare Regression von  $x$  auf  $y$  eine andere Gerade als diejenige von  $y$  auf  $x$  liefert, der Korrelationskoeffizient davon jedoch nicht betroffen ist, das heisst,  $r_{xy} = r_{yx}$ .

### 4.3 Statistischer Test

Um überprüfen zu können, ob der Zusammenhang zweier Datensets statistisch signifikant ist, wird der sogenannte  $p$ -Wert ermittelt. Die Nullhypothese, die es zu verwerfen gilt, lautet: Es gibt keinen Zusammenhang zwischen den beiden Datensets. Der  $p$ -Wert repräsentiert das kleinstmögliche Signifikanzniveau, unter dem diese Nullhypothese verworfen werden kann (Stahel, 2002). So wird auch ersichtlich, ob die Regressionsgerade Sinn macht oder nur das Produkt des statistischen Zufalls ist. Die Null-Hypothese kann auf dem 5%-Signifikanzniveau verworfen werden, wenn der berechnete  $p$ -Wert kleiner als 0.05 ist, das heisst, dass die Wahrscheinlichkeit eines irrtümlichen Verwerfens kleiner als 5% und der Zusammenhang statistisch signifikant ist.

## 4.4 Ranked Probability Skill Score

### 4.4.1 Ranked Probability Score (RPS)

Um die Aussagekraft von Wahrscheinlichkeits-Vorhersagen, wie beispielsweise der saisonalen Vorhersage, zu prüfen, bedarf es spezieller Methoden, da Wahrscheinlichkeit und Einzelereignisse verglichen werden müssen. Ein verbreitetes Mass für die Prüfung von Wahrscheinlichkeits-Vorhersagen ist der „Ranked Probability Score“ (RPS). Dieser findet im Folgenden Verwendung, da die saisonalen Modell-Vorhersagen der MeteoSchweiz kategorischer Natur sind: Mittels des Modells werden nämlich Aussagen darüber gemacht, ob eine Periode (in unserem Fall der Sommer) unterdurchschnittlich, durchschnittlich oder überdurchschnittlich warm wird; es erfolgt also eine Einteilung in drei Kategorien.

Eine Wahrscheinlichkeits-Vorhersage kann graphisch als Verteilungsfunktion (PDF) dargestellt werden, in der die Eintritts-Wahrscheinlichkeiten pro Kategorie aufgezeigt sind. Als Integral über die PDF erhält man die Kumulative Verteilungsfunktion (CDF). Die letzte Kategorie der CDF hat folglich per Definition immer den Wert 1. Um eine Aussage über die Qualität einer Vorhersage machen zu

können, muss der Vergleichswert, hier die effektive Durchschnittstemperatur der betreffenden Periode, in vergleichbarer Form vorliegen, das heisst, als CDF mit gleicher Kategorien-Zahl. Es lässt sich auch mit lediglich einem Wert eine PDF und daraus eine CDF erstellen. Der  $RPS$  definiert sich nun aus dem Quadrate der Differenz dieser beiden Kumulativen Verteilungsfunktionen.

$$RPS = \sum_{j=1}^K (F_j - O_j)^2 \quad (11)$$

$F_j$  steht für den Wert der prognostizierten CDF in der j-ten Kategorie und  $O_j$  für die entsprechende Beobachtung (Observation).  $K$  ist die Anzahl der Kategorien.

In der Regel wird der  $RPS$  als Mittel über  $n$  Vorhersage-Beobachtungspaare bestimmt:

$$\overline{RPS} = \frac{1}{n} \sum_{k=1}^n RPS_k \quad (12)$$

Da die Werte der beiden Funktionen in der obersten Kategorie jeweils 1 betragen, ist die entsprechende Differenz 0, so dass der größtmögliche  $RPS$ -Wert  $K - 1$  ist. Im betrachteten Fall ist  $K = 3$  ( $K = \text{Anzahl Kategorien}$ ) und damit die Spannweite des  $RPS$ -Wertes mit 0 bis 2 definiert (Wilks, 1995).

#### 4.4.2 Ranked Probability Skill Score ( $RPSS$ )

Die Güte einer Vorhersage wird in der Regel als Skill Score formuliert, also die prozentuale Verbesserung, die gegenüber einer Referenzstrategie erzielt wird. Als Referenz bietet sich das „Raten“ auf der Basis der bestehenden Klimatologie an, das heisst eine Vorhersage, bei der die Wahrscheinlichkeiten für alle drei Kategorien gleich  $\frac{1}{3}$  ist. Der  $RPS$  kann nun folgendermassen als Skill Score ( $RPSS$ ) formuliert werden (Wilks, 1995):

$$RPSS = 1 - \frac{\overline{RPS}}{\overline{RPS}_{clim}} \quad (13)$$

$RPS_{clim}$  bezeichnet dabei den  $RPS$  der klimatologischen Referenz-Vorhersage. Ein  $RPSS$  von 1 steht für eine perfekte Vorhersage, hingegen bedeuten Werte von 0 oder kleiner, dass keine Verbesserung gegenüber der Klimatologie erzielt worden ist.

#### 4.4.3 Ranked Probability Skill Score Debaised ( $RPSS_D$ )

Der  $RPSS$  ist ein geeigneter Skill Score, da er von der Form der betrachteten Wahrscheinlichkeitsverteilung abhängt. Er zeigt jedoch einen negativen systematischen Fehler (Bias) für kleine Ensemble-Größen (Müller, Doblas-Reyes & Liniger, 2005). Diesem Fehler kann mit einem Korrektur-Term  $C$  Rechnung getragen werden. Die korrigierte Formel (debaised) lautet (Weigel, Liniger & Appenzeller, 2006):

$$RPSS_D = 1 - \frac{\overline{RPS}}{RPS_{dim} + C} \quad (14)$$

## 5 Resultate

### 5.1 Sommerprognose des Bööggs

Untersucht wurde der Zusammenhang zwischen der Brennzeit des Bööggs für die Jahre 1965 bis 2005 und der mittleren Sommertemperatur sowie der Anzahl an Sommer- und Hitzetagen.

Die Brennzeiten des Bööggs stammen aus einem Artikel des Tagesanzeigers über die Sommerprognose des Bööggs (Arnet, 2005). Berücksichtigt wurden die Jahre 1965 bis 2005. Die Daten für die mittlere Sommertemperatur, die Anzahl Sommer- sowie Hitzetage von der Messstation Zürich-MeteoSchweiz (Fluntern) sind aus der Klimadatenbank (DWH) der MeteoSchweiz entnommen und sind zusammen mit der Brennzeit des Bööggs im Appendix A.1 aufgeführt. Übersteigt die Temperatur im Tagesverlauf die 25°C-Marke, so wird von einem Sommertag gesprochen; wird sogar die 30°C-Marke überschritten, gilt der Tag als Hitzetag. Die Daten der saisonalen Vorhersagen stammen auch von der MeteoSchweiz und sind mit vorgängig beschriebenem Modell berechnet worden.

In den Abbildungen 4 - 6 sind die Brennzeiten des Bööggs gegen die der Sommerindikatoren aufgetragen. Es wurde jeweils eine Regression durchgeführt und die statistischen Vergleichsgrößen berechnet (siehe Kapitel 4.2 und 4.3). Man erkennt, dass die Regressionsgeraden eine negative Steigung haben, was impliziert, dass der Sommer mit kürzerer Brennzeit wärmer wird. Aber der Zusammenhang ist bei keiner der Abbildungen signifikant, da alle  $p$ -Werte deutlich grösser als 0.05 sind und die  $R^2$ -Werte nahe bei 0 liegen.

#### Einfluss des Hitzesommers 2003

In den Abbildungen 4 - 6 fällt auf, dass sich jeweils ein Punkt (rot) deutlich von der Punktwolke abhebt. Dabei handelt es sich um den Hitzesommer 2003, der sowohl bezüglich der mittleren Sommertemperatur (21.7°C) als auch bezüglich der Anzahl an Sommer- und Hitzetagen (73 beziehungsweise 27) ein Extremereignis darstellt. In diesem Jahr hat der Böögg zufälligerweise nur kurz gebrannt. Da Regressionen sehr empfindlich von solchen „Ausreissern“ (outlier) abhängen, wird im folgenden der Einfluss dieses Extremereignisses untersucht. Die Abbildungen 7 - 9 zeigen sogenannte Cook's Distance Plots zu den Regressionen der Abbildungen 4 - 6. Diese geben an, welche Punkte den jeweils grössten Einfluss

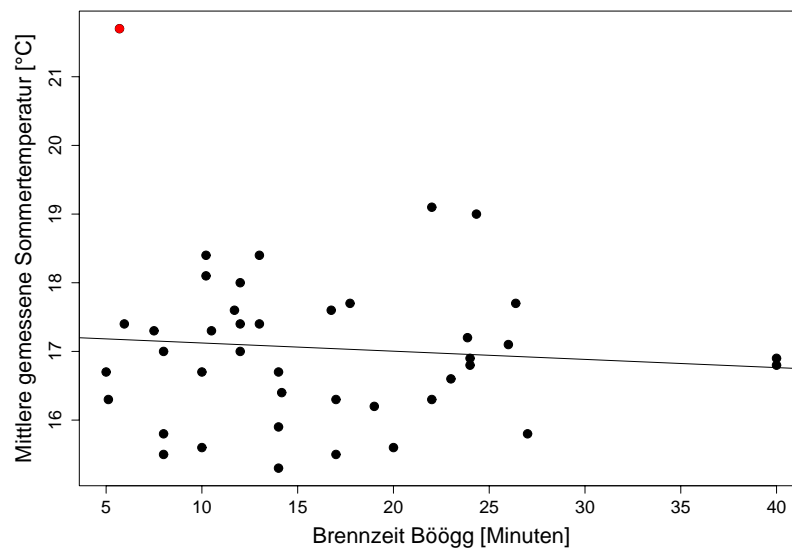


Abbildung 4: Mittlere gemessene Sommertemperatur in Abhängigkeit von der Brennzeit des Bööggs mit linearer Regression. Der Hitzesommer 2003 ist in roter Farbe dargestellt.

Statistische Auswertung:  $y = 17.242 - 0.012x$ ,  $p$ -Wert = 0.599,  $R^2 = 0.0071$

auf die Regression haben (Crawley, 2005). Man erkennt, dass der grösste Einfluss jeweils vom Punkt 3 ausgeht, was genau dem Hitzesommer 2003 entspricht.

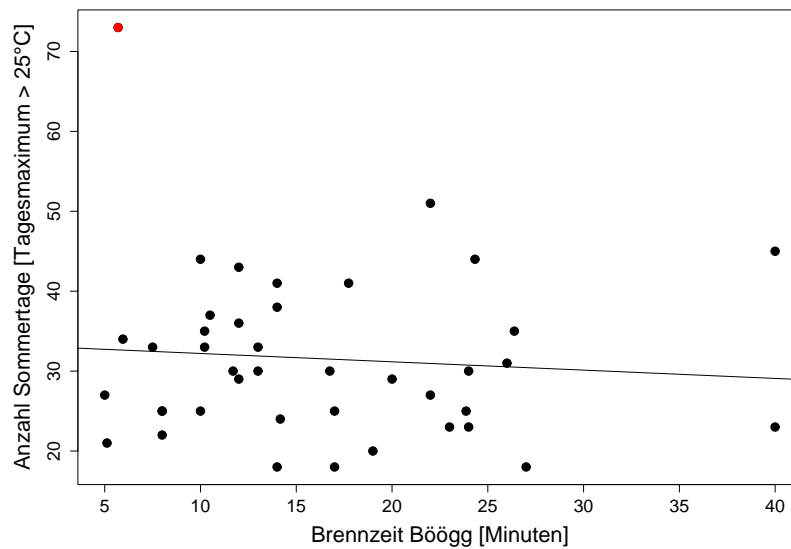


Abbildung 5: Anzahl Sommertage in Abhängigkeit von der Brennzeit des Bööggs mit linearer Regression. Der Hitzesommer 2003 ist in roter Farbe dargestellt. Statistische Auswertung:  $y = 33.247 - 0.104x$ ,  $p$ -Wert = 0.604,  $R^2 = 0.0070$

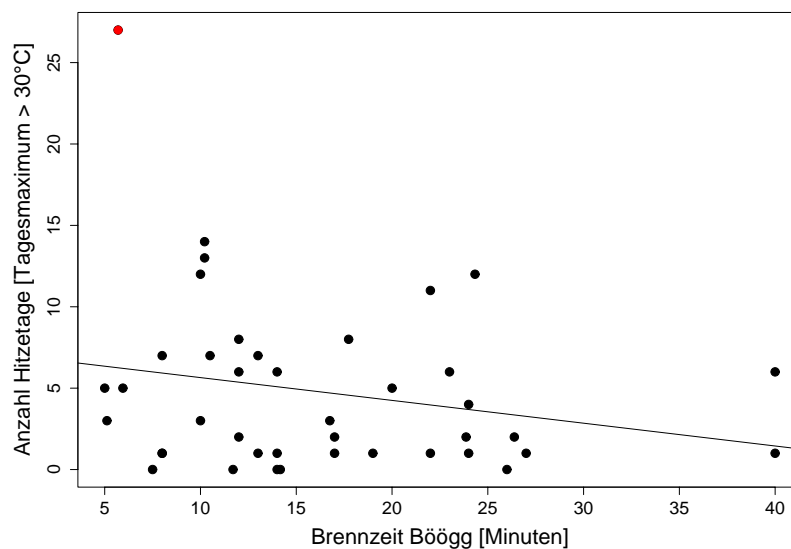


Abbildung 6: Anzahl Hitzetage in Abhängigkeit von der Brennzeit des Bööggs mit linearer Regression. Der Hitzesommer 2003 ist in roter Farbe dargestellt. Statistische Auswertung:  $y = 7.049 - 0.140x$ ,  $p$ -Wert = 0.161,  $R^2 = 0.0499$

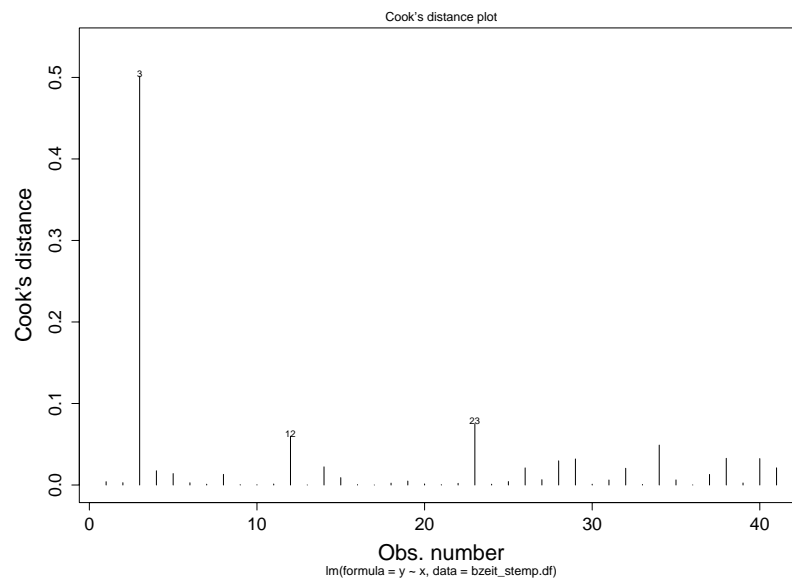


Abbildung 7: Angabe der Stärke des Einflusses der einzelnen Punkte zur Regression in Grafik 4, welche die Abhängigkeit der durchschnittlichen Sommertemperatur von der Brennzeit des Bööggs darstellt.

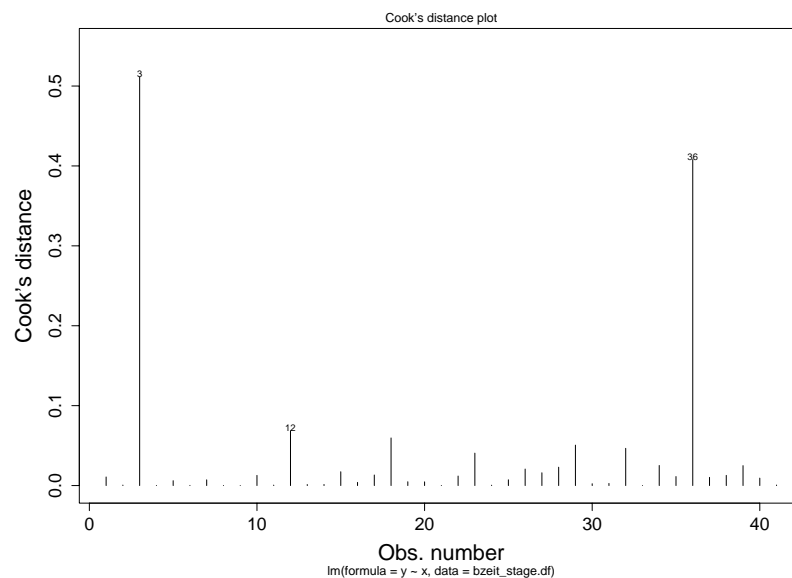


Abbildung 8: Angabe der Stärke des Einflusses der einzelnen Punkte zur Regression in Grafik 5, welche die Abhängigkeit der Anzahl Sommertage von der Brennzeit des Bööggs darstellt.

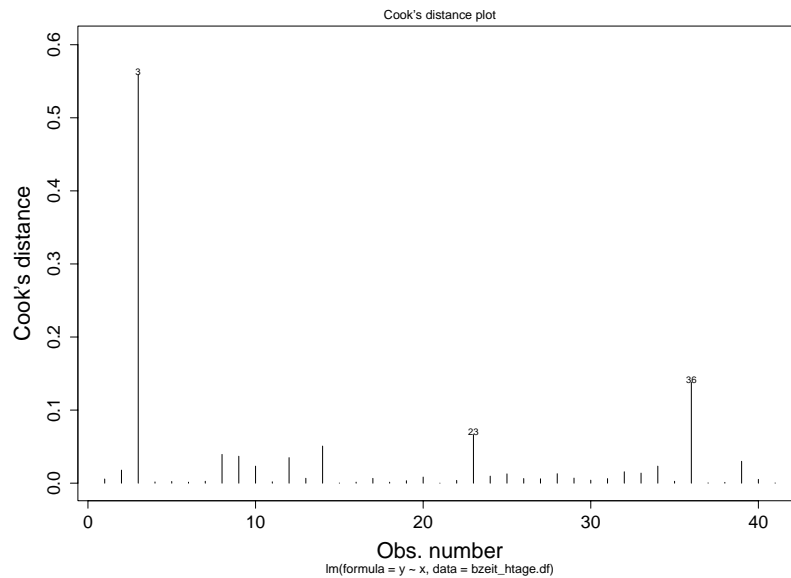


Abbildung 9: Angabe der Stärke des Einflusses der einzelnen Punkte zur Regression in Grafik 6, welche die Abhängigkeit der Anzahl Hitzetage von der Brennzeit des Bööggs darstellt.

Zur Demonstration des starken Einflusses des Hitzesommers 2003 wurde die oben beschriebenen Regressionen (Abbildungen 4 - 6) noch einmal ohne den Sommer 2003, das heisst ohne den Punkt 3, durchgeführt. Dies ist in den Abbildungen 10 - 12 gezeigt.

Man erkennt in allen drei Fällen, dass sich die Steigung der Regressionsgeraden geändert hat. In den Abbildungen 10 und 11 ändert sich sogar ihr Vorzeichen. Insbesondere fällt auf, dass die Korrelationen noch weiter von einem statistisch signifikanten Resultat entfernt sind als mit dem Sommer 2003. Die  $p$ -Werte liegen bei 0.756, 0.741 und 0.445 (verglichen mit den  $p$ -Werten von 0.599, 0.604 und 0.161 aus den Abbildungen 4 - 6) und die  $R^2$ -Werte bei 0.0026, 0.0029 und 0.154 (verglichen mit den  $R^2$  von 0.0071, 0.0070 und 0.0499 aus den Abbildungen 4 - 6). Die Regressionsgeraden aller Werte sind schwarz dargestellt, die neue Regressionsgerade ohne Berücksichtigung des Sommers 2003 hat die Farbe rot. Zusammenfassend lässt sich also sagen, dass es keinen statistischen Zusammenhang zwischen der Brennzeit des Bööggs und der „Qualität“ des Sommers gibt. Diese Schlussfolgerung wird noch deutlicher, wenn der Sommer 2003 aus der Ana-

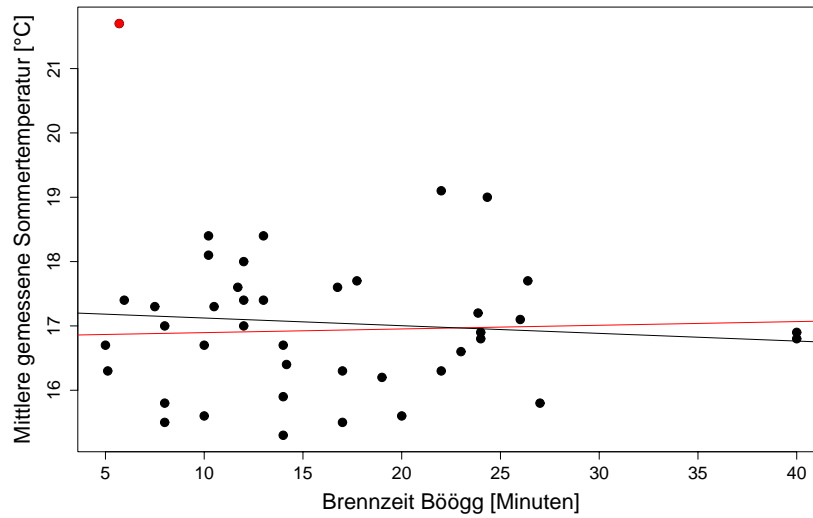


Abbildung 10: Mittlere gemessene Sommertemperatur in Abhängigkeit von der Brennzeit des Bööggs. Lineare Regression mit (schwarz) und ohne (rot) den Sommer 2003.

Statistische Auswertung:  $y = 16.830 + 0.006x$ ,  $p$ -Wert = 0.756,  $R^2 = 0.0026$

lyse ausgeschlossen wird. Im Folgenden wird nun die saisonale Sommerprognose der MeteoSchweiz untersucht.

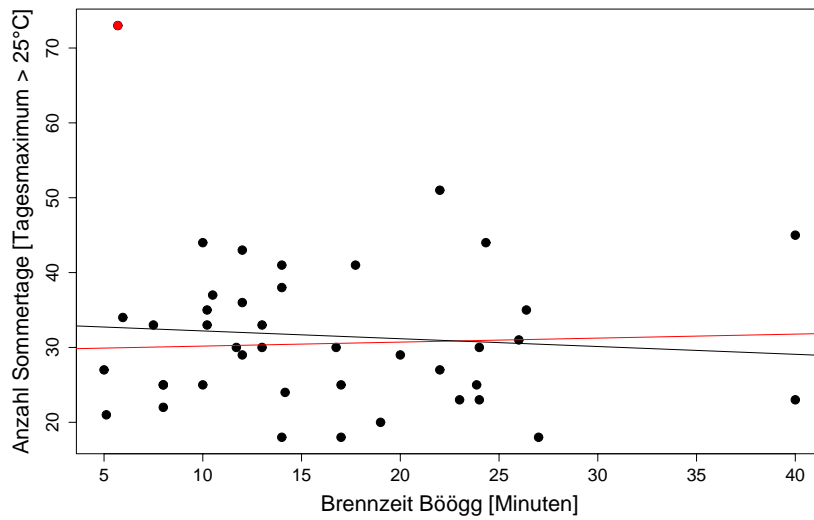


Abbildung 11: Anzahl Sommertage in Abhängigkeit von der Brennzeit des Bööggs. Lineare Regression mit (schwarz) und ohne (rot) den Sommer 2003. Statistische Auswertung:  $y = 29.647 + 0.053x$ ,  $p$ -Wert = 0.741,  $R^2 = 0.0029$

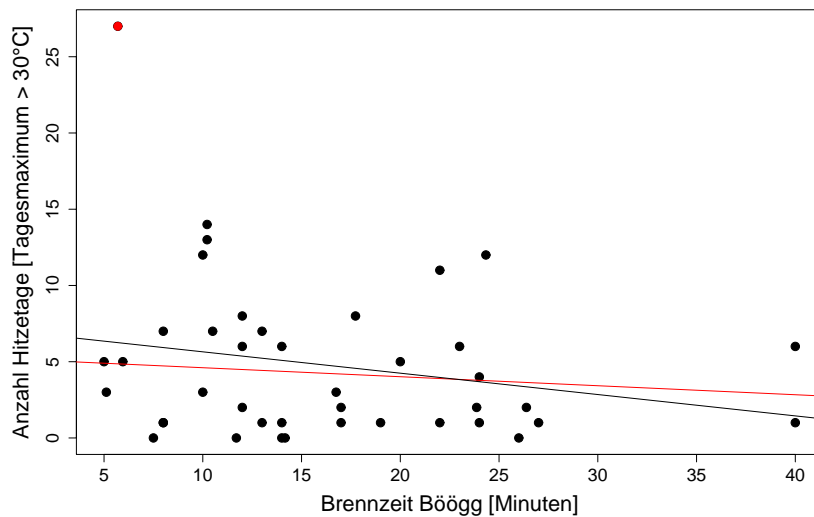


Abbildung 12: Anzahl Hitzetage in Abhängigkeit von der Brennzeit des Bööggs. Lineare Regression mit (schwarz) und ohne (rot) den Sommer 2003 (schwarz). Statistische Auswertung:  $y = 5.197 - 0.059x$ ,  $p$ -Wert = 0.445,  $R^2 = 0.0154$

## 5.2 Prognose mit dem dynamischen Klimamodell des ECMWF

Die Ensemble-Vorhersage wurde mit der gemessenen Temperatur des jeweiligen Sommers verglichen. Für die Auswertung der saisonalen Vorhersage mit dem ECMWF System 2 wurde nur der Zeitraum 1965-2001 berücksichtigt. Die Daten stammen aus der Datenbank des DEMETER-Projekts (Palmer & 24 Co-Authors, 2004), welches 2001 abgeschlossen wurde. Dabei handelt es sich um eine Sammlung von Hindcasts, die für Modell-Vergleich-Studien entwickelt wurden. Der DEMETER-Datensatz wird hier der operationellen Version des ECMWF Systems 2 vorgezogen, da Hindcasts für letztere nur ab 1987 vorliegen. Auf eine Kombination der beiden Datensätze wurde verzichtet, da sie sich in ihren Rand- und Anfangsbedingungen etwas unterscheiden, was die Vergleichbarkeit limitiert. Die DEMETER-Läufe starteten jeweils am 1. Mai. Ihre Ensembles bestehen aus 9 Members - im Gegensatz zur operationellen Version des System 2, welche 40 Ensemble-Members umfasst. Da das Interesse an der Korrelation mit gemessenen Daten im Vordergrund stand, wurde auf eine Kalibrierung der Modelldaten verzichtet.

In Abbildung 13 ist die mittlere gemessene Sommertemperatur gegen die neun Ensemble-Members sowie das entsprechende Ensemble-Mittel aufgetragen. Die einzelnen Ensemble-Vorhersagen sind als rote Punkte gekennzeichnet, die zugehörigen Ensemble-Mittelwerte als schwarze Punkte. Deutlich zu erkennen ist die grosse Streuung innerhalb einer Ensemble-Vorhersage. In diesem Abschnitt wird nur noch das Ensemble-Mittel betrachtet, um eine Vergleichbarkeit mit dem Böögg zu ermöglichen und die statistische Auswertung zu erleichtern.

Das Mittel der Ensemble-Vorhersage wurde mit der gemessenen Temperatur des jeweiligen Sommers verglichen (siehe Abbildung 14) und auf deren Signifikanz geprüft. Der Zusammenhang zwischen gemessener Temperatur des Sommers und der vorhergesagten Temperatur im Ensemble-Mittel ist statistisch signifikant, die Nullhypothese kann mit einem  $p$ -Wert von 0.0016 verworfen werden, was bedeutet, dass es eine klare Korrelation zwischen Vorhersage und Beobachtung gibt. Der  $R^2$ -Wert von 0.2497 lässt aber trotz des kleinen  $p$ -Wertes darauf schliessen, dass ein Grossteil der Varianz vom Forecast nicht abgedeckt ist.

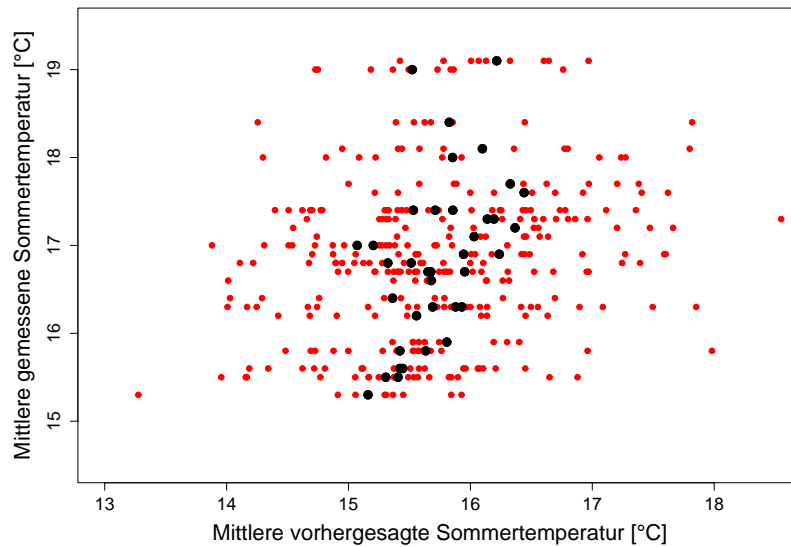


Abbildung 13: Mittlere gemessene Sommertemperatur in Abhängigkeit von der mittleren Sommertemperatur der Ensemble-Vorhersagen für die Jahre 1965-2001. Die Werte der einzelnen Ensemble-Teilnehmer sind dabei rot dargestellt, die Ensemble-Mittelwerte schwarz.

### 5.3 Vergleich zwischen der saisonalen Vorhersage der MeteoSchweiz und der Sommerprognose des Bööggs

#### 5.3.1 Voraussetzung

Die Vorhersage des Bööggs ist mit drei Parametern verglichen worden, was durch die „Definition“ der Bööggprognose gefordert ist. Der Böögg macht nämlich eine Aussage über die „Schönheit“ des Sommers, was sowohl mit der mittleren Sommertemperatur, als auch mit der Anzahl Sommer- und Hitztagen geprüft werden kann. Der Ensemble Forecast der MeteoSchweiz bezieht sich jedoch allein auf die mittlere Temperatur des Sommers, so dass nur diese untersucht werden kann. Eine statistische Betrachtung der Beziehung zwischen mittlerer Sommertemperatur und der Anzahl an Sommer- beziehungsweise Hitztagen macht deutlich, dass diese Beschränkung gerechtfertigt ist, da die drei Grössen alle statistisch stark signifikant von einander abhängen (vergleiche Abbildungen 18 und 19 im Appendix A.2.1). Sowohl die Korrelationen der mittleren Sommertemperatur mit der Anzahl Sommertage als auch mit der Anzahl Hitztage ergibt verschwindend kleine  $p$ -Werte ( $5.70 * 10^{-10}$  beziehungsweise  $6.25 * 10^{-8}$ ).

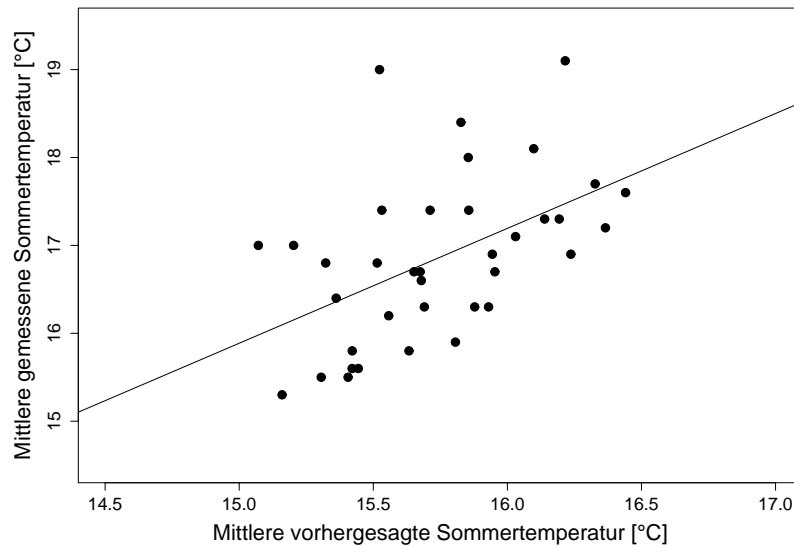


Abbildung 14: Mittlere gemessene Sommertemperatur in Abhängigkeit von der mittleren Sommertemperatur der Vorhersage (Ensemble-Mittelwerte) mit linearer Regression für die Jahre 1965-2001.

Statistische Auswertung:  $y = -3.714 + 1.307x$ ,  $p$ -Wert = 0.0016,  $R^2 = 0.2497$

### 5.3.2 Ergebnisse der $RPSS_D$ Analyse

Da die Betrachtung des Ensemble-Mittels nicht die gesamte Information einer Wahrscheinlichkeitsvorhersage berücksichtigt, nämlich die Form der PDF, soll in einem zweiten Schritt die Vorhersagegüte mit Hilfe des  $RPSS_D$  Skill Scores untersucht werden. Dafür müssen Beobachtungen und Vorhersage in drei gleichwahrscheinliche Kategorien (siehe Kapitel 4.4) eingeteilt werden. Die Kategorie-Größen, die sogenannten Terzilen, werden aus der Menge aller Beobachtungen und Vorhersagen bestimmt. Auch der Böögg kann mit dem  $RPSS_D$  evaluiert werden; man muss ihn als Ensemble-System mit einem Member betrachten. Analog wie bei der dynamischen saisonalen Vorhersage sind für die mittlere beobachtete Sommertemperatur und Brennzeit die Terzilen zu bestimmen. Bei der Analyse des Bööggs werden alle 41 Jahre betrachtet, bei der dynamischen saisonalen Vorhersage jedoch nur 37, da der DEMETER-Datensatz nur bis 2001 reicht.

Die Terzilen der mittleren Sommertemperatur unterscheiden sich also, weil jeweils eine unterschiedliche Anzahl an Jahren betrachtet wurde. In den Abbildungen 15 und 16 sind die Terzilen für die  $RPSS_D$ -Analyse der beiden Vorhersagen dargestellt.

		Terzilen	
		1. Terzil	2. Terzil
Skala	Vorhersage Böögg in Minuten	11.796	18.595
	Mittlere Sommertemperatur in °C	16.632	17.369

Abbildung 15: Terzilen für  $RPSS_D$ -Analyse der Vorhersage des Bööggs

		Terzilen	
		1. Terzil	2. Terzil
Skala	Mittlere Sommertemperatur des Forecasts in °C	15.400	16.014
	Mittlere Sommertemperatur in °C	16.398	17.201

Abbildung 16: Terzilen für  $RPSS_D$ -Analyse der Vorhersage der dynamischen Saisonalen Vorhersage der MeteoSchweiz

Es folgen die Ergebnisse der  $RPSS_D$  Analyse für die beiden oben beschriebenen Vorhersage Methoden:

Saisonale Vorhersage: 0.1867

Sommerprognose des Böögg: -0.1455

Ein  $RPSS_D$ -Wert von 1 steht für eine perfekte Vorhersage, im Gegensatz dazu bedeutet ein Ergebnis von 0 oder kleiner als 0, dass die Vorhersage nicht besser ist, als wenn auf Basis der langjährigen Klimatologie geraten wird. Schliesslich sei noch angemerkt, dass eine Prüfung des Einflusses des Hitzesommers 2003 hier nicht durchgeführt wurde, da jedes Jahr das gleiche Gewicht trägt.

## 6 Diskussion

### 6.1 Sommerprognose des Bööggs

Wie erwartet, lässt sich kein statistisch signifikanter Zusammenhang zwischen der Brennzeit des Bööggs und der durchschnittlichen Sommertemperatur beziehungsweise der Anzahl an Sommer- sowie Hitzetagen feststellen. Die  $p$ -Werte werden stets grösser als 0.1605 und die  $R^2$ -Werte kleiner als 0.04986. Konsistent mit diesem Ergebnis ist auch der  $RPSS_D$ -Wert von -0.1455, da er zeigt, dass die Böögg-Vorhersagen keinesfalls besser sind, als wenn schlichtweg geraten wird.

Wie soll denn auch ein brennender Wattermann auf einem Reisighaufen Aussagen über den kommenden Sommer machen können? Wenn auch der Böögg keine guten Vorhersagen für den Sommer liefert, gibt es doch einige Faktoren, welche ihrerseits die Brennzeit des Bööggs beeinflussen und so für dessen Vorhersagen verantwortlich gemacht werden können. Von grosser Bedeutung sind die eingesetzten Brandbeschleuniger, welche starken Einfluss auf die Brennzeit haben, was „den Tod aller zuverlässigen Daten“ bedeutet (Arnet, 2005). Ein weiterer Faktor ist die Lagerung des Holzes, welche entscheidend für dessen Feuchtigkeitszustand ist. Dieser hängt ausserdem stark vom Wetter am Sechseläuten Tag ab, denn ein verregneter Reisighaufen brennt schlechter als ein trockener. Das Holz kann trotz Abdeckung vom Regen an den Vortagen des Festes und am Sechseläuten selber durchnässt werden. In den Jahren 1983 bis 1985 war dies der Fall und auch die Brennzeiten fielen mit 24.33, 23 und 24 Minuten überdurchschnittlich lange aus. Hingegen herrschte beispielsweise im Jahr 1993 am Sechseläuten eine warme und niederschlagsfreie Periode, so dass der Böögg mit nur 12 Minuten eher schnell dem Feuertod erlag (Primault, 2005).

Obwohl die Sommerprognose des Bööggs wissenschaftlich nicht gestützt werden kann, ist sie doch bei den Zünften, allen anderen Anhängern des Sechseläutens und allgemein den Einwohnern von Zürich überaus beliebt. Ob sie nun Sinn macht oder nicht, sie ist vom Sechseläutenfest nicht wegzudenken.

### 6.2 Saisonale Vorhersage der MeteoSchweiz

Die Prüfung eines dynamischen saisonalen Vorhersagemodells anhand von Stationsmessdaten, hier beispielsweise der Station Zürich-MeteoSchweiz (Fluntern),

war bei der MeteoSchweiz bis jetzt nicht üblich. Um eine breite und konsistente Abdeckung zu erhalten, werden normalerweise sogenannte Reanalyse-Daten verwendet, die in Modellgitter-Auflösung vorliegen und sowohl Messwerte wie auch Modellinformation enthalten. Insbesondere sind Daten einer einzigen Station nicht repräsentativ zur Prüfung genereller saisonaler Vorhersage-Güte, da lokale Effekte dominieren können. Hier wurde jedoch der Stationsansatz gewählt, um das Modell mit dem Böögg vergleichbar zu machen. Schliesslich gilt die Vorhersage des Bööggs nur für Zürich.

Die saisonale Vorhersage der MeteoSchweiz hat mit einem statistisch signifikanten Testresultat sowie einem  $R^2$  von 0.24080 ein besseres Ergebnis erzielt. Das Resultat ist bescheiden und nicht „sensationell“, was jedoch aufgrund der vielen Unsicherheiten auch nicht erwartet werden kann (siehe Kapitel 3.3).

### **6.3 Vergleich zwischen der saisonalen Vorhersage der MeteoSchweiz und der Sommerprognose des Bööggs**

Die Analyse hat gezeigt, dass das dynamische Modell deutlich besser abschneidet als der Böögg. Die Korrelation zwischen Ensemble-Mittel der Vorhersage und den tatsächlich eingetretenen Werten hat einen  $p$ -Wert von 0.002 und ein  $R^2$  von 0.2408 ergeben. Das heisst, die Korrelation ist zwar nicht sehr hoch, aber doch statistisch signifikant. Damit konsistent ist der  $RPSS_D$ -Wert von 0.1867, der zwar weit vom perfekten Wert 1 entfernt ist, aber doch deutlich über 0 liegt. Das Modell ist also besser als einfaches Raten.

## 7 Ausblick

### 7.1 Sommerprognose des Bööggs

Obwohl die Sommerprognose des Bööggs wissenschaftlich nicht gestützt werden kann, wird am Sechseläuten in Zukunft wohl kaum auf dieses Orakel verzichtet werden. Es ist zwar allgemein bekannt, dass der Böögg über keine gute Vorhersage-Qualitäten verfügt, jedoch wird der Sommer jedes Jahr mit Spannung erwartet, um zu sehen, ob der Böögg nicht doch Recht hatte.

Ein weiterer Ansatz zur Untersuchung dieser Vorhersage wäre die Analyse des Brennholzes und dessen Feuchtigkeit sowie der Art, wie der Reisighaufen aufgebaut wird. Zusätzlich hat das Wetter am Sechseläuten-Tag und an den Vortagen einen gewissen Einfluss darauf, wie schnell der Böögg dem Feuertod erliegt (Primault, 2005). Aus diesen Parametern könnte man sicherlich die Brennzeit des Bööggs besser abschätzen, aber ob sie auch Aufschluss über den kommenden Sommer geben, ist fraglich. Nicht zu vergessen sind auch die Brandbeschleuniger. Werden jedes Jahr gleich viele an der gleichen Stelle im Böögg eingesetzt? Vielleicht hätte der Böögg ja öfter Recht, wenn man auf diese verzichten würde?

### 7.2 Saisonale Vorhersage der Meteo Schweiz

Die statistische Signifikanz sowie der positive  $RPSS_D$ -Wert sind für die saisonale Vorhersage ein gutes Ergebnis, wenn sie auch zeigen, dass man von einer sehr guten Prognose noch weit entfernt ist. Das gilt erst recht, wenn man berücksichtigt, dass die saisonale Vorhersage in Mitteleuropa für die Sommermonate am besten funktioniert, da die Wetterlagen nicht so unberechenbar sind wie beispielsweise im Winter. Also müsste der Winter um einiges schlechter abschneiden als der Sommer, was zum Beispiel bei der  $RPSS_D$ -Analyse einem Wert nahe bei 0 gleichkäme. Das würde bedeuten, dass die Prognosen für den Winter nicht viel besser wären als zu raten, analog der Vorhersage des Bööggs.

Aber es gibt Hoffnung: Mit der Verbesserung des weltweiten Messnetzes werden die Anfangsbedingungen immer genauer erfasst, was die saisonale Vorhersage in Zukunft wohl verbessern wird. Zusätzlich nimmt die Rechenleistung stets zu, so dass seit 2002 schon ein Vorhersagesystem mit Ensemble-Grösse 40 im Einsatz ist. Vor allem aber können die Modelle dadurch in immer höherer Auflösung mit

immer besseren Parameterisierungen angewendet werden, was die Vorhersagequalität langfristig verbessern wird.

In der saisonalen Vorhersage steckt also noch ein grosses Potential, welches mit weiterer Forschung und den oben beschriebenen Verbesserungen in der Zukunft sicherlich noch besser genutzt werden kann.

## **Danksagung**

Ganz herzlich möchte ich mich bei Dr. Andreas Weigel und PD Dr. Christof Appenzeller für die wertvolle Unterstützung und gute Betreuung dieser Semesterarbeit bedanken. Ein Dankeschön geht auch an die Meteo Schweiz, die dieses Projekt ermöglicht hat, sowie an Simon Starkl, Hans-Ruedi Schmuki und Daiana Leuenberger für das Korrekturlesen und an alle Personen, welche zum Gelingen dieser Arbeit beigetragen haben.

## Literatur

- Arnet, H. (2005). Vor uns liegen nur 25 Sommertage. *Tages Anzeiger* - [www.tagesanzeiger.ch/dyn/news/zuerich/321700.html](http://www.tagesanzeiger.ch/dyn/news/zuerich/321700.html).
- Baumann, W. (1992). *Zürcher Sechseläuten - Constaffel und die 25 Zünfte*. Zürich: Verlag Zürcher Zeitung.
- Crawley, M. J. (2005). *Statistics - An Introduction using R*. John Wiley and Sons, Ltd.
- Eitle, E. (2003). The Böögg setzt über nach London. *Tages Anzeiger* - [www.tagesanzeiger.ch/dyn/news/zuerich/321700.html](http://www.tagesanzeiger.ch/dyn/news/zuerich/321700.html).
- European Centre for Medium-Range Weather Forecasts. (2003). Seasonal Forecast User Guide. Introduction. [http://www.ecmwf.int/products/forecasts/seasonal/documentation/ch1\\_2.html](http://www.ecmwf.int/products/forecasts/seasonal/documentation/ch1_2.html).
- Gyr, S. F. (1912). *Das Zürcher Sechseläuten*. Orell Füssli.
- Hotz, M. (2004). Klimatologische Einflüsse auf kurzfristige Geschäfte im liberalisierten europäischen Stromhandel. *Semesterarbeit ETH*.
- Liniger, M. A., Schlegel, T. & Bader, S. (2006). Klimaausblick. <http://www.meteoschweiz.ch/web/de/klima/klimaausblick.html>.
- Müller, W. A., Doblas-Reyes, F. J. & Liniger, M. A. (2005). A Debaised Ranked Probability Skill Score to Evaluate Probabilistic Ensemble Forecasts with Small Ensemble Sizes. *J. Clim.*, 18, 1513-1523.
- Palmer, T. N. & 24 Co-Authors. (2004). Development of a European Multimodel Ensemble System for Seasonal-to-Interannual Prediction (DEMETER). *American Meteorological Society*, 85, 853-872.
- Primault, B. (2005). Sechseläuten und Wetter. *Interner Arbeitsbericht*.
- Stahel, W. A. (2002). *Statistische Datenanalyse - Eine Einführung für Naturwissenschaftler* (Bd. 4). Verlag Vieweg.
- Weigel, A. P., Liniger, M. A. & Appenzeller, C. (2006). The Discrete Brier and Ranked Probability Skill Scores. *Monthly Weather Review*, in press.
- Wilks, D. S. (1995). *Statistical Methods in the Atmospheric Sciences*. Academic Press.

## A Appendix

### A.1 Daten

Jahr	mittlere Sommer- temperatur [°C]	Anzahl Sommertage	Anzahl Hitzetage	Brennzeit Böögg [Minuten]
2005	17.7	41	8	17.7
2004	17.6	30	0	11.7
2003	21.7	73	27	5.7
2002	18.4	33	7	13.0
2001	17.7	35	2	26.4
2000	17.6	30	3	16.8
1999	17.2	25	2	23.9
1998	18.1	33	13	10.2
1997	17.3	33	0	7.5
1996	17.0	25	1	8.0
1995	17.4	34	5	6.0
1994	19.1	51	11	22.0
1993	17.0	29	2	12.0
1992	18.4	35	14	10.2
1991	18.0	43	6	12.0
1990	17.3	37	7	10.5
1989	16.9	23	1	24.0
1988	16.9	23	1	40.0
1987	16.3	25	2	17.0
1986	16.7	38	1	14.0
1985	16.8	30	4	24.0
1984	16.6	23	6	23.0
1983	19.0	44	12	24.3
1982	17.4	30	1	13.0
1981	16.4	24	0	14.2
1980	15.5	18	1	17.0
1979	16.2	20	1	19.0
1978	15.3	18	0	14.0
1977	15.8	18	1	27.0
1976	17.4	36	8	12.0
1975	16.3	27	1	22.0
1974	16.3	21	3	5.1
1973	17.1	31	0	26.0
1972	15.5	22	1	8.0
1971	16.7	27	5	5.0
1970	16.8	45	6	40.0
1969	15.9	41	6	14.0
1968	15.8	25	7	8.0
1967	16.7	44	12	10.0
1966	15.6	25	3	10.0
1965	15.6	29	5	20.0

Abbildung 17: Datensammlung mittlere Sommertemperatur, Anzahl Sommertage, Anzahl Hitzetage (MeteoSchweiz, jeweils bezüglich des Zeitraums Juni bis August) und Brennzeit des Bööggs (Arnet, 2005)

## A.2 Grafiken

### A.2.1 Vergleichbarkeit der mittleren Sommertemperatur mit der Anzahl Sommer- und Hitzetage

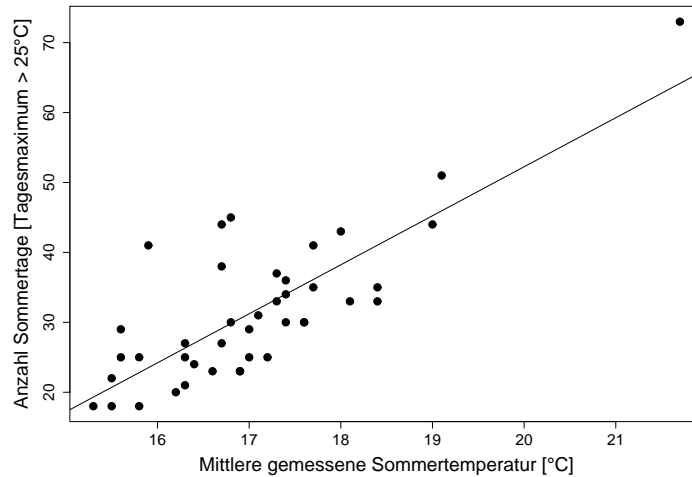


Abbildung 18: Anzahl Sommertage in Abhängigkeit von der mittleren gemessenen Sommertemperatur mit linearer Regression.

Statistische Auswertung:  $p$ -Wert =  $5.696 * 10^{-10}$ ,  $R^2 = 0.6310$

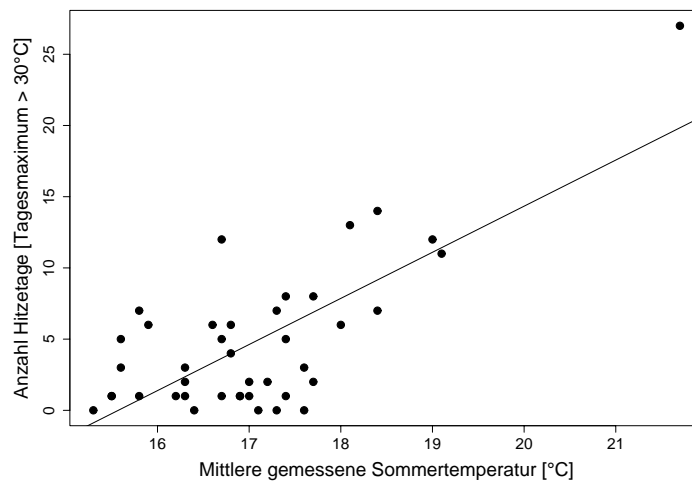


Abbildung 19: Anzahl Hitzetage in Abhängigkeit von der mittleren gemessenen Sommertemperatur mit linearer Regression.

Statistische Auswertung:  $p$ -Wert =  $6.250 * 10^{-8}$ ,  $R^2 = 0.5320$

### **Arbeitsberichte der MeteoSchweiz**

- 212** Z'graggen, L: 2006, Die Maximaltemperaturen im Hitzesommer 2003 und Vergleich zu früheren Extremtemperaturen, 74pp, CHF 75.-
- 211** MeteoSchweiz: 2006, Starkniederschlagsereignis August 2005, 63pp., CHF 72.-
- 210** Buss S, Jäger E and Schmutz C: 2005: Evaluation of turbulence forecasts with the aLMo, 58pp, CHF 70.-
- 209** Schmutz C, Schmuki D, Duding O, Rohling S: 2004, Aeronautical Climatological Information Sion LSGS, 77pp, CHF 25.-
- 208** Schmuki D, Schmutz C, Rohling S: 2004, Aeronautical Climatological Information Grenchen LSZG, 73pp, CHF 24.-
- 207** Moesch M, Zelenka A: 2004, Globalstrahlungsmessungen 1981-2000 im ANETZ, 83pp, CHF 26.-
- 206** Schmutz C, Schmuki D, Rohling S: 2004, Aeronautical Climatological Information St.Gallen LSZR, 78pp, CHF 25.-
- 205** Schmutz C, Schmuki D, Ambrosetti P, Gaia M, Rohling S: 2004, Aeronautical Climatological Information Lugano LSZA, 81pp, CHF 26.-
- 204** Schmuki D, Schmutz C, Rohling S: 2004, Aeronautical Climatological Information Bern LSZB, 80pp, CHF 25.-
- 203** Duding O, Schmuki D, Schmutz C, Rohling S: 2004, Aeronautical Climatological Information Geneva LSGG, 104pp, CHF 31.-
- 202** Bader S: 2004, Tropische Wirbelstürme – Hurricanes – Typhoons – Cyclones, 40pp, 16 Fr.
- 201** Schmutz C, Schmuki D, Rohling S: 2004, Aeronautical Climatological Information Zurich LSZH, 110pp, 34 Fr.
- 200** Bader S: 2004, Die extreme Sommerhitze im aussergewöhnlichen Witterungsjahr 2003, 25pp, 14 Fr.
- 199** Frei T, Dössegger R, Galli G, Ruffieux D: 2002, Konzept Messsysteme 2010 von MeteoSchweiz, 100pp, 32 Fr.
- 198** Kaufmann P: 2002, Swiss Model Simulations for Extreme Rainfall Events on the South Side of the Alps, 40pp, 20 Fr.
- 197** WRC Davos (Ed): 2001, IPC - IX, 25.9. - 13.10.2000, Davos, Switzerland, 100pp, 32 Fr.
- 196** Hächler P et al.: 1999, Der Föhnfall vom April 1993, 139pp, 40 Fr.
- 195** Urfer Ch, Vogt R, 1999, Die Niederschlagsverhältnisse in Basel 1964-1998, 43pp, 40 Fr.
- 194** Courvoisier HW: 1998, Statistik der 24-stündigen Starkniederschläge in der Schweiz 1901-1996, 20pp, 11 Fr.
- 193** Defila C, Vonderach G: 1998, Todesfälle und Wetterlagen in Schaffhausen, 72pp, 25 Fr.
- 192** Maurer H: 1997, Frostprognose in der Schweiz: neue Methode mit automatischen Stationen, 38pp, 16 Fr.
- 191** Schönbächler M: 1996, Objektive Kontrolle der Textprognose SMA OPKO, 31pp, 14 Fr.
- 190** Brändli J: 1996, Statistische Auswertungen von täglichen und monatlichen Verdunstungswerten an 22 Standorten der Schweiz, 52pp, 19 Fr.
- 189** Schneiter D: 1994, SMI contribution to ETEX project in 1994, 24 Fr.

### Veröffentlichungen der MeteoSchweiz

- 73 Scherrer SC: 2006, Interannual climate variability in the European and Alpine region, 132pp, 86 Fr.
- 72 Mathis H: 2005, Impact of Realistic Greenhouse Gas Forcing on Seasonal Forecast Performance, 80pp, 75 Fr.
- 71 Leuenberger D: 2005, High-Resolution Radar Rainfall Assimilation: Exploratory Studies with Latent Heat Nudging, 103pp, 81 Fr.
- 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, 83 Fr.
- 69 Müller WA: 2004, Analysis and Prediction of the European Winter Climate, 115pp, 34Fr.
- 68 Bader S: 2004, Das Schweizer Klima im Trend: Temperatur- und Niederschlagsentwicklung seit 1864, 48pp, 18 Fr.
- 67 Begert M, Seiz G, Schlegel T, Musa M, Baudraz G und Moesch M: 2003, Homogenisierung von Klimamessreihen der Schweiz und Bestimmung der Normwerte 1961-1990, Schlussbericht des Projektes NORM90, 170pp, 40 Fr.
- 66 Schär Christoph, Binder Peter, Richner Hans (Eds.): 2003, International Conference on Alpine Meteorology and MAP Meeting 2003, Extended Abstracts volumes A and B, 580pp, 100 Fr.
- 65 Stübi R: 2002, SONDEX / OZEX campaigns of dual ozone sondes flights: Report on the data analysis, 78pp, 27 Fr.
- 64 Bolliger M: 2002, On the characteristics of heavy precipitation systems observed by Meteosat-6 during the MAP-SOP, 116pp, 36 Fr.
- 63 Favaro G, Jeannet P, Stübi R: 2002, Re-evaluation and trend analysis of the Payerne ozone sounding, 99pp, 33 Fr.
- 62 Bettems JM: 2001, EUCOS impact study using the limited-area non-hydrostatic NWP model in operational use at MeteoSwiss, 17pp, 12 Fr.
- 61 Richner H, et al.: 1999, Grundlagen aerologischer Messungen speziell mittels der Schweizer Sonde SRS 400, 140pp, 42 Fr.
- 60 Gisler O: 1999, Zu r Methodik einer Beschreibung der Entwicklung des linearen Trends der Lufttemperatur über der Schweiz im Zeitabschnitt von 1864 bis 1990, 125pp, 36 Fr.
- 59 Bettems J-M: 1999, The impact of hypothetical wind profiler networks on numerical weather prediction in the Alpine region, 65pp, 25 Fr.
- 58 Baudenbacher, M: 1997, Homogenisierung langer Klimareihen, dargelegt am Beispiel der Lufttemperatur, 181pp, 50 Fr.
- 57 Bosshard, W: 1996, Homogenisierung klimatologischer Zeitreihen, dargelegt am Beispiel der relativen Sonnenscheindauer, 136pp, 38 Fr.
- 56 Schraff, C: 1996, Data Assimilation and Mesoscale Weather Prediction: A Study with a Forecast Model for the Alpine Region, 138pp, 38 Fr.
- 55 Wolfensberger, H: 1994, Chronik der Totalisatoren, Handbuch zu den Niederschlags-Totalisatoren, 390pp, 78 Fr.