

# 1. Einleitung

Seit jeher besteht bei der Menschheit ein großes Interesse am Wetter und dessen Verlauf. Ob im Alltagsleben, bei freizeithlichen Betätigungen oder zum Zwecke der Urlaubsplanung, überall ist man den Gegebenheiten des Wetters ausgesetzt und benutzt es deshalb gern als erstes Gesprächsthema. Schon in früher Vergangenheit war es für viele Menschen nicht nur nützlich, sondern sogar überlebensnotwendig, den Verlauf des Wetters zu kennen, um so z.B. den Feldanbau darauf vorbereiten zu können, die Ernte vor Schäden zu bewahren oder sich vor Unwettern und Naturkatastrophen rechtzeitig zu schützen. Dabei genügte aber meist nicht nur das Wissen, wie sich das Wetter die nächsten Tage entwickelt, sondern auch, was für die kommenden Wochen und Monate zu erwarten ist. Gerade heutzutage ist die Kenntnis des langfristigen Witterungsverlaufs für viele Zweige der Industrie und Wirtschaft zur Ertragssteigerung von großer Bedeutung. Vor allem in der Land- und Forstwirtschaft, in der Textilindustrie, sowie bei Getränkeherstellern und Reiseunternehmen ist der Bedarf an langfristigen, saisonalen Vorhersagen so groß, dass viele Firmen und Konzerne bereit sind, finanzielle Mittel darin zu investieren. Auch die Medien und weite Teile der Öffentlichkeit verfolgen Langfristprognosen stets aufmerksam, was man des öfteren an entsprechenden Artikeln und Diskussionen in Zeitungen oder Zeitschriften sieht.

Der Autor dieser Arbeit, LARS THIEME, wurde am 31.07.1979 in Leipzig geboren und beschäftigt sich schon seit frühester Kindheit mit dem Wetter. Da er immer wissen wollte, wie sich das Wetter bzw. die Witterung über einen längeren Zeitraum gestalten wird, ob es einen kalten, schneereichen Winter gibt, oder ob dieser so mild verläuft, wie oftmals in den letzten Jahren, kam er zum Bereich der langfristigen Witterungsprognosen. Ein hochkomplexes und bisher leider noch wenig beachtetes Gebiet, welches immer noch in den Kinderschuhen steckt und das der Verfasser nun seit 1996 intensiv erforscht. Begonnen hat er seine Untersuchungen mit dem Verhalten der North Atlantic Oscillation und deren Auswirkung auf die Witterung Mitteleuropas, woraus sich später ein eigenes Modell zur langfristigen Vorhersage entwickelte. Vor allem die Forschungen und Ergebnisse von FRANZ BAUR, der als ein Pionier der Langfristprognose zählt und eine Vielzahl von statistischen Witterungsregeln veröffentlicht hat, versucht der Autor fortzusetzen und mit in seine Prognosen einzubeziehen. Diese Vorhersagen sind seit Juni 1997 online, werden regelmäßig zum Monatswechsel aktualisiert und sind unter der URL [www.langfristwetter.com](http://www.langfristwetter.com) abrufbar.

Tägliche Besucherzahlen von ca. 200 bis 250, in Spitzenzeiten sogar bis 600, machen das große Interesse in der Bevölkerung noch einmal deutlich.



**Abb. 1:** Screenshot der Homepage des Autors

Als Folge der großen Resonanz kamen auch Anfragen aus Rundfunk, Fernsehen oder von Unternehmen, die Auskünfte zum bevorstehenden Witterungsverlauf haben wollten. Nicht selten ergaben sich daraus persönliche Treffen mit anschließenden Interviews. Mediale Höhepunkte des Autors waren bisher TV-Interviews des Nachrichtensenders N-TV im Juli 2000, sowie des MDR im Dezember 2005. Daneben gab es noch einige Radio-Interviews u.a. im Radio Solingen, sowie diverse Artikel in Lokalzeitungen.



**Abb. 2:** N-TV-Interview am 21.7.2000



**Abb. 3:** MDR-Interview am 20.12.2005

Problematisch in der Medienkultur ist, dass gern zu detailreiche Informationen verlangt werden, die aber das anspruchsvolle, nicht unumstrittene Gebiet kaum liefern kann. Ein Angebot des Senders RTL im Herbst 2003 für regelmäßige Langfristprognosen kam daher wegen jener differenzierten Vorstellungen nicht zustande.

Da sich das Gebiet der langfristigen Witterungsprognosen trotz reger Bemühungen einzelner Personen und Institute immer noch in den Anfängen der Entwicklung befindet, war es nicht einfach, entsprechende Literatur darüber ausfindig zu machen. Dennoch ist es ein besonderer Anreiz, sich in Form dieser Arbeit mit der Thematik auseinander zu setzen und eines der schwierigsten Fachbereiche der Meteorologie näher zu beleuchten.

Neben einen Einblick in die geschichtliche Entwicklung der letzten 100 Jahre soll die Arbeit insbesondere die Möglichkeiten und Methoden langfristiger Prognosen anhand praktischer Beispiele wiedergeben, Unterschiede zu den alltäglichen Wettervorhersagen deutlich machen, aber auch Probleme und Grenzen aufzeigen, die bis heute nicht überwunden werden konnten.

## 2. Theoretische Grundlagen

### 2.1 Allgemeines

Bei Wettervorhersagen unterscheidet man allgemein zwischen kurz- mittel- und langfristigen Prognosen.

Als kurzfristige Prognosen werden solche bis zu einem Zeitraum von 72 Stunden bezeichnet. Hier wird versucht, mit Hilfe numerischer Vorhersagekarten den Wetterablauf für einen bestimmten Ort oder eine Region in den nächsten drei Tagen vorherzusagen. Numerische Analysen enthalten Daten für Temperatur, Luftdruck, Luftfeuchte, Windkomponenten usw. am Boden und in verschiedenen Höhenschichten. Über physikalische Gesetzmäßigkeiten und mathematische Gleichungen wird nun versucht, die Zustände bzw. Änderungen der einzelnen Elemente für die nächsten 12, 24, 36 Stunden usw. zu simulieren. Daraus ergeben sich Analysekarten, mit deren Hilfe eine konkrete Wettervorhersage für die verschiedenen Regionen erstellt wird. Dabei werden heutzutage vor allem bei der 24 Stunden-Prognose Eintreffwahrscheinlichkeiten von 88 % erreicht.

Die mittelfristigen Prognosen umfassen Zeiträume vom dritten bis zum zehnten Tag und werden wie die Kurzfristprognosen über das numerische Vorhersageprinzip erstellt. Da hierbei der prognostische Fehler pro Simulation immer stärker ansteigt, ist eine sinnvolle Nutzung dieses Verfahrens nur bis zum zehnten Tag möglich, wobei allerdings am fünften Tag nur noch eine Eintreffwahrscheinlichkeit von knapp 70 % erreicht wird.

Das amerikanische Vorhersagemodell *GFS (Global Forecast System)* von den *National Centers for Environmental Prediction (NCEP)* rechnet auf experimenteller Basis bereits bis zum 16. Tag, allerdings mit bisher durchgehend bescheidenen Resultaten.

Das Wesen der Langfristprognose ist ein gänzlichst Anderes. Wie bereits im Vorfeld angedeutet, werden als langfristige Prognosen alle Vorhersagen bezeichnet, die über zehn Tage hinausgehen. Dabei geht es jedoch nicht mehr darum, eine Vorhersage für einen konkreten Tag zu erstellen, wie dies bei der üblichen Wettervorhersage für die nächsten Tage der Fall ist, sondern vielmehr um die Wiedergabe der Witterungstendenz einer Monatshälfte, eines Monats oder gar einer ganzen Jahreszeit. Es wird also niemals möglich sein, schon im September oder Oktober zu sagen, ob das folgende Weihnachtsfest "weiß" oder "grün" ausfällt. Ziel ist es deshalb, mit geeigneten Methoden einen Trend angeben zu können, ob über eine längere Zeitspanne (Monat, Jahreszeit) eine gegenüber dem langjährigen Mittelwert zu warme / zu kalte / zu nasse oder zu trockene Gesamtwitterung in einem größeren Areal (z.B. Deutschland) vorherrschen wird

und ggf. auch eine Aussage über die voraussichtliche Stärke der Abweichung zu treffen. Punktvorhersagen für ein bestimmtes Datum bzw. eine bestimmte Region, wie dies bei den Kurz- und Mittelfristprognosen der Fall ist, sind langfristig also nicht realisierbar. Daher erfolgt auch die Erstellung beider Vorhersagetypen auf vollkommen unterschiedlichem Wege. Während bei kurzfristigen Vorhersagen der Zustand und das Verhalten der Atmosphäre mit Hilfe von physikalischen Formeln jeweils für die nächsten Stunden bzw. Tage simuliert und berechnet wird, ist man bei Langfristprognosen auf statistische Untersuchungen und Vergleiche mit der Vergangenheit angewiesen (Analogie). Theoretische und praktische Studien ergaben nämlich, dass selbst bei weiterer Leistungssteigerung der Großrechner in den nächsten Jahren eine sinnvolle Nutzung des numerischen Verfahrens nur maximal für drei Wochen im Voraus möglich ist. Der Grund hierfür ist der teilweise chaotische Charakter der Atmosphäre. Dabei kann es zu Situationen kommen, wo diese zwischen zwei Entwicklungsmöglichkeiten steht und bereits geringfügige Einflüsse ausreichen, um eine Entscheidung in die eine oder andere Richtung herbeizuführen. So könnte z.B. von großer Bedeutung sein, ob sich hinter einem massiven Kältevorstoß im Winter über Mitteleuropa eine großflächige Schneedecke bildet oder ob es nur bei Kahlfrösten bleibt. Im Falle einer ausgeprägten Schneedecke ist vor allem nachts mit deutlich niedrigeren Temperaturen zu rechnen, was zur Bildung bzw. Intensivierung eines zählebigen Kältehochs über der betreffenden Region führen kann und damit zur Verlängerung des kalten Witterungsabschnittes beiträgt. In ähnlicher Weise führen u.a. falsche Rundungswerte oder ein minimal falsch bestimmter Windvektor zu Beginn der numerischen Berechnungen zu gänzlich anderen Endresultaten bei langen Zeiträumen. Daher bleiben der langfristigen Prognose ausschließlich statistische Wege vorbehalten. Die Hauptaufgabe liegt somit darin, statistische Zusammenhänge zwischen großräumiger Zirkulation und regionalen Witterungsanomalien der Folgemonate zu finden und diese prognostisch nutzbar zu machen. Die Grundüberlegung dabei ist, dass einem kalten Monat ein anderes großräumiges Zirkulationsmuster vorausgeht, als einem warmen Monat. Wenn von „Zirkulation“ gesprochen wird, so ist in aller Regel von Luftdruckverteilungen bzw. deren Abweichungen gegenüber einem langjährigen Mittel die Rede. Der Luftdruck mit seinen zentralen Druckgebilden „Hoch“ und „Tief“ hat als steuerndes Element für Temperatur, Wind und Niederschlag eine vorrangige Bedeutung in der Atmosphäre und eignet sich deshalb in besonderem Maße als Ausgangsbasis für die Erstellung langfristiger Prognosen. Wie bereits aus dem Begriff „großräumige Zirkulation“ ersichtlich wird, darf das Augenmerk hier nicht nur auf Druckverteilungen über europäischen Gebieten gerichtet sein, sondern muss auf den gesamten Erdball ausgedehnt werden, vor allem in Bereiche, die einen großen Einfluss auf die globale Witterung haben. Dazu gehört z.B. die

Beobachtung über das Verhalten der einzelnen Zellen im subtropischen Hochdruckgürtel, die Entwicklung des Polarhochs oder die Intensität der Innertropischen Konvergenzzone (ITC) mit möglichen Folgen auf die Witterung Mitteleuropas.

## 2.3 Geschichte

Die einfachste und älteste Form der Langfristprognose stellen die Bauernregeln dar. Bereits in frühen Jahrhunderten versuchten die Menschen anhand von Naturbeobachtungen und auffälligen Witterungserscheinungen Zusammenhänge zu erkennen und daraus Schlüsse für das zukünftige Wetter zu ziehen. Dies war notwendig, um damit ihre landwirtschaftlichen Planungen zu treffen oder die Ernteerträge zu optimieren, was für nicht Wenige zum Überleben wichtig war. Viele dieser Regeln sind bis heute überliefert worden. Zum Teil haben diese einen regionalen Bezug und sind nur in bestimmten Gebieten anwendbar. Andere wiederum lassen bereits eine allgemeinere, ortsunabhängige Ausrichtung erkennen:

*„Ist der Oktober warm und fein, kommt ein scharfer Winter drein“*

Dahinter steckt die Aussage, dass einem warmen und hochdruckbestimmten Oktober ein strenger Winter folgen soll. Tatsächlich enthält die Ausführung einen gewissen Wahrheitsgehalt, wie die Untersuchungen im weiteren Verlaufe dieser Arbeit noch zeigen werden. Auf jeden Fall zeugen diese Regeln aber von einer großen Beobachtungsgabe unserer Vorfahren, die noch keine Messgeräte hatten und sich ausschließlich auf ihre Sinne verlassen mussten.

Das erste Mal, dass ernsthafte Forschungen zu langfristigen Vorhersagen mit mathematischen Techniken durchgeführt wurden, ist von dem englischen Meteorologen G. T. WALKER bekannt, der zwischen 1917 und 1924 als Direktor des indischen meteorologischen Dienstes wirkte. Er untersuchte den korrelativen Zusammenhang zwischen dem Luftdruck der Vormonate in den Tropen und den anschließenden Niederschlagsmengen Indiens zur Monsunzeit. Über eine lineare Gleichung ermittelte er dann die mathematische Erwartung der Abweichung vom Normalwert.

Die ersten „echten“ Langfristprognosen auf physikalisch-statistischer und damit wissenschaftlicher Basis im mitteleuropäischen Raum hat wohl PROF. DR. FRANZ BAUR (1887-1977) erstellt. Kein anderer Meteorologe seiner Zeit hat sich so intensiv mit der Forschung auf diesem stets umstrittenen Gebiet beschäftigt, wie jener Honorarprofessor

der Uni Frankfurt/Main. Seine ersten Prognosen veröffentlichte er in den 20er Jahren des vergangenen Jahrhunderts in diversen Zeitschriften. Dabei handelte es sich zunächst nur um allgemeine Aussagen, die auf einfache Zusammenhänge beruhten. Zum Beispiel fand er heraus, dass in der Vergangenheit nach einem zu kalten Oktober und gleichzeitig zu kalten November meist ein zu milder März folgte. Diese Vorhersage erschien im Februar 1923 nach erfüllten Vorbedingungen und trat erwartungsgemäß ein. Der gefundene Zusammenhang wurde als „Regel“ definiert. Zudem versuchte BAUR stets auch eine meteorologische Erklärung für seine erarbeiteten Regeln zu geben. Im Falle oben erwähnten Beispiels ging er davon aus, dass einem zeitigen Winter, hervorgerufen durch ein blockierendes Hochdruckgebiet über Nordeuropa bzw. der Nordsee, auch ein zeitiges Frühjahr folgt und damit spätestens zum Winterende eine generelle Umstellung der Wetterlage von einer gestörten zu einer gesteigerten (West)-Zirkulation stattfinden muss. In diesem Zusammenhang untersuchte er damals außerdem die großräumige Luftdruckverteilung der nördlichen Hemisphäre vor besonders kalten bzw. milden Wintern und versuchte Auffälligkeiten oder Unterschiede zu finden. Speziell die sogenannte „North Atlantic Oscillation“ (NAO) – der Druckunterschied zwischen den in ihrer Intensität schwankenden Aktionszentren Azorenhoch und Islandtief, welcher einen maßgeblichen Einfluss auf die Witterung Mitteleuropas hat – sollte Hauptgegenstand seiner Beobachtungen werden. Daraus ergaben sich wiederum völlig neue Begriffe, wie den der „Großwetterlage“, was später sogar zur Bildung eines ganzen Forschungszweiges – der Großwetterkunde - führte.

Unter BAURS Leitung wurde im Herbst 1929 in Frankfurt/Main die „Staatliche Forschungsstelle für langfristige Witterungsvorhersage“ gegründet und damit eine Institution, deren ernstes Bestreben es war, die wissenschaftliche Forschung auf dem schwierigen Gebiet mit staatlicher Hilfe voranzutreiben.

Dennoch sah sich BAUR ständig kritischen Kommentaren oder sogar Spott seiner Kollegen ausgesetzt, die seine Arbeiten mit Argwohn verfolgten.

Anfang der 30er Jahre wurden von der Forschungsstelle auf ähnlicher Basis, sprich statistischer Ausarbeitungen, verbunden aber mit einem noch größeren Arbeitsaufwand, auch Zehntagesvorhersagen herausgegeben. Obwohl nur auf ein limitiertes Datenmaterial zurückgegriffen werden konnte, gelang es BAUR mit wenigen Hilfskräften regelmäßige Vorhersagen für 10 Tage während des Sommerhalbjahres zu veröffentlichen. Dabei stieg die Eintreffhäufigkeit der Prognosen innerhalb drei Jahre von 70% auf erstaunliche 87% an.



**Abb. 4:** Franz Baur bei der „Arbeit“ (1934)

Mit Ausbruch des Zweiten Weltkrieges wurden die Zehntagesvorhersagen allerdings eingestellt.

Die Forschung der Monats- und Jahreszeitenprognosen wurde indes fortgesetzt und aufgrund immer längerer Datenreihen bzw. dem Datenaustausch mit Institutionen anderer Länder mehr und mehr ausgebaut. Erstmals versuchte BAUR auch lineare Beziehungsgleichungen (Regressionen) anzuwenden, soweit es datentechnisch möglich war. Durch die Einverleibung des Instituts zum Reichswetterdienst 1935, welches somit auch der Wehrmacht unterstellt war, wurde es bei Kriegsende aufgelöst.

Da es BAUR stets angelastet wurde, dass er als Militärbeamter für das Dritte Reich während des Krieges langfristige Prognosen erstellt hat, blieb ihm die Bildung eines neuen Instituts verwehrt und er selbst eine zeitlang stellenlos. Nach seiner Wiedereinstellung als Professor an der Uni in Frankfurt/Main dauerte es noch mehrere Jahre bis er überhaupt mal wieder Mittel zur Verfügung gestellt bekam, um seine Forschungen weiter voranzutreiben. Vor allem in den 50er und 60er Jahren entstanden so eine Vielzahl von Witterungsregeln für europäische und nordamerikanische Regionen, wobei neben dem üblichen Verfahren auch neue Ansätze, wie z.B. die Berücksichtigung des Sonnenfleckenzyklus mit eingebracht wurden. Erst in dieser Zeit fanden seine Erkenntnisse unter den Kollegen zunehmend Anerkennung.

Ende der 60er Jahre schenkte BAUR im Zuge der stetigen Computerentwicklung wieder den linearen Beziehungsgleichungen mehr Aufmerksamkeit und erarbeitete ein Versuchsmodell, welches durch maschinelles Lösen komplexer Gleichungen zur Erstellung einer regelmäßigen Monatsvorhersage beitragen sollte. Dabei wurden voraussichtliche Abweichungen der Temperatur und des Niederschlages gegenüber dem langjährigen Mittel berechnet und immerhin eine Trefferquote von 73% bei den Temperaturprognosen erreicht.

Nach dem Tode BAURS im Jahr 1977 wurden seine Arbeiten zunächst nicht weitergeführt. Immerhin pflegte die FU Berlin die Fortsetzung der so genannten BAUR'schen Klimadatenreihe bis in die Gegenwart und veröffentlicht sie als Beilage zur Berliner Wetterkarte. Hierbei handelt es sich um homogene, monatliche Temperaturdaten der Stationen Utrecht-De Bilt, Potsdam, Wien und Basel seit 1761 sowie monatliche Niederschlagsmessungen mehrerer deutscher Städte ab 1850, die einen repräsentativen Überblick der allgemeinen Witterung und der klimatischen Entwicklung Mitteleuropas gestatten sollen.

Anfang der 80er Jahre wurde an jener FU Berlin ein Referat eingerichtet, das dem Problem der langfristigen Witterungsprognosen wieder mehr Aufmerksamkeit schenken sollte. Diese Aufgabe übernahm WOLFGANG RÖDER, der als Dozent für Meteorologie an der Uni tätig war und einen neuen Methodikansatz für globale, langfristige Prognosen

entwickelte. Grundlage des Verfahrens war die Analogie, bei der die Luftdruckanomalien der vergangenen Monate über der nördlichen Hemisphäre mit denen aus früheren Jahren verglichen wurden. Jene Jahre, die eine ähnliche Druckverteilung wie das aktuelle Jahr aufwiesen, wurden als „Analogfälle“ herausgefiltert. Aus der mittleren Weiterentwicklung der Analogfälle ergab sich die Prognose für die nachfolgenden Monate. Die neue Methode erlaubte somit weniger Temperaturangaben wie „zu warm“ oder „zu kalt“, sondern vielmehr Aussagen über die voraussichtliche Druckabweichung gegenüber dem langjährigen Mittel in der Folgezeit. Dadurch waren auch Vorhersagen für andere Regionen der nördlichen Hemisphäre möglich.

Leider erwies sich der neue Prognoseansatz bereits im Laufe der ersten Testjahre als nicht besonders revolutionär und ließ zu viele Schwachstellen erkennen.

Neben einigen vielversprechenden Vorhersageerfolgen traten immer wieder krasse Fehlprognosen auf, die den prognostischen Wert des Verfahrens oft in Frage stellten.

Dennoch blieb RÖDER stets seiner Linie treu und veröffentlichte seine Vorhersagen regelmäßig als Beilage der Berliner Wetterkarte bis zu seiner Pension im Jahre 2004.

Im Jahre 1992 wurde um die Dozenten PROF. DR. HORST MALBERG und RAINER DETTMANN eine weitere Arbeitsgruppe an der FU Berlin eingerichtet, mit dem Ziel, speziell für die Region Berlin bzw. ausgewählte Städte Deutschlands eine Dreimonats-Temperaturprognose zu erstellen. Grundüberlegung bei dem hier angewandten Verfahren war, dass z.B. einem kalten Januar in Berlin eine andere Druckverteilung in den Vormonaten vorausging, als einem milden Januar. Als meteorologische Einflussgrößen (Prediktoren) wurde neben dem Bodendruck auch das 500-hPa-Geopotential und die Relative Topographie 500/1000 hPa im nordatlantisch-europäischen Raum verwendet. Über statistische Tests fand die Ermittlung der für die Prognose signifikanten Gebiete statt. Anschließend wurden über Beziehungsgleichungen und Intervallabschätzungen die voraussichtliche Abweichung der Monatsmitteltemperatur gegenüber dem langjährigen Mittel berechnet. Zumindest in leicht abgewandelter Form wurden damit die Arbeiten Franz BAURS aus den 70er Jahren fortgesetzt. Immerhin gelang es z.B. so, den strengen Winter 1995/96, sowie den mäßig kalten Winter 1996/97 und den typisch mitteleuropäischen Sommer 1996 befriedigend vorherzusagen.

Ende der 90er Jahre wurde das Verfahren noch einmal überarbeitet und auf die gesamte nördliche Hemisphäre ausgedehnt, bis schließlich die Arbeitsgruppe Ende 2003 wegen mangelnder Auftragslage und Finanzmittelknappheit der Universität aufgelöst und das Referat geschlossen werden musste. Seit dieser Zeit werden in Deutschland offiziell an keinem Institut Forschungen oder Veröffentlichungen von langfristigen Vorhersagen durchgeführt.

Während in unserem Land den Langfristprognosen nach wie vor sehr skeptisch, teils sogar polemisch, gegenüber gestanden wird, haben saisonale Vorhersagen z.B. in den USA schon Tradition und werden regelmäßig von den staatlichen Wetterdiensten oder Klimazentren in den Medien veröffentlicht. Auch die Finanzierung wird dort vom Staat unterstützt, weshalb sich gleich mehrere Institutionen der Erforschung annehmen können.

## **2.4 Prognosemethoden**

Im Laufe der vergangenen Jahre und Jahrzehnte wurde eine Vielzahl von teils hochkomplexen Verfahren entwickelt, um das Problem der langfristigen Witterungsvorhersage schrittweise zu lösen und Ergebnisse zu erzielen, die auf Dauer signifikant besser sind als eine reine Zufallsaussage.

In diesem Kapitel sollen jeweils nur die Vorhersagemethoden vorgestellt werden, mit denen der Autor selbst aktiv arbeitet und für die Erstellung seiner Prognosen nutzt bzw. mit denen er in den letzten Jahren ausführlich experimentiert und seine Erfahrungen gesammelt hat.

An erster Stelle sei hierbei kurz die Hauptmethode „LRFS“ (Long range forecasting system) genannt, mit der die zu erwartenden, monatlichen Temperaturabweichungen für Leipzig berechnet werden und auf die im weiteren Verlaufe der Arbeit noch ausführlich eingegangen wird. Grob gesagt werden in einem langjährigen Untersuchungszeitraum diejenigen Gebiete auf dem gesamten Globus herausgesucht, wo sich signifikante Korrelationsbeziehungen zwischen dem Luftdruck der Vormonate und der Temperatur eines zu prognostizierenden Monats in Leipzig ergaben. Mittels multipler, linearer Regression wird dann aus den gefundenen Datenmatrizen (Prediktoren) über Zwischenschritte die voraussichtliche Abweichung der Monatsmitteltemperatur berechnet. Ausführliche Informationen über den Arbeitsablauf, die angewandten mathematischen Verfahren, sowie die Verifizierung der Prognosegüte finden sich im nächsten Kapitel.

### **2.4.1 Witterungsregeln**

Als ebenfalls wichtiges Hilfsmittel bei der Prognoseerstellung sollen nun die Witterungsregeln angesprochen und eingehend erläutert werden. In diesem Bereich hat sich vor allem bereits erwähnter FRANZ BAUR einen Namen gemacht. Er untersuchte zwischen den 40er und 70er Jahren eine Vielzahl von Zusammenhängen und stellte ein große Anzahl von statistischen Witterungsregeln auf, von denen die meisten auch heute noch hohe Gültigkeit besitzen. Die Grundidee hier war, dass eine besondere Konstellation

der Großwetterlage zu auffälligen Abweichungen meteorologischer Messgrößen wie Luftdruck, Temperatur oder Niederschlag eines Monats führt und als Folge davon es entweder zu einer Erhaltungs- bzw. Wiederholungsneigung der Wetterlage in den Folgemonaten kommt oder eine grundlegende Umstellung des Zirkulationsmusters stattfindet. So wurde z.B. nach besonders warmen und zu trockenen Monaten untersucht, ob sich die Witterung in der Folgezeit signifikant oft wiederholt oder ob vielmehr eine gegenteilige Entwicklung zum Kalten hin eintrat.

Als klassisches Beispiel sei die BAUR-Regel 84 angesprochen. Diese Regel wurde von FRANZ BAUR in den 50er Jahren aufgestellt und umfasst einen Beobachtungszeitraum von über 150 Jahren. Als Datenmaterial wurden die bereits erwähnten BAUR'schen Klimawerte für Mitteleuropa bei den Temperaturen und für Deutschland bei den Niederschlagsmengen verwendet. Da die Niederschlagsdaten der insgesamt 14 Messstationen nur ab 1851 verfügbar waren, musste für die Zeit davor auf Datensätze einzelner deutscher Städte zurückgegriffen werden. Im Wortlaut heißt die Regel wie folgt:

*„Wenn der Oktober in Mitteleuropa im Durchschnitt um mindestens 2,0 K zu warm und gleichzeitig in Deutschland westlich der Oder trockener als normal ist, kann mit hoher Eintreffwahrscheinlichkeit ein zu kalter Januar erwartet werden.“ [1]*

Im Zeitraum 1800 bis 1955 sind diese Vorbedingungen elf mal vorgekommen, wie nachfolgende Tabelle verdeutlicht.

Monat	Oktober		folgender Januar
Jahr	Temp.-Abweichung	Nied.-Abweichung	Temp.-Abweichung
1802/03	+2,8 K	-16 mm	-5,4 K
1811/12	+3,5 K	-08 mm	-1,5 K
1822/23	+2,1 K	-29 mm	-8,3 K
1831/32	+3,1 K	-28 mm	-0,4 K
1846/47	+2,3 K	-08 mm	-2,5 K
1857/58	+2,6 K	-29 mm	-1,0 K
1863/64	+2,3 K	-27 mm	-3,8 K
1907/08	+3,1 K	-18 mm	-0,6 K
1921/22	+2,6 K	-24 mm	-1,2 K
1949/50	+2,0 K	-30 mm	-0,5 K
1953/54	+2,1 K	-32 mm	-1,9 K

**Tab. 1:** Warme und trockene Oktober mit anschließend kaltem Januar im Überblick

Aus der Tabelle ist zu ersehen, dass während des 155-jährigen Beobachtungszeitraumes in allen elf Jahren, in denen der Oktober in Mitteleuropa um mindestens 2,0 K zu warm und gleichzeitig trockener als normal war, die Temperatur des darauffolgenden Januars in Mitteleuropa ausnahmslos unter dem Regelwert lag.

Um nun beurteilen zu können, ob das Auftreten von elf ausnahmslos zu kalten Januaren überzufällig (signifikant) ist, muss die Wahrscheinlichkeitsrechnung herangezogen werden. Hierbei ist es unumgänglich eine geeignete Grenze zu definieren, um Aussagen treffen zu können, ob der errechnete Wahrscheinlichkeitswert noch im Bereich des Zufalls liegt oder ob das Ergebnis nicht mehr mit Zufall erklärt werden kann, d.h. dass ein realer Zusammenhang, eine Gesetzmäßigkeit, existieren muss. Die Festlegung dieser „Zufallsgrenze“ erfolgt zwar willkürlich, jedoch sollte sie sich an Beispielen aus der gängigen Praxis orientieren. Aus diesem Grund hatte BAUR bei seinen Regeln die Wahrscheinlichkeit von 0,0027 (0,27 %) als Grenzwert gewählt. In seinem Buch „Gewetterkunde und langfristige Witterungsvorhersage“ aus dem Jahre 1963 erklärte er sein Vorgehen mit den Worten:

*„Die Landmesser (Geodäten) Mitteleuropas pflegen seit mehr als 100 Jahren als äußerstenfalls zu duldenen Fehler einer Beobachtung das Dreifache des mittleren Fehlers anzusehen.....Da die Grenze des dreifachen mittleren Fehlers nur von 0,27 % aller zufälligen Fehler überschritten wird, hat man auch in der mathematischen Statistik 0,0027 als diejenige Restwahrscheinlichkeit (residual probability) festgesetzt, bei deren Unterschreitung eine statistisch ermittelte Gegebenheit als nicht mehr durch Zufall erklärbar zu gelten hat.“ [2]*

Mathematisch ermitteln lässt sich der Wahrscheinlichkeitswert von 0,27 % über die Verteilungsfunktion einer standardisierten Normalverteilung. Daraus ergibt sich, dass bei einer Normalverteilungskurve und unendlich vielen Freiheitsgraden bei der Rechnung 3\*mittlerer Fehler (Streuung) des Messwertes genau 99,73% aller Messwerte in diesen Vertrauensbereich fallen. Für meteorologische Zwecke erweist sich diese Maßzahl infolge limitierter Beobachtungsreihen als relativ streng und soll daher auch im Verlauf der Arbeit bei aufgestellten Witterungsregeln als Kriteriumsgrenze dienen.

Mit der bereits angesprochenen Regel 84 konnten in jüngerer Vergangenheit immerhin die kalten Januare 1996 und 2006 richtig prognostiziert werden. Dennoch ergaben sich im Laufe der Jahre auch Probleme. Vermehrt traten Situationen auf, wo trotz gegebener Vorbedingungen im Oktober ein zu milder Januar folgte. Die abgebildete Tabelle zeigt alle sehr warmen, zu trockenen Oktober und die folgenden Januare nach 1955.

Monat	Oktober		folgender Januar
Jahr	Temp.-Abweichung	Nied.-Abweichung	Temp.-Abweichung
1961/62	+2,2 K	-03 mm	+2,9 K
1969/70	+2,0 K	-38 mm	-1,5 K
1990/91	+2,1 K	-09 mm	+2,9 K
1995/96	+3,2 K	-36 mm	-0,8 K
2001/02	+4,3 K	-13 mm	+3,0 K
2004/05	+2,1 K	-05 mm	+3,7 K
2005/06	+2,9 K	-14 mm	-0,9 K

**Tab. 2:** Warme und trockene Oktober mit jeweiligen Januar nach 1955 in der Übersicht

Als mögliche Ursache für das Versagen in mehreren Fällen kommen drei Gründe in Betracht. Einerseits kann die zunehmende Klimaerwärmung dazu führen, dass Oktober, die in der Liste unter „mehr als 2 K zu warm“ geführt werden, ursprünglich gar nicht dazu gehören, ihre Abweichung also ohne den Einfluss der Klimaerwärmung unter 2 K liegen würde. Andererseits hat sich in der Vergangenheit des öfteren gezeigt, dass zu trockene Oktobermonate nicht zwangsläufig mit überdurchschnittlichen Hochdruckeinfluss einhergehen müssen. Typisches Beispiel hierfür ist der Oktober 1990, wo die warm-trockene Witterung überwiegend durch vorderseitige Tiefdrucklagen hervorgerufen wurde und nur schwach ausgeprägte Höhenkeile für ein leichtes Niederschlagsdefizit sorgten. Der Grundgedanke ist laut BAUR jedoch, dass ein sehr warmer, trockener Oktober durch verstärkten Hochdruckeinfluss entsteht, der außerdem an eine warme, südliche Strömung über Mitteleuropa geknüpft ist. Da aber aus reinen Temperatur- und Niederschlagsstatistiken kaum ersichtlich ist, wie die tatsächliche Großwetterlage eines Monats war, kann es somit zu Verfälschungen des Gesamtbildes kommen. Zu guter Letzt kann auch ein natürliches Versagen der Regel aufgrund des teils chaotischen Verhaltens der Atmosphäre nicht ausgeschlossen werden. Gegen solche Einflüsse ist man als Prognostiker sicherlich machtlos.

Um die Oktober-Januar-Regel wieder prognostisch nutzbar zu machen, hat der Autor dieser Arbeit diverse Untersuchungen angestellt und ist dabei auf einen Zusammenhang gestoßen, der maßgeblich entscheidend sein dürfte für die Temperaturentwicklung im Januar. BAUR erwähnte bereits in seinem Buch „Großwetterkunde und langfristige Witterungsvorhersage“, dass sich an einen sehr warmen/trockenen Oktober vielfach (bei weitem nicht immer!) ein November mit positiven Druckanomalien über dem Mündungsgebiet des Ob bzw. über Nord- und Mittelrussland bis hin zum Baltikum anschließt. Allerdings berücksichtigte er diese Erkenntnis nicht mit in der Oktober-Januar-

Regel. Hier setzen nun die Forschungen des Autors an, der den Einfluss des Novemberluftdruckes auf die weitere Entwicklung im Januar genauer untersuchte. Dabei traten zunächst einige Probleme hinsichtlich des vorhandenen Datenmaterials auf. Um die oben angesprochenen Druckanomalien im November mit in die Regel einzubeziehen, werden entsprechende Druckdaten benötigt. Monatliche Luftdruckdaten im Gitterpunktabstand  $5^{\circ} \times 10^{\circ}$  sind in halbwegs zusammenhängender Form allerdings erst ab 1873 verfügbar. Wäre man nun beim Untersuchungszeitraum angehalten, erst im Jahre 1873 anzusetzen, würden sich bis 2005 gerade mal elf Fälle ergeben, wo der Oktober um mindestens 2 K zu warm und zu trocken war.

Dies ist jedoch als Ausgangsbasis für einen gewünscht signifikanten Zusammenhang zu wenig, zumal bei Nichterfüllung der zu kombinierenden Bedingung im November noch einige Fälle wegfallen würden. Daher mussten hier andere Wege beschritten werden. Eine Möglichkeit bestünde z.B. darin, dass man anstatt monatlicher Luftdruckwerte die BAUR'schen Niederschlagsdaten Mitteleuropas verwendet, da diese bis ins Jahr 1844 zurückreichen. Eine solche Überlegung wird auch durch die Tatsache gestützt, dass ein gewisser Zusammenhang zwischen den November-Druckverhältnissen über Russland, insbesondere dem Baltikum, und den gleichzeitigen Niederschlagsmengen Mitteleuropas besteht. Positive Druckanomalien in den erwähnten Regionen sind nämlich Ursache von blockierenden und sich ständig regenerierenden Festlandhochs. Derartige Hochdruckgebiete wirken sich bis in mitteleuropäische Gefilde mit kontinentalen, trockenen Luftmassen aus östlichen bzw. südlichen Richtungen aus. Als Folge davon liegen die Niederschlagsmengen in Deutschland bei solchen Großwetterlagen meist unter dem Durchschnitt. Es ist daher legitim, statt den Luftdruckanomalien über dem russischen Raum auf die mitteleuropäischen Niederschlagsdaten zurückzugreifen und alle die Jahre herauszufiltern, wo nach einem sehr warmen und zu trockenen Oktober auch der November hinsichtlich des Niederschlages unterdurchschnittlich gewesen ist. Um sicherzustellen, dass die Grundüberlegung – nämlich ein warmer und hochdruckgeprägter Oktober – tatsächlich gewährleistet ist, wurde hier die Bedingung des Niederschlages noch etwas verschärft und deshalb nur diejenigen Oktobermonate betrachtet, die in Mitteleuropa um mindestens 2 K wärmer und gleichzeitig um mindestens 5 mm trockener als normal waren.

Die bisher geforderten Bedingungen samt ihrer Ergebnisse sind auf der nächsten Seite tabellarisch aufgelistet.

Monat	Oktober		November	Januar
Jahr	Temp.- Abweichung	Nied.- Abweichung	Nied.- Abweichung	Temp.- Abweichung
1857/58	+2,2 K	-28 mm	-30 mm	-2,3 K
1863/64	+2,1 K	-26 mm	-12 mm	-4,7 K
1907/08	+2,7 K	-17 mm	-24 mm	-1,7 K
1921/22	+2,2 K	-23 mm	-14 mm	-1,5 K
1953/54	+2,0 K	-31 mm	-39 mm	-2,3 K
1995/96	+3,2 K	-36 mm	-08 mm	-1,5 K

**Tab. 3:** Sehr warme, trockene Oktober + trockene November und jeweils folgender Januar

Wie bereits sehr schön ersichtlich ist, war in allen sechs Fällen mit den erwähnten Vorbedingungen der darauffolgende Januar ausnahmslos kälter als normal. Allerdings sind sechs Fälle eine noch zu geringe Anzahl, um einen potentiellen Zusammenhang statistisch abzusichern. Daher mussten weitere Improvisationen vorgenommen werden. Zunächst stellte sich die Frage, ob das strenge Temperaturkriterium von „mindestens 2 K zu warm“ wirklich umgesetzt sein muss oder ob die Forderung einer weniger starken Abweichung nicht auch zum Erfolg führen könnte. Bei einer hochdruckdominanten Süd- und Südostlage im Oktober tritt nämlich vor allem in den Nächten schon verstärkt Nebel- oder Hochnebelbildung auf, den die Sonne mitunter erst mittags bzw. nachmittags vollständig beseitigt hat. Da hierbei aber der Temperaturverlauf durch die fehlende Einstrahlung stark gedämpft wäre, könnte es passieren, dass der Monat letztlich nicht die geforderte Temperaturabweichung von wenigstens +2,0 K erreicht, obwohl die zugrundeliegende Großwetterlage durchaus in der Lage dazu wäre.

Als nächster Arbeitsschritt war demzufolge herauszufinden, ob der Zusammenhang auch dann noch erfolgsversprechend zu sein schien, wenn die Oktoberabweichung auf „mindestens 1,0 K zu warm“ herabgestuft wurde. Für diese Überprüfung war es ratsam, noch eine weitere Improvisation vorzunehmen.

Die ursprüngliche Referenzperiode, von welcher die Temperaturabweichungen bestimmt wurden, hatte BAUR für den Zeitraum 1761 bis 1970 definiert. Da der vom Autor angesetzte Untersuchungszeitraum ohnehin erst in den mittleren Jahren des 19. Jahrhunderts begann und sich bis in die Gegenwart erstreckt, musste die ursprüngliche Referenzperiode durch eine neue ersetzt werden. Die Anpassung ist auch deshalb sinnvoll, um die Klimaerwärmung der letzten Jahre nicht außer Acht zu lassen. Die Folge der Anpassung war, dass der neue „Normalwert“ (Periode 1850 bis 2000) etwas über dem ursprünglichen Mittel lag. Im Falle des Oktobers betrug die Änderung nur 0,2 K, beim Januar dagegen 0,7 K, wodurch sich auch die Beträge der Abweichungen änderten.

Das vorhin erwähnte, weniger strenge Kriterium hatte zur Folge, dass die obige Tabelle durch weitere drei Jahre - nämlich 1846, 1891 und 1906 – erweitert wurde. Wie in späterer Auflistung noch gezeigt wird, lag die folgende Januartemperatur auch in den drei zusätzlichen Jahren unter dem langjährigen Mittel. Damit stieg die Anzahl der ausnahmslosen Fälle auf neun an. Zwar würde nun bei einer Grundwahrscheinlichkeit von 0,465 für das Auftreten eines zu kalten Januars (im Zeitraum 1844 bis 2005) die definierte Zufallsgrenze von 0,0027 bereits unterschritten werden, jedoch stellen neun Fälle noch kein hochsignifikantes Ergebnis dar. Aus dem Grund waren weitere Nachforschungen nötig. Ziel war die Zeit vor 1844, wo allerdings nur noch von einzelnen Stationen monatliche Niederschlagsdaten vorhanden waren. Dies war nicht ganz unproblematisch, da jetzt einige wenige Stationen repräsentativ für Mitteleuropa sein mussten und Niederschlagswerte oftmals infolge konvektiver Einzelereignisse von Station zu Station stark schwanken können.

Zunächst wurden von den drei Messorten mit Datenmaterial (Prag, Stuttgart und Frankfurt) die langjährige Mittelwerte für Oktober und November gebildet und daraus dann die monatlichen Abweichungen berechnet. Um sicherzugehen, dass Oktober und November nicht nur an den betreffenden Stationen, sondern wirklich auch im Bereich Mitteleuropas zu trocken gewesen sind, musste ein strengeres Auswahlkriterium getroffen werden. Es wurden daher nur die um mehr als 1 K zu warmen Oktobermonate betrachtet, wo die Niederschlagsmenge im Mittel der drei Messorte um mindestens 20 % und die der anschließenden Novembermonate um mindestens 10 % unter dem Durchschnitt lag. Eine solche Einschränkung sollte den Ansprüchen der eigentlich geforderten Bedingungen mit mehreren Messstationen genügen. Die Datenreihen der Messorte Prag, Stuttgart und Frankfurt liefern homogene Niederschlagswerte bis ins Jahr 1825 zurück.

Trotz des recht großen Aufwandes für einen zusätzlichen, nur knapp 20 Jahre umfassenden Zeitraum (1825-1843), hat sich die Mühe gelohnt. In diese Zeitspanne fiel noch ein weiteres Jahr (1826), wo oben aufgeführte Vorbedingungen erfüllt waren. Auch in jenem Fall war der darauffolgende Januar kälter als normal. Somit sind jetzt zehn ausnahmslose Fälle zu verzeichnen, was durchaus als Grundlage für eine brauchbare Witterungsregel anzusehen ist. Die Wahrscheinlichkeit für ein solches Ereignis beträgt nämlich (vereinfacht) nach der Binomialverteilung  $0,465^{10} = 0,00047 \triangleq 0,047 \%$ , wobei die Basis „0,465“ die Grundwahrscheinlichkeit des Auftretens zu kalter Januare und der Exponent „10“ die Anzahl der ausnahmslosen Fälle darstellt. Da das ermittelte Ergebnis deutlich die definierte Zufallsgrenze von 0,0027 unterschreitet, muss davon ausgegangen werden, dass der gefundene Zusammenhang physikalischer Natur ist und nicht mehr mit bloßem Zufall erklärt werden kann.

Monat	Oktober		November	Januar
Jahr	Temp.- Abweichung	Nied.- Abweichung	Nied.- Abweichung	Temp.- Abweichung
1826/27	+1,4 K	< -10 mm	<-05 mm	-1,5 K
1846/47	+1,6 K	-08 mm	-17 mm	-2,6 K
1857/58	+2,2 K	-28 mm	-30 mm	-2,3 K
1863/64	+2,1 K	-26 mm	-12 mm	-4,7 K
1891/92	+1,4 K	-20 mm	-15 mm	-0,8 K
1906/07	+1,0 K	-27 mm	-02 mm	-0,1 K
1907/08	+2,7 K	-17 mm	-24 mm	-1,7 K
1921/22	+2,2 K	-23 mm	-14 mm	-1,5 K
1953/54	+2,0 K	-31 mm	-39 mm	-2,3 K
1995/96	+3,2 K	-36 mm	-08 mm	-1,5 K

**Tab. 4:** Übersicht der Jahre mit erfüllten Vorbedingungen der endgültigen Regel

**Anm.:** Weil die Untersuchung 2005 durchgeführt wurde, ist der Fall 2005/06 noch nicht mit vertreten, obwohl auch hier ein kalter Januar nach erfüllten Vorbedingungen auftrat.

Wie lässt sich nun diese Witterungsregel deuten?

Generell ist eine Interpretation von meteorologischen Abfolgen aufgrund der Komplexität der atmosphärischen Prozesse äußerst schwierig, wenn nicht gar kaum nachvollziehbar.

Dennoch soll an dieser Stelle versucht werden, mögliche Gründe für ein

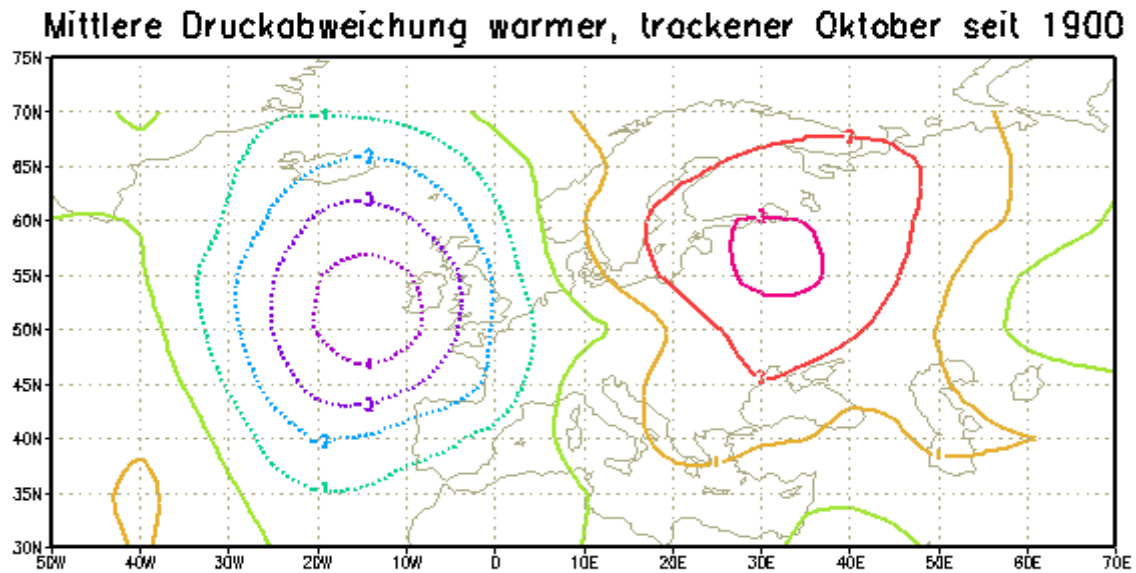
Zustandekommen der negativen Temperaturanomalien im Januar wiederzugeben.

Dabei erweist es sich als sinnvoll, die mittleren Luftdruckanomalien (Abweichungen des Luftdrucks gegenüber eine Referenzperiode) der Monate mit erfüllten Vorbedingungen und die des zu untersuchenden Monats zu betrachten, da die Verteilung der

Luftdruckfelder mit ihren Abweichungen gegenüber dem langjährigen Mittel verantwortlich für die jeweiligen Temperatur- und Niederschlagsverhältnisse sind. Um sich ein besseres Bild von den Verteilungen der Luftdruckanomalien über Europa machen zu können, wurden diese in grafischer Form wiedergegeben. Kleiner Nachteil hierbei war allerdings, dass die für das Plotprogramm kompatiblen Daten erst ab 1900 verfügbar waren, so dass nicht alle relevanten Jahre in die grafische Ausarbeitung einfließen konnten.

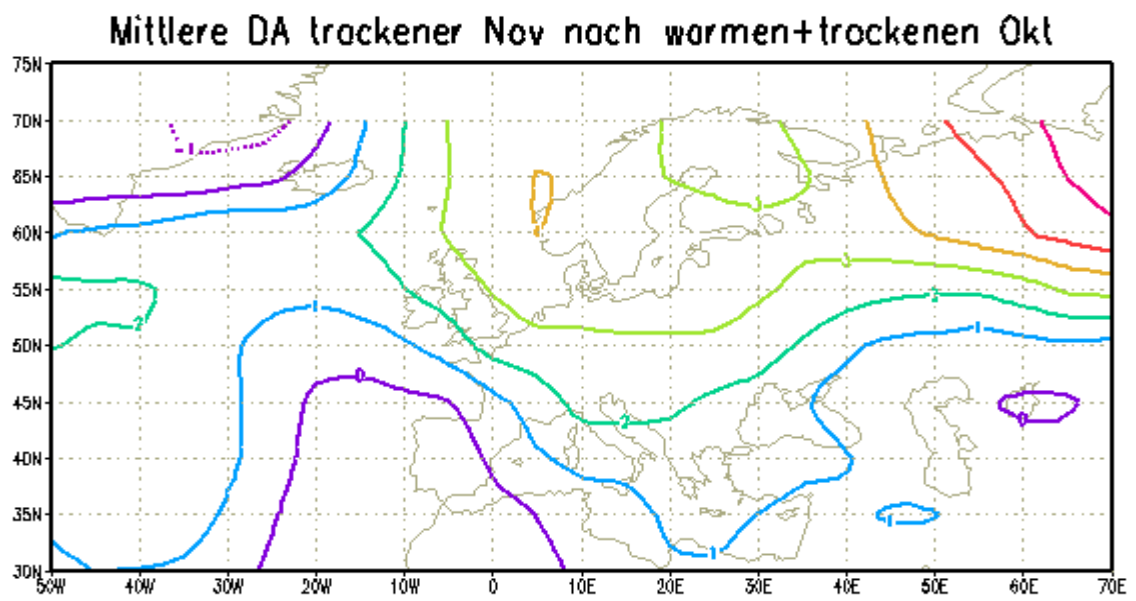
In der ersten Abbildung sind die mittleren Luftdruckanomalien jener Oktober dargestellt, die im Zeitraum 1900 bis 2005 in Mitteleuropa um mindestens 1 K wärmer als normal und hinsichtlich des Niederschlags um mindestens 5 mm zu trocken waren. Auffällig dabei ist die Zone zu hohen Luftdrucks mit Schwerpunkt über dem Baltikum, die sich bis zum Balkan erstreckt und in Verbindung mit verstärkter Tiefdrucktätigkeit über dem Ostatlantik

für das vermehrte Auftreten von warmluftadvehierenden Südlagen über Deutschland sorgt. Man könnte diese positive Druckanomalie über Nordosteuropa auch als Ergebnis längerer, blockierender Hochdrucklagen deuten, da hierbei die für Europa typische Westwetterlage mit tiefen Luftdruck im Norden und hohem Druck im Süden durch eine beständige bzw. sich ständig regenerierende Antizyklone an besagter Stelle gestört wird.



**Abb. 5:** Karte der mittleren Druckabweichungen warmer, trockener Oktober seit 1900

Die nächste Abbildung zeigt die mittleren Druckanomalien des Novembers jener Jahre, wo der vorausgegangene Oktober um mehr als 1 K zu warm und mindestens 5 mm zu trocken und der November generell niederschlagsärmer als normal gewesen ist. Ebenso hier sind nur die Jahre ab 1900 in der Grafik enthalten.

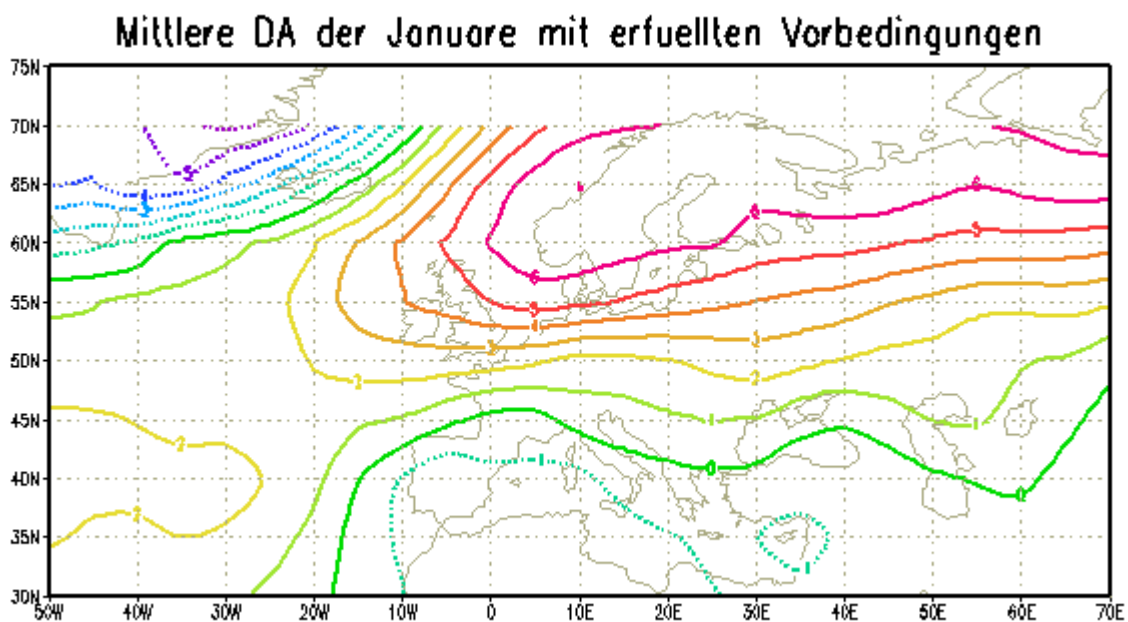


**Abb. 6:** Karte der Druckabweichungen trockener November nach warmen + trockenen Oktobern

Wie man auch in dieser Darstellung erkennt, lag der mittlere Novemberluftdruck in den Jahren mit erwähnten Vorbedingungen (1906, 1907, 1921, 1953, 1995, 2005) über dem nördlichen und nordöstlichen Europa gleichfalls über dem Normalwert.

Auffallend hier ist, dass sich die positiven Anomalien von Nordrussland über Skandinavien bis nach Island ziehen und sogar über dem Nordatlantik von einer deutlichen Abschwächung der „normalen“ Zirkulation gesprochen werden muss.

Genauso eindeutig präsentiert sich die Abbildung der mittleren Druckanomalie im Januar der Jahre mit erfüllten Vorbedingungen.



**Abb. 7:** Mittlere Druckabweichung der Januare mit erfüllten Vorbedingungen

Klar zu erkennen ist ein ähnliches Zirkulationsmuster wie im November. Weiterhin liegen die Gebiete von Skandinavien bis nach Nordrussland unter deutlich zu hohen Druckverhältnissen, so dass kontinentale Polarluftmassen nach Mitteleuropa strömen können und den Januar kalt ausfallen lassen.

Das Ergebnis der grafischen Darstellungen könnte nun so interpretiert werden, dass eine sich im Oktober über Ost- und Nordosteuropa einstellende Blockierungssituation, die sich im November leicht nach Norden verlagert und über den gesamten nordeuropäischen Raum erstreckt, eine Erhaltungs- oder Wiederholungsneigung zum Januar hin zeigt, wobei jedoch die anfangs meridional gerichtete Süd-Nord-Strömung langsam in eine zonal gerichtete Ost-West-Strömung übergeht. Die Folge davon sind übermäßige Ostwinde mit kalten Temperaturen im Januar.

Wie bereits erwähnt, kann dieser Interpretationsansatz auch nur als Vermutung gelten, einwandfrei nachweisen lässt er sich jedoch nicht. Dazu sind die meteorologischen Vorgänge in der Atmosphäre zu komplex miteinander verknüpft.

Möglich ist z.B. auch, dass eine dritte Variable, welche für die kalten Januartemperaturen tatsächlich verantwortlich ist, auch die Temperatur- und Niederschlagsverhältnisse im Oktober/November beeinflusst und so einen Zusammenhang in Form der definierten Regel nur suggeriert.

Ziel muss deshalb für die Zukunft sein, dem Bereich statistischer Witterungsregeln wieder mehr Aufmerksamkeit entgegen zu bringen und sich verstärkt auf die Suche nach potentiellen Zusammenhängen zu begeben. Jedoch sollte unbedingt betont werden, dass nur solche Beziehungen von sinnvoller Bedeutung sind, wo auch physikalisch bzw. meteorologisch nachvollziehbare Kausalketten zustande kommen. So hat es z.B. wenig Zweck eine Verbindung zwischen dem Wolkenbedeckungsgrad einer antarktischen Station im Monat X und der Abweichung der Monatsmitteltemperatur Leipzigs im Monat Y zu suchen, da selbst ein mathematisch signifikantes Ergebnis in einem solchen Falle wohl doch eher einer Scheinbeziehung unterlegen wäre und auf längere Sicht kein prognostisch verwertbares Resultat zu erwarten ist.

#### **2.4.2 Analogieverfahren**

Eine weitere Methode zur Erstellung langfristiger Prognosen soll unter dem Begriff „Analogieverfahren“ vorgestellt werden. Dieses Verfahren verwendet der Autor als experimentelles Alternativmodell zu den ursprünglichen Basisvorhersagen und findet auch Veröffentlichung auf seiner Website. Da es sich um einen völlig neuen Ansatz mit anderen Ausgabeparametern als bisher handelt, sollte es nicht unerwähnt bleiben. Wie der Name bereits andeutet, handelt es sich hierbei um ein Verfahren, dass auf Vergleiche mit ähnlichen, „analogen“ Fällen in der Vergangenheit basiert. Als Parameter dient die monatliche Luftdruckverteilung, genauer gesagt die monatliche Abweichung des Drucks gegenüber dem langjährigen Mittel auf der gesamten nördlichen Hemisphäre. Der Hauptgedanke ist nun, dass bestimmte Luftdruckverteilungen eines Monats gewisse Ähnlichkeiten mit denen aus früheren Jahren aufweisen können und dass analog zu den übereinstimmenden Jahren der Vergangenheit eine ähnliche Entwicklung in den Folgemonaten einsetzt, sprich dass ähnliche Anfangsbedingungen eine vergleichbare Entwicklung zur Folge haben. Prognostiziert werden für einen Monat letztlich die mittleren Druckanomalien, die sich für den betreffenden Monat aus den Analogjahren ergeben. Langjährige Erfahrung mit der Anwendung von Analogien für langfristige Witterungsvorhersagen hat WOLFGANG RÖDER, ehemals Mitarbeiter und Meteorologe der FU Berlin, welcher sich intensiv mit der Thematik und einem möglichen Nutzen für prognostische Zwecke beschäftigte. Da RÖDER nicht mehr berufstätig ist und andere

Einrichtungen, zumindest europaweit, nicht mit derartigen Analogievorhersagen arbeiten, bleiben weitere Forschungen in diesem Bereich ambitionierten Privatpersonen vorbehalten.

Bei der Auswahl der Analogiefälle handelt es sich um eine sehr subjektive Herangehensweise, da die Bestimmung der ähnlich erscheinenden Jahre nicht mit mathematischen Formeln oder statistischen Auswertungen erfolgt, sondern der alleinigen Einschätzung und Beurteilung des Menschen unterliegt. Hier ist ein objektives, vorurteilsfreies Auswerten unbedingt erforderlich, damit es bei der Wahl der Analogjahre nicht zu Verfälschungen kommt und das Ergebnis nicht von Wunschvorstellungen beeinträchtigt wird. Ebenso schwierig ist es, einen geeigneten Maßstab bzw. Kriterien zu finden, ob ein Jahr als Vergleichsfall geeignet ist oder nicht. Vor allem ist das Augenmerk auf jene Regionen zu lenken, wo in den gegenwärtigen Monaten besondere starke positive oder negative Anomalien aufgetreten sind und diese Gebiete dann als Vergleichspunkte für die Vergangenheit dienen. Als nächstes muss geklärt werden, wieviele Vormonate in die Untersuchungen einbezogen werden sollen. Wenn stets nur ein einziger Monat als Untersuchungsobjekt zur Verfügung stehen würde, wäre das Kollektiv an vergleichbaren Jahren zu groß und eine Differenzierung in geeignete Fälle würde nicht stattfinden. Je größer die Anzahl der Vormonate ist, desto mehr Kompromisse muss man allerdings bei der Suche nach Ähnlichkeiten machen, da sich ansonsten nur sehr wenige Analogjahre herauskristallisieren. Das kann dazu führen, dass bei sehr großer Anzahl von zu untersuchenden Vormonaten einzelne Monate dabei sind, die kaum oder gar nicht in ein potentiell Analogjahr hineinpassen. Hier können nur empirische Versuche helfen, einen passenden Mittelweg zu finden. Überlegenswert ist auch der Umstand, dass man Vergleichsjahre, die besonders gut in das aktuelle Druckverteilungsschema hineinpassen, stärker gewichtet und hervorhebt, um so eine bessere Differenzierung zu erreichen. Sämtliche jener genannten Fakten haben aber eines gemein. Die Entscheidung über die Kriterien obliegt vollständig der menschlichen Willkür und kann durch kein Programm oder Algorithmus ersetzt werden. Etliche Versuche, die Auswahl der geeigneten Analogjahre computertechnisch zu automatisieren, führten in eine Sackgasse. Der Grund liegt darin, weil zu viele Referenzpunkte auf der nördlichen Hemisphäre für einen Vergleich notwendig wären, so dass letztlich kaum ein passendes Vergleichsjahr gefunden wird. Andererseits besteht die Gefahr bei zu wenigen Referenzpunkten, dass nur zufällig an jenen Stellen eine Übereinstimmung herrscht, sonst jedoch die großräumige Struktur der Druckverteilungen eine gänzlich andere ist und somit unpassende Jahre als Analogfälle von einem Programm ausgegeben werden könnten. Der Autor hat sich darauf geeinigt, bei seinem Analogie-Verfahren fünf Vormonate einzubeziehen. Die Erfahrung aus Testversuchen hat gezeigt, dass dies ein idealer

Kompromiss zu sein scheint. Das amerikanische Wetter- und Klimadatenzentrum (NOAA) stellt monatliche Grafiken zu sämtlichen meteorologischen Parametern ab 1948 frei zur Verfügung. Auf dieses Angebot wird zurückgegriffen. Betrachtet werden in den fünf Vormonaten nun die Luftdruckanomalien auf der nördlichen Hemisphäre und es findet ein Abgleich mit der Vergangenheit statt. Das Hauptaugenmerk wird dabei auf den Bereich zwischen dem 90. westlichen und 90. östlichen Längengrad auf atlantischer Seite gerichtet, also vornehmlich die Regionen Nordamerika, Nordatlantik, Europa, Russland betrachtet. Im Zweifelsfall wird aber auch der nordpazifische Raum zu Rate gezogen. Da die Druckanomalien im Bereich des Äquators sehr gering sind und hauptsächlich das Zusammenwirken von subtropischen Hochdruckgürtel, Tiefdruckrinne der gemäßigten Breiten und Polarhoch untersucht werden soll, bleibt der Bereich 0° bis 20° nördlicher Breite unberücksichtigt.

Von den fünf aktuellen Vormonaten sollten nun mindestens vier Monate in früheren Jahren eine im Großen und Ganzen ähnliche Struktur in der Druckabweichung aufweisen. Dabei wird so verfahren, dass in Fällen von besonders guter Übereinstimmung zwei Wertungspunkte vergeben werden, bei halbwegs gleichartiger Ähnlichkeit nur ein Punkt. Zum Schluss addiert man von jedem Jahr die Punkte zusammen. Die Jahre mit den meisten positiven Bewertungen werden als Analogien herangezogen. Wie auch hier die Erfahrung gelehrt hat, sollten sich ungefähr fünf bis zehn analoge Fälle ergeben, um ein sinnvolles, verwertbares Ergebnis zu bekommen. Von den ermittelten Vergleichsjahren wird anschließend eine Karte der mittleren Luftdruckanomalien für den betreffenden Vorhersagemonat erstellt.

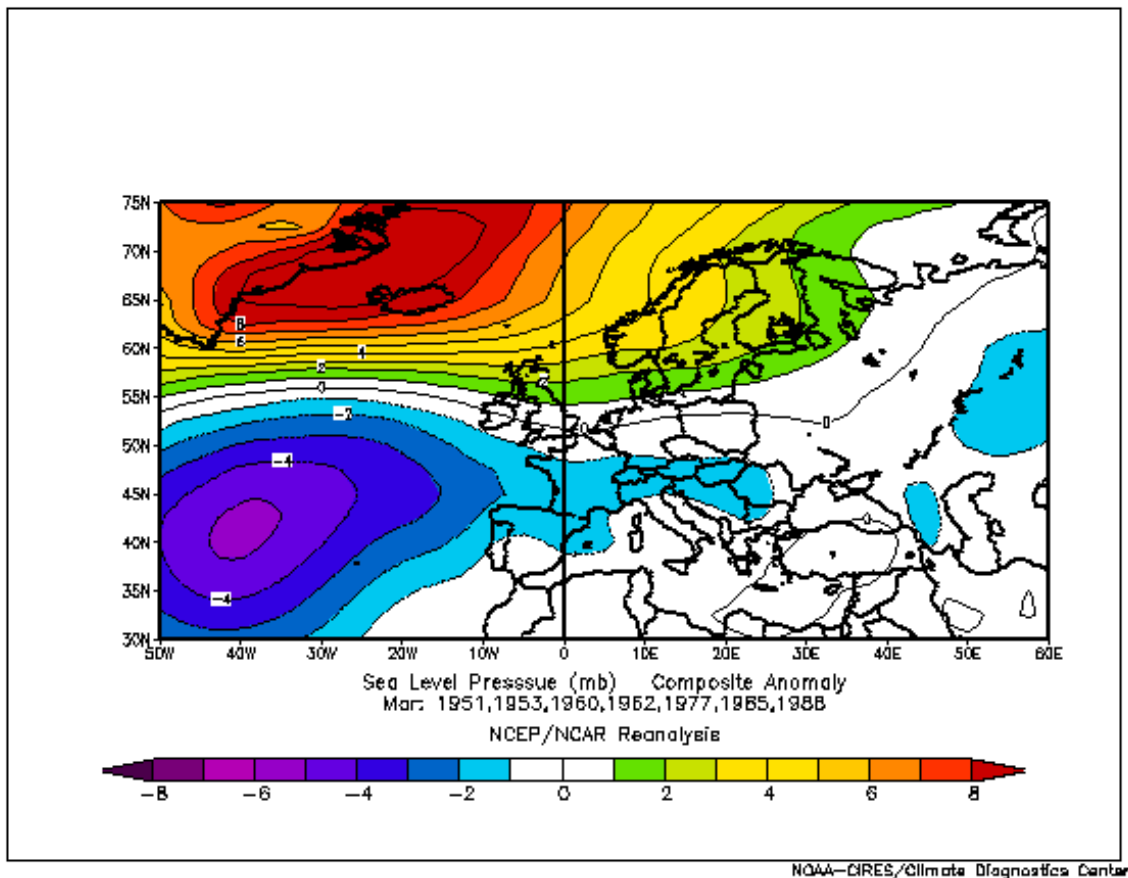
Damit das beschriebene Verfahren in grafischer Form Verdeutlichung findet, ist an dieser Stelle als exemplarisches Beispiel die Vorhersage des März 2001 angeführt, welche auch die erste veröffentlichte Prognose des Autors mittels Analogieverfahren darstellte.

Aus Analysen der Vormonate fanden sich sieben Vergleichsjahre, welche in der beigefügten Tabelle zusammen mit den dazugehörigen März-Temperaturabweichungen (gegenüber der Normalperiode 1961-1990) in Berlin abgebildet sind.

Analogjahre	März-Anomalie
1951	-1,7 K
1953	+2,3 K
1960	+0,1 K
1962	-3,1 K
1977	+2,4 K
1985	-0,3 K
1988	-0,8 K
Mittel:	<b>-0,2 K</b>

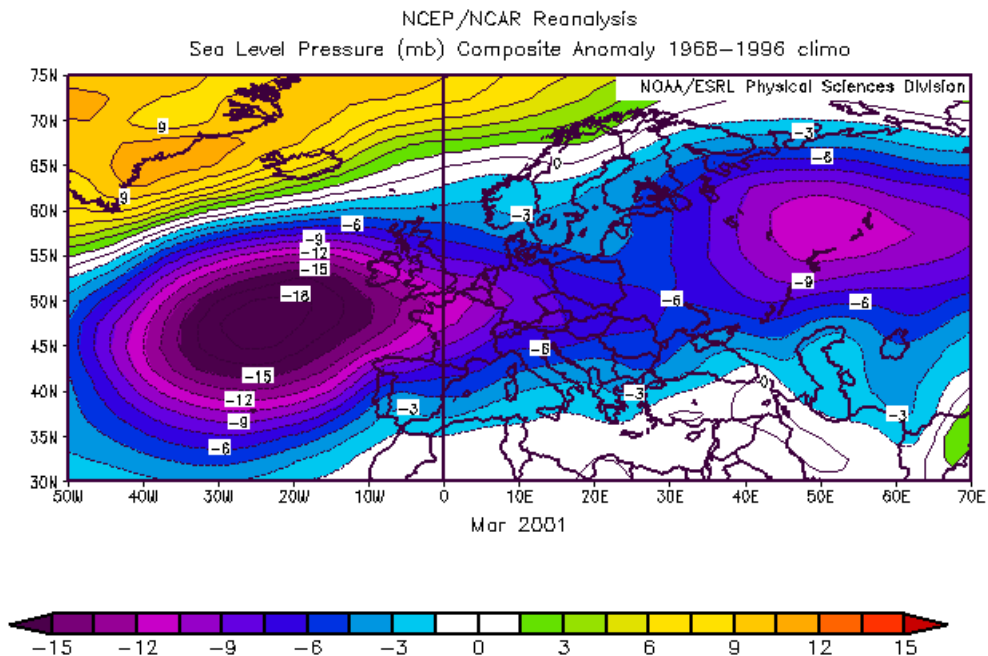
**Tab. 5:** Analogjahre für die Prognose des März 2001

Aus den Vergleichsjahren ergab sich für Berlin eine mittlere Temperaturabweichung des März von -0.2 K. Ende Februar 2001 veröffentlichte der Autor folgende Vorhersage in Kartenform. Wie zu erkennen ist, wurde im Raum Island/Grönland deutlich zu hoher Luftdruck prognostiziert, während die südlicheren Gebiete mit Schwerpunkt um die Azoren unter zu niedrigen Druck liegen sollten, was einer massiv abgeschwächten North Atlantic Oscillation (NAO) gleichkommt.



**Abb. 8:** Prognose der voraussichtlichen Druckabweichung für März 2001

Zur Verifizierung der gestellten Vorhersage wird nun die tatsächlich eingetretene Situation gegenüber gestellt.



**Abb. 9:** Tatsächlich eingetretene Druckabweichung im März 2001

Unschwer festzustellen ist, dass sowohl der deutlich übernormale Druck bei Island und Grönland, sowie der ebenso markant zu niedrige Druck vom Nordatlantik nahe der Azoren bis hinein nach Russland, im Allgemeinen sehr gut eintraf. Die Eintreffgenauigkeit war sogar so ideal, dass auch die prognostizierte Temperaturabweichung von  $-0,2$  K ziemlich nahe an den tatsächlich ermittelten Wert von  $-0,8$  K herankam und diese Veranschaulichung somit als Musterbeispiel für eine gelungene Analogievorhersage gelten kann. Umso erfreulicher war es daher, als auch die Vorhersage des Aprils 2001 zu einem ähnlich herausragenden Resultat führte und die Luftdruckabweichungen im atlantisch-europäischen Raum erneut mit großer Exaktheit bestimmt werden konnten. Auf nähergehende Details dazu soll aber in dieser Stelle verzichtet werden. Allerdings darf nicht unerwähnt bleiben, dass auch schon gravierende Fehlprognosen eingetreten sind, die das anfänglich positive Bild mehr oder weniger stark trübten. Eine davon war z.B. die Vorhersage des Januars 2006, wo der Schwerpunkt tiefen Luftdrucks über Skandinavien liegen und Mitteleuropa überwiegend in einer nordwestlichen, moderat milden Strömung verbleiben sollte. Stattdessen legte sich über Nordeuropa sehr hoher

Luftdruck, der Mitteleuropa häufig östliche Winde und kalte Temperaturen bescherte, was einer gegenteiligen Entwicklung entsprach. Neben einigen beachtlichen Erfolgen, wie denen im Frühjahr 2001, traten immer wieder derartige Fehlprognosen auf, deren Ursachen beispielsweise in einer ungünstigen Auswahl der Analogjahre oder in einem noch zu kleinen Untersuchungszeitraum zu finden sein könnten.

Andererseits zeigt es aber auch die Komplexität der Atmosphäre mit ihren vielen, teils unbekanntem Variablen und macht vor allem deutlich, wie sehr die (ernsthafte) Forschung bei Langfristprognosen noch am Anfang steht bzw. wie schwierig es ist, eine zuverlässige Vorhersagemethode zu konstruieren. Beim hier beschriebenen Analogieverfahren sieht der Autor kaum weiteres Entwicklungspotential. Dazu ist das Modell zu makroskalig angelegt. Meso- oder gar mikroskalige Faktoren werden nicht mit berücksichtigt. Außer einem noch konzentrierteren Auge bei der Wahl der Vergleichsfälle oder Berücksichtigung weltklimatischer Ereignisse, wie dem ENSO (El Niño), sind weitere Verbesserungsmöglichkeiten und damit Steigerungen der Vorhersagequalität nicht mehr zu erwarten. Da zudem eine sinnvolle Verifikation aufgrund fehlender, klarer Maßzahlen sehr schwierig ist, wird es auch für die Zukunft „nur“ ein Alternativmodell bleiben.

### **2.4.3 Naturregeln**

Nicht unerwähnt bleiben sollen an dieser Stelle die Anzeichen und Merkmale der Pflanz- und Tierwelt mit ihrem oftmals nachgesagten, prognostischen Wert. Vor allem bei Menschen, die im land- oder forstwirtschaftlichen Bereich tätig sind, erfreuen sich solche Naturregeln großer Beliebtheit. Da der Gegenstand dieser Arbeit hauptsächlich die Ausarbeitung langfristiger Vorhersagen unter Ausnutzung meteorologischer Parameter sein soll, wird auf den Bezug der Natur zum Wetter nur kurz eingegangen.

Die Schwierigkeit bei der Untersuchung auf prognostische Güte solcher Zusammenhänge liegt einmal darin, dass meist keine verifizierbaren Zahlen oder klaren Definitionen zugrunde liegen, sondern nur Beobachtungen subjektiv wiedergegeben werden.

Andererseits kann bei vielen Regeln keine eindeutige Aussage gemacht werden, ob ein vorliegendes Kriterium überhaupt erfüllt wurde oder nicht. Zur Erläuterung sei folgendes Beispiel angeführt:

*Hängt's Laub bis in den November hinein, wird der Winter ein Strenger sein*

Laut dieser Beobachtung soll in Jahren, in denen das Laub besonders lange an den Bäumen verbleibt, ein kalter Winter folgen. Hier stellt sich allerdings die Frage, ab wann diese Bedingung als gegeben bezeichnet werden kann.

Muss dafür noch das nahezu gesamte Laub im November an den Bäumen vorhanden sein oder wäre ein kleiner Teil bereits ausreichend? Bekannt ist außerdem, dass die einzelnen Baumarten zu ganz unterschiedlichen Zeiten beginnen, ihr Laub abzuwerfen. Für welche Bäume hat die Regel nun Gültigkeit?

Besonders deutlich wurde dies im Herbst 2006, als einige Baumarten bereits Ende September ihre Blätter im größeren Umfang verloren, andere aber erst im November, die zeitliche Bandbreite also recht groß war. Aus Gesprächen mit fachkundigen Gärtnern und Forstarbeitern ging hervor, dass Bäume lediglich auf die aktuellen Temperaturen, sowie die Licht- und Niederschlagsmengen der letzten Wochen reagieren. Gerade in Jahren mit zeitigen Nachfrösten, verbunden mit vielen Hochnebeltagen und verminderter Sonnenscheindauer, kommt es eher zu einem zeitigeren Laubabwurf.

Ein Zusammenhang mit der Witterung einer Folgejahreszeit kann jedenfalls nicht gefunden werden. Passend dazu seien auch noch die beiden Jahre 1995 und 1997 erwähnt, in denen generell ein sehr später Laubfall einsetzte. Während im ersten Fall der nachfolgende Winter tatsächlich sehr kalt ausfiel, wurde der Winter 1997/98 einer der mildesten überhaupt. In den letzten Jahren konnte man allgemein ein zeitlich späteres Auftreten des Laubfalls feststellen, was wohl mit der Klimaerwärmung zusammenhängen dürfte. Für seriöse Vorhersagezwecke sind Naturregeln nach Auffassung des Autors nicht zu gebrauchen.

### **3. Vorstellung Vorhersagemethode**

Wie bereits im vorigen Kapitel kurz angerissen, sollen nun in ausführlicher Art und Weise die einzelnen Arbeitsschritte, mathematische Berechnungsverfahren, sowie Ergebnisse und Verifikationen der Hauptmethode des Autors, kurz LRFS (Long range forecasting system) genannt, vorgestellt werden. Über systematische Luftdruckanalysen des gesamten Erdballs mittels eigener EDV-Software und Auswertung im Statistikprogramm erfolgen Gleichungsbestimmungen, so dass als Endresultat die Prognose der voraussichtlichen Temperaturabweichung eines Monats in Leipzig hervorgehen soll. Die Methode ist so angelegt, dass die Berechnungen und Veröffentlichungen immer zum Monatswechsel erfolgen.

#### **3.1 Überlegungen**

Die Verteilungen der Luftdruckfelder rund um den Globus samt ihrer Aktionszentren Hoch- und Tiefdruckgebiet sind maßgeblich für den Wärmeaustausch und Luftmassentransport in der Atmosphäre verantwortlich. Durch deren Zusammenspiel, welches auch Prozesse wie Bildung, Auflösung, Verlagerung oder Regenerierung der Zentren umfasst, kommt es im Laufe eines längeren Zeitraums (z.B. Monat) an einem Ort X zu unterschiedlichsten Ausprägungen des Wetters, der Temperatur, Feuchtigkeit, des Windes usw.

Für Europa relevant sind in dieser Hinsicht vor allem zwei Gebilde: Das Islandtief und das Azorenhoch. Beide Aktionszentren haben ihren Namen von den Gebieten, wo sie sich im Mittel hauptsächlich aufhalten. Es handelt sich dabei um dynamische Druckgebilde, die durch den meridionalen Wärmetransport der Luft entstehen und sich durch Beständigkeit und permanente Regeneration auszeichnen. Um die ständig schwankende Intensität von Islandtief und Azorenhoch zu charakterisieren und über längere Zeiträume miteinander zu vergleichen, wurde eine spezielle Maßzahl eingeführt – der NAO-Index.

Ist der Index positiv, so sind beide Druckzentren besonders gut ausgeprägt und über dem Nordatlantik dominiert eine starke westliche Strömung. Dies bezeichnet man auch als High-Index-Zirkulation. Ist er hingegen negativ, so ist die Westwindzirkulation deutlich abgeschwächt bzw. gar nicht vorhanden. Im Extremfall kann es sogar zur kompletten Umkehrsituation kommen, d.h. hoher Luftdruck über Island und tiefer über den Azoren. Dann wäre der NAO-Index besonders negativ (Low-Index-Zirkulation) und es herrschen östliche Winde auf dem Nordatlantik vor. Die NAO (North Atlantic Oscillation) wirkt sich aber nicht nur auf dem Atlantik aus, sondern reicht mit ihrem Einfluss bis weit nach Europa hinein und hat daher auch für Deutschland eine zentrale Bedeutung. So sind in unserem Raum z.B. milde Winter und maritim geprägte Sommer eng an positive NAO-

Werte gekoppelt, ebenso strenge Winter und niederschlagsarme Sommer an negative Indexwerte. Untersuchungen haben nun ergeben, dass gewisse Zusammenhänge zwischen der NAO und der Witterung Mitteleuropas nicht nur innerhalb eines Monats bestehen, sondern auch zwischen verschiedenen Monaten. Die Zusammenhänge sind mathematisch in Form von ausgeprägten Korrelationsbeziehungen nachweisbar. Daraus entwickelte sich nun die Idee, die NAO für langfristige Prognosezwecke zu verwenden.

Schnell stellte sich jedoch heraus, dass hohe Korrelationen über mehrere Monate nicht immer gegeben waren und somit die alleinige Verwendung des NAO-Index bzw. der Luftdruckwerte von Island und den Azoren nicht ausreichend für eine erfolgsversprechende Prognose ist. Vielmehr existieren rund um den Globus Fern- bzw. Wechselwirkungen (Telekonnektionen) zwischen den Luftdruckfeldern, die sich gegenseitig beeinflussen. Deshalb ist es sinnvoller, den Untersuchungsraum auf die gesamte nördliche und südliche Hemisphäre auszudehnen. Wie diverse Tests zeigten, bestehen selbst zwischen den Druckverhältnissen über Australien oder der Antarktis und der Temperatur Mitteleuropas statistisch signifikante Beziehungen.

Um nun genügend solcher Signifikanzpunkte für ein Vorhersagemodell verwenden zu können, ist es notwendig, die Aufmerksamkeit nicht nur auf den zuletzt abgelaufenen Monat zu lenken, sondern auch auf die Monate davor. Nach längeren, experimentellen Versuchen hat sich der Autor entschieden, die besten Korrelationsbeziehungen aus den jeweils letzten sechs Vormonaten für die Prognoseberechnungen zu benutzen.

Damit dürfte sichergestellt sein, dass eine genügend große Anzahl an signifikanten Luftdruckdatenmatrizen (Prediktoren) für jeden einzelnen Vorhersagemonat (Prädiktand) zur Verfügung steht. Als Untersuchungszeitraum wurde die Periode von 1949 bis 2001 gewählt, da hierfür ein homogener, monatlicher Temperaturdatensatz der Station Leipzig-Schkeuditz vorhanden ist, der mit den Luftdruckdaten korreliert werden soll. Inzwischen ist mehrfach der Begriff der „Signifikanz“ gefallen. Was verbirgt sich dahinter und woran erkennt man, ob ein Prediktor statistisch signifikant ist?

Beim Auswahlverfahren der Datensätze muss zunächst eine Grenze definiert werden, ab welcher ein Datensatz als Prediktor geeignet ist. Dies geschieht durch eine Signifikanzprüfung des bivariaten Korrelationskoeffizienten zwischen jeden einzelnen Prediktor und dem Prädiktand. Die Formel dazu lautet:

$$t = \frac{r_p \sqrt{n-2}}{\sqrt{1-r_p^2}}$$

**Abb. 10:** Formel zur Signifikanzprüfung eines Korrelationskoeffizienten

Dabei ist  $r_{xy}$  die Größe des Korrelationskoeffizienten,  $n$  die Anzahl der Jahre im Untersuchungszeitraum und  $t$  der t-Wert des Tests. Um eine gewisse Zuverlässigkeit der Beziehungen zu gewährleisten, wurde vom Autor entschieden, dass die Korrelation eines jeden Prediktors mit dem Prädiktanden auf dem 99%-Level signifikant sein muss. In einem 53 Jahre umfassenden Untersuchungskollektiv wird laut t-Test das 99%-Signifikanzniveau bei einem Korrelationskoeffizienten von  $\geq 0,32$  (bzw.  $\leq -0,32$  bei negativer Korrelation) erreicht. Faktisch bedeuteten die 99%, dass auch in anderen Beobachtungszeiträumen mit besagter Wahrscheinlichkeit eine dem Vorzeichen (positiv oder negativ) entsprechende Korrelation zwischen zwei untersuchten Variablen erwartet werden kann. Für meteorologische Parameter in gemäßigten Breiten bedeuten Korrelationen von  $>0,32$  in einem 53jährigen Zeitraum schon recht ausgeprägte Zusammenhänge und man kann von realen Beziehungen zwischen Ausgangs- und Zielgröße ausgehen. Mit der Extraktion der Prediktoren sind bereits die Grundlagen für die nächsten Schritte des Modells geschaffen worden.

### **3.2 Datensätze**

Für die Datengewinnung werden in erster Linie zwei Dateien vom amerikanischen Klimaarchiv des NOAA (National Oceanic and Atmospheric Administration) mit relevanten Informationen herangezogen.

Die vorrangig verwendete Datei ist eine ständig aktualisierte Datenquelle mit mittleren, monatlichen Luftdruckwerten ab 1948 und wird für die Korrelierung der Datenspalten, sowie zur Datenausgabe der letzten sechs Vormonate verwendet. Da die Messwerte des aktuell abgelaufenen Monats immer erst einige Tage nach Monatswechsel in der Datei erscheinen, die Prognose zu diesem Zeitpunkt aber schon aktualisiert sein sollte, wird auf die zweite Datenquelle zurückgegriffen, wo die Speicherung der Messwerte täglich erfolgt. Zwar ist auch hier eine kleine Verzögerung von zwei bis drei Tagen bei der Aktualisierung der Daten zu verzeichnen, allerdings liegen regelmäßig zum Monatswechsel von mindestens 28 Tagen des gerade zu Ende gegangenen Monats Messdaten vor, die zu einem monatlichen Durchschnittswert zusammengefasst werden.

Die Datenfixierung ist in den Dateien nicht an einzelne Stationen gebunden, sondern erfolgt in Form des Koordinatengitternetzes der Erde. Sowohl die monatliche, als auch die tägliche Datendatei enthalten Luftdruckwerte jeweils im Gitterpunktabstand von  $5^\circ \times 5^\circ$ . Bei der Korrelierung der Luftdruckreihen wurden die Messungen aus dem Bereich Himalaja und Tibet nicht mit berücksichtigt, da es bei der Reduktion der Daten auf Normalnull wahrscheinlich zu fehlerhaften Angaben kam. Insgesamt werden somit pro Vormonat Druckwerte von 1997 Gitterpunkten auf Nord- und Südhalbkugel hinsichtlich

ihrer Korrelation zur Zielgröße (Prädiktand) untersucht und dabei die geeignetsten als Prediktor extrahiert.

Monatliche Temperatur- oder Niederschlagsmessungen, die als Prädiktanden dienen sollen, finden sich für etliche Stationen in weltweiten Klimadatenarchiven.

Wichtig für die Erstellung der Prognosen ist, dass auch diese Daten für den gewählten Untersuchungszeitraum in homogener Form vorliegen und keine falschen oder fehlenden Werte vorhanden sein sollten. Für viele Stationen sind diese Bedingungen aber nicht gegeben, so dass man in solchen Fällen Kompromisse bei der Exaktheit der Untersuchungen eingehen muss.

Um eine Vorstellung zu bekommen, wo signifikante Gebiete für eine Prognose liegen können, ist im Anhang der Arbeit ein Vorhersageschema für den Monat Januar beigefügt. Die Regionen, die mit ihren Korrelationskoeffizienten das 99,9%-Signifikanzlevel überschreiten, sind hier fett hervorgehoben.

### **3.3 Programmarbeit**

Da der manuelle Aufwand für die ganzen Korrelierungsvorgänge, sowie die Extraktion der Prediktoren immens ist und per Handarbeit nicht zu bewältigen wäre, werden sämtliche der genannten Arbeiten von einem Programm automatisch durchgeführt. Das Programm, von seinem Entwickler REINHOLD BÜCHNER SLPMON genannt, ist in der Lage, die im NetCDF-Format vorliegende Luftdruckdatenquelle einzulesen und mit den monatlichen Temperaturdaten einer extern erstellten Textdatei zu korrelieren.

Bei SLPMON handelt sich um ein DOS-Programm, welches in Fortran77 geschrieben und Windows-kompatibel ist. In der zuständigen Steuerungsdatei kann eine Vielzahl von Extraktionskriterien verändert werden, wie z.B. die Anzahl der Vormonate, die in die Untersuchung einfließen sollen oder die Auswahlsschwelle des Korrelationskoeffizienten. Die Handhabung des Programms ist sehr einfach. Nach dem Start wird man zunächst aufgefordert jenes Jahr einzugeben, in welchem der letzte (gerade abgelaufene) der sechs zu analysierenden Vormonate liegt. In der Regel ist dies das aktuelle Jahr. Als nächster Schritt folgt die Definition des letzten Vormonats in Form einer Zahl (z.B. „11“ für November). Zuletzt wird noch der Monat als Zahl verlangt, dessen Temperaturdaten mit den Luftdruckmatrizen der Vormonate korreliert werden sollen, sprich, der zum Schluss prognostiziert wird. Im abgebildeten Beispiel sind die Eingabeschritte für eine künftige Januarprognose dargestellt, wenn der letzte Vormonat der November war.

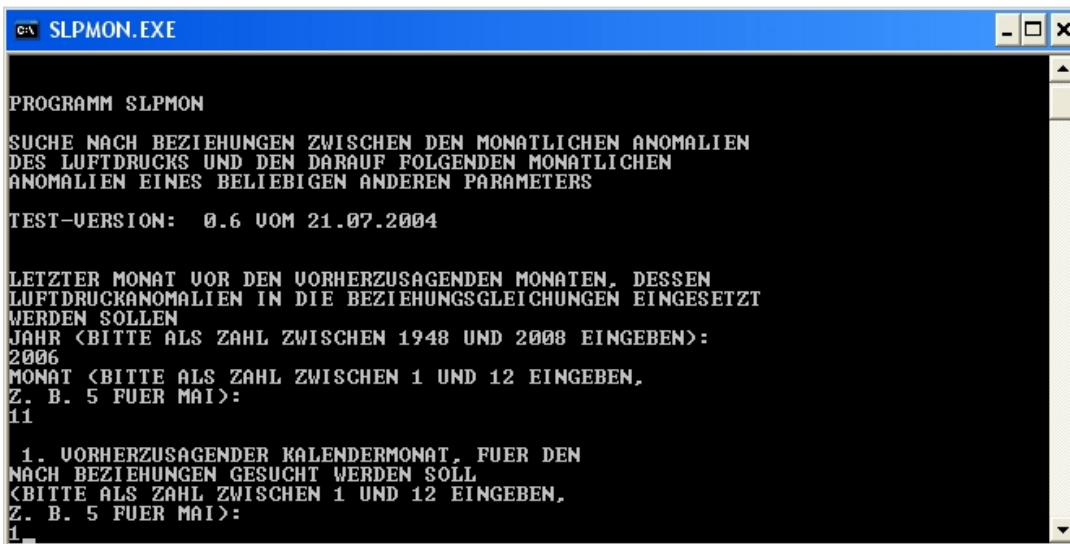


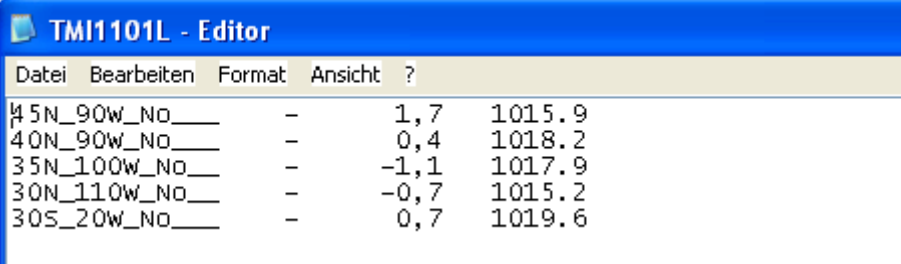
Abb. 11: Anweisungen an SLPMON zur Extraktion von Prediktoren

Für die Korrelationsanalysen und die anschließende Extraktion der geeigneten Prediktoren benötigt SLPMON je nach Rechengeschwindigkeit, Anzahl der zu untersuchenden Vormonate und definiertem Koeffizientengrenzwert ca. eine Minute. Das Besondere an dem Programm ist, dass die extrahierten Prediktoren mit den Luftdruckanomalien als Datenmatrizen in eine EXCEL-kompatible Textdatei geschrieben werden, so dass man sie anschließend weiterbearbeiten kann. Der folgende Screenshot zeigt einen kleinen Ausschnitt dieser Textdatei, wobei die erste Zeile die Koordinaten (samt Angabe des Vormonats) der Luftdruckmatrizen wiedergibt. Ab Zeile zwei beginnen abwärts fallend die Messergebnisse zu den Gitterpunkten für jedes Jahr von 1949 bis 2001. Die letzte Spalte ist standardmäßig der Prediktand, in unserem Falle also die Temperaturabweichung des Januars (Folgejahr!) in Leipzig.

45N_90W_No	40N_90W_No	35N_100W_No	30N_110W_No	30S_20W_No	Januar
-4,4	-3,6	0,1	-0,1	-1,7	-1,5
-0,7	0,2	1,3	-1,8	-2,7	1,9
2,2	1,9	1,4	-0,9	-0,6	1,1
-1	0	1	-0,1	-2,1	-0,3
1,8	2,5	2,3	1,2	0,9	-3,7
-0,4	-0,2	1,2	0,8	0,2	-1,9
-2,5	-1,8	-0,6	-0,3	-0,2	0,4
-0,9	-0,7	2,5	1,7	-0,6	0,5
-2,1	-0,9	0,5	0	-0,5	0,3
-3,1	-1,5	-1,2	-0,3	-1	1
1,7	1,5	2,7	1,1	1,6	0,4
-2,4	0	1,2	0,7	3,8	-0,9
1,7	1,4	0,9	-0,1	0,5	2,7
3,6	2,4	1,3	0,1	0,4	-8,8
-1,8	-0,7	-0,5	0,1	-0,9	-2,7
-0,1	1	-0,6	1	0,9	1,8
-0,8	0,1	-1	-0,2	1,7	-3,5
1,9	0,7	-0,1	0,2	0,1	1,2
-0,7	0	-0,2	-0,2	-2,6	-0,9
-0,8	-2	-2,7	-1,3	-3,5	0,5

Abb. 12: Extrahierte Prediktoren samt ihrer Koordinaten und Messwerte in der Textdatei

Parallel zur ersten Datei wird noch eine weitere Textdatei erstellt, welche die zu den jeweiligen Prediktoren gehörenden, aktuellen Messwerte (Anomalien) der sechs Vormonate enthält. Außerdem werden in der Datei noch als Zusatzinformation die Richtungen der einzelnen Korrelationen (positiv oder negativ), sowie die langjährigen Mittelwerte der Prediktoren ausgegeben.



File	Edit	Format	View	?
45N_90W_No__	-	1,7	1015.9	
40N_90W_No__	-	0,4	1018.2	
35N_100W_No__	-	-1,1	1017.9	
30N_110W_No__	-	-0,7	1015.2	
30S_20W_No__	-	0,7	1019.6	

**Abb. 13:** Aktuelle Messwerte der Prediktoren aus den letzten Monaten

Der Prediktand ist selbstverständlich veränderbar und statt der Temperatur- oder Niederschlagsabweichung Leipzigs können auch andere meteorologische Parameter bzw. andere Städte und Regionen verwendet werden. Wichtig ist nur eine homogene Datenserie und die Einhaltung eines vorgegebenen Formates. Die eigentliche Arbeit von SLPMON ist damit abgeschlossen.

Die nachfolgenden Schritte dienen bereits zur Vorbereitung mathematischer Aufgaben im Statistikprogramm. Zunächst wird die Textdatei mit den extrahierten Prediktoren in EXCEL geöffnet. Danach müssen die zu den Prediktoren gehörenden, aktuellen Daten der sechs Vormonate aus der zweiten Textdatei kopiert, exponiert und anschließend unter die letzte Datenzeile der Prediktorenmatrix eingefügt werden. Diesen Vorgang erledigt ein geeignetes Makro. Zum Schluss wird die Datenmatrix in einem EXCEL-Format gespeichert, welches problemlos im Statistikprogramm SPSS geöffnet werden kann. Enthält die Textdatei mehr als 255 Prediktoren (+1 Prediktand), was in seltenen Fällen bei vielen und starken Korrelationen vorkommt, so muss die Datei direkt im SPSS geöffnet und die aktuellen Daten per Hand nachgetragen werden, da EXCEL nur maximal 256 Datenspalten erlaubt. Die Datenselektierung und -vorbereitung ist an der Stelle beendet.

### 3.4 Mathematische Verfahren

Das Programm SPSS wurde deshalb für die rechnerischen Folgeaufgaben gewählt, weil es einen enormen Funktionsumfang bietet und die Bearbeitung großer Datenmengen möglich ist. Es wurden auch einfachere Tools, wie z.B. WinSTAT, in Erwägung gezogen, aufgrund der begrenzten Spaltenanzahl in EXCEL und eingeschränkter

Berechnungsmöglichkeiten des Tools bot SPSS aber wesentlich mehr Vorteile. Im Mittelpunkt der sich nun anschließenden Arbeitsschritte stehen dabei zwei mathematische Verfahren, die das künftige Bild der LRFS-Methode entscheidend prägen sollen: Die EOF-Analyse und die multiple lineare Regression.

Die EOF-Analyse (Empirische Orthogonalfunktion) – auch Faktorenanalyse genannt – ist ein Verfahren, bei dem mittels mathematischer Techniken nach Gemeinsamkeiten in der Struktur von Daten (in unserem Fall den Prediktoren) gesucht wird und dabei viele, ursprüngliche Prediktoren ohne gravierenden Informationsverlust zu neuen, deutlich weniger Variablen zusammengefasst werden. Wie gut ein einzelner Prediktor dann zu einer Variablengruppe passt, dafür ist die korrelative Beziehung unter den Prediktoren verantwortlich. Eine Variable kann man sich hierbei als „besten Repräsentanten“ einer Gruppe von ähnlichen Prediktoren vorstellen. Es findet sozusagen eine Komprimierung großer Datenmengen (Variablen-Bündelung) statt. Dadurch ist eine sinnvollere Auswertung und Interpretation größerer Datensätze möglich.

Bei der multiplen (mehrfachen) linearen Regression setzt man mehrere Prediktoren in Beziehung zu einer Zielgröße (Prediktanden). Über die Methode der kleinsten Fehlerquadrate und der daraus resultierenden Gleichung wird der mathematische Erwartungswert des Prediktanden berechnet, was gleichzeitig auch die Prognose des betreffenden Monats darstellt. Kurz gesagt wird mittels Prediktoren eine Gleichung erstellt, die den eingetretenen Werten des Prediktanden im Untersuchungszeitraum so nahe wie möglich kommt.

Theoretisch könnten die extrahierten Prediktoren sofort als Variablen in die Regression eingesetzt werden, jedoch hat sich die Zwischenschaltung einer EOF-Analyse vor der Regressionsberechnung nicht nur als sinnvoll, sondern sogar als notwendig erwiesen. Grund hierfür ist einmal, dass durch eine zu große Anzahl von Prediktoren in der Gleichung das Modell „überfüttert“ und zu sehr auf die Zustände im Untersuchungszeitraum angepasst werden würde, was sich in der Praxis als prognoseschädlich herausgestellt hat. Andererseits wird durch eine bewusste Auswahl einiger weniger Prediktoren nur ein sehr kleiner Teil der Gesamtvarianz der signifikanten Luftdruckfelder repräsentiert, was die Prognose instabil und unsicher erscheinen lässt. Ebenso können an einzelnen Gitterpunkten fehlerhafte Messungen bzw. eine für den gesamten Signifikanzraum nicht repräsentative oder abweichende Beobachtung auftreten, die dann als Verfälschungen in das Regressionsmodell einfließen. Ein weiteres Problem wäre auch das Auswahlkriterium bei der Selektion der für die Gleichung bestmöglichen Prediktoren. Zwar gibt es hier Möglichkeiten (z.B. schrittweise Regression), die Auswahl per statistischer Definition zu treffen, dass also diejenigen Variablen herangezogen

werden, die am stärksten zur Varianzaufklärung der Zielgröße beitragen, allerdings würde dies zu einem ständigen Wechsel der Variablen von Monat zu Monat führen, so dass wiederum starke Schwankungen innerhalb einer Prognose die Folge wären.

Durch die EOF-Analyse dagegen wird das Problem der zu gering repräsentierten Varianz von Signifikanzfeldern beträchtlich relativiert und die Prognosen fluktuieren weniger stark. Der Autor hat sich darauf geeinigt, für die Extraktion die Hauptkomponentenmethode anzuwenden und bei jeder Monatsprognose die Anzahl der durch die EOF-Analyse neu entstandenen Variablen auf zehn zu begrenzen. Diese Menge wurde willkürlich festgelegt und obliegt keiner wissenschaftlichen Argumentation. Bei zehn neu entstandenen Prediktoren werden laut Faktorenanalyse immerhin ca. 60 bis 70 % Varianz der ursprünglichen Prediktoren dargestellt, was im Gegensatz zum Verfahren ohne EOF-Analyse einen deutlichen Qualitätsgewinn und verstärkten Stabilisierungsgrad der Prognose ausmacht. Im finalen Schritt werden nun die zehn Variablen mit dem Prediktanden in Beziehung gesetzt und mittels SPSS die Regressionsgleichung ermittelt. Eine bedeutsame Eigenschaft der vorigen Faktorenanalyse kommt jetzt zur Geltung, denn durch das EOF-Verfahren sind die neu entstandenen Variablen untereinander unkorreliert. Dies hat den großen Vorteil, dass man zur Regressionsbildung alle Variablen „gleichberechtigt“ in die Gleichung einsetzen kann ohne vorher abwägen zu müssen, welche stärker gewichtet werden sollten. Damit erspart man sich auch Methoden wie das schrittweise oder vorwärts gerichtete Verfahren, wo die Auswahl aufgrund statistischer Kriterien erfolgt und der Anwender somit nur indirekten Einfluss auf die Gewichtung der Variablen hat. In die ermittelte Gleichung werden nun die zu den Variablen gehörenden, aktuellen Spaltenwerte eingefügt, mit den jeweiligen Regressionskoeffizienten multipliziert und schließlich der voraussichtliche Erwartungswert (Abweichung vom Mittel) bestimmt. Dies geschieht über die multiple Regressionsformel

$$Y = \beta_0 + \beta_1 X_1 + \beta_2 X_2 + \dots + \beta_p X_p,$$

wobei  $\beta_0$  eine Konstante ist, während die anderen  $\beta$  die Regressionskoeffizienten und  $x$  die aktuellen Spaltenwerte darstellen. Auch wenn der errechnete Erwartungswert nur eine statistische Angabe widerspiegelt, so kann man dennoch interessante Schlüsse daraus ziehen. Wird nämlich beispielsweise eine stark negative Temperaturabweichung berechnet, so ist die Wahrscheinlichkeit für einen generell zu kalten Monatsverlauf höher als bei einer gering errechneten Abweichung. Über den mittleren Fehler der Gleichung sowie der t-Verteilung lassen sich die Mutungsintervalle bestimmen, in deren Bereich man den tatsächlich eintretenden Wert mit entsprechender Wahrscheinlichkeit erwarten kann. Beträgt z.B. die voraussichtliche Abweichung eines Monats  $-1,5$  K und liegt der mittlere

Fehler der Prognose bei 1,1 K, so ist mit 75%iger Wahrscheinlichkeit damit zu rechnen, dass der Monat im Bereich  $-1,5 \text{ K} \pm (1,17 \cdot 1,1 \text{ K}) = -0,2 \text{ K}$  bis  $-2,8 \text{ K}$  anzutreffen sein wird, da der t-Wert für 75% bei 53 Untersuchungsjahren 1,17 beträgt.

Eine weitere bedeutende Größe, die SPSS bei der Regressionsanalyse liefert, ist der Determinationskoeffizient  $r^2$ , der ein Maß für die Modellanpassung der Prognose ist. Mit 100 multipliziert gibt er an, wieviel Prozent der Varianz des Prediktanden durch die zehn Variablen erklärt werden kann. Meistens ergeben sich bei den Monatsprognosen Werte zwischen 70 und 80 Prozent. Ein hoher Determinationskoeffizient bedeutet zwar eine große Varianzaufklärung durch die Variablen, allerdings muss damit keineswegs eine höhere Prognosesicherheit verbunden sein, da sich das Ergebnis nur am Beobachtungszeitraum richtet und der tatsächliche Verlauf ein ganz anderer sein kann. Dennoch ist er zur Interpretation für die Tauglichkeit der neu entstandenen Variablen sehr hilfreich. Da der Erwartungswert nur eine statistische Maßzahl ist, werden die Prognosen auf der Homepage des Autors sowie in den Beispielvorhersagen dieser Arbeit in 0,5 K-Schritten angegeben.

Statt monatlicher Temperatur- bzw. Niederschlagsdaten ist als Prediktand auch die Verwendung jahreszeitlicher Anomaliewerte möglich, um zu prüfen, ob sich beim saisonalen Trend Unterschiede gegenüber den einzelnen Monatsprognosen ergeben.

### **3.5 Verifikationen**

Unerlässlich für die dauerhafte Überwachung der Prognosequalität ist eine exakte und ausführliche Verifikation aller Vorhersagen. Nur damit ist es möglich zu erkennen, ob eine Vorhersagemethode tatsächlich brauchbare Resultate liefert oder eine Zufallsprognose auf längerer Sicht doch erfolgsversprechender ist. An hiesiger Stelle sollen nur die Temperaturprognosen angesprochen werden, da die Niederschlagsvorhersagen ohnehin mit größerer Vorsicht zu genießen sind und deshalb nur Angaben wie „zu trocken“ oder „zu nass“ enthalten.

Wie bereits kurz angedeutet ist die beste Möglichkeit der Verifizierung einer Vorhersage der direkte Vergleich mit einer zufällig gestellten (Referenz-)Prognose. Um die Kontinuität der Referenzprognosen zu wahren, verwendet man dafür bei Langfristprognosen die Klimaprognose, d. h. der langjährige Mittelwert wird vorhergesagt (Abweichung  $\pm 0,0 \text{ K}$ ). Zunächst wird für die Langfrist- und Referenzprognosen der BIAS bestimmt. Dabei handelt es sich um den systematischen Fehler einer Vorhersage, der anzeigt, ob die Methode zu warm oder zu kalt prognostiziert. Bei negativem BIAS sagt die Methode im Mittel zu warm vorher und umgekehrt. Der BIAS der Referenzprognose macht dagegen deutlich, ob der zu verifizierende Zeitraum wärmer oder kälter als das langjährige Mittel

gewesen ist. Mehr Auskunft über die Genauigkeit der Prognosen gibt wiederum der RMSE (root mean squared error) – die Wurzel des mittleren quadratischen Fehlers – welcher sich aus folgender Formel herleitet:

$$RMSE = \sqrt{\frac{\sum_i^j (\text{obs} - \text{exp})^2}{N}}$$

**Abb. 14:** Formel für die Berechnung des mittleren quadratischen Fehlers

Dabei steht im Zähler des Bruchs die Summe der Quadrate aus der Differenz zwischen eingetretenen und vorhergesagten Wert. Der gleiche Schritt wird auch mit der Referenzprognose für  $\text{exp} = 0,0$  durchgeführt. Bei einer perfekten Prognose würde sich ein RMSE von 0 ergeben. Zur endgültigen Bewertung der Vorhersageleistung wird die Reduktion der Varianz (RV) verwendet, wobei nun die Gegenüberstellung der Vorhersage mit der Referenzprognose stattfindet.

$$RV = 1 - (RMSE / RMSE_{\text{Ref}})^2$$

Allgemein lassen sich daraus folgende Erkenntnisse ziehen:

- RV = 1 : perfekte Prognose
- 0 < RV < 1 : Prognose ist besser als Referenzprognose
- RV = 0 : Prognose genauso gut wie Referenzprognose
- RV < 0 : Prognose schlechter als Referenzprognose

Eine reale Vorhersageleistung wird also nur dann erbracht, wenn  $RV > 0$  ist. Bei einem negativen RV-Wert fährt man dagegen mit der Klimaprognose besser.

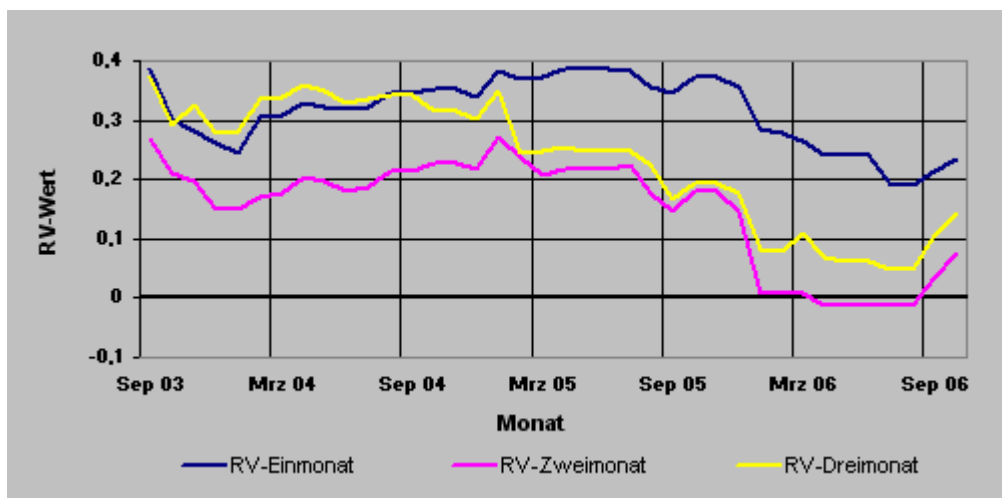
Wie schnitten nun die Langfristprognosen des Autors in den letzten Jahren ab? Um diese Frage kurz in überschaubarer Form zu beantworten, sind die vorgestellten Prüfmethode samt ihrer Ergebnisse in einer Tabelle zusammengestellt.

	1. Monat	2. Monat	3. Monat	Jahreszeit
Anzahl der Prognosen	44	44	44	14
BIAS	+0,25 K	+0,18 K	+0,23 K	+0,06
RMSE	1,64 K	+1,81 K	+1,73 K	1,08 K
RV	+0,23	+0,07	+0,14	+0,14
RV <sub>T</sub>	+0,23	+0,09	+0,18	+0,3

**Tab. 6:** Verifikation der Vorhersagen des Autors aus den letzten 44 Monaten

Verifiziert wurden jeweils die Ein-, Zwei- und Dreimonatsprognosen von 44 Monaten (Zeitraum März 03 bis Oktober 06), sowie 14 saisonale Vorhersagen. Die Verifikation beginnt deshalb im März 2003, da erst hier die Erweiterung der Vorhersagemethode mit der Faktorenanalyse stattfand und seitdem nur wenige Veränderungen vorgenommen wurden. Die Tabelle wurde zudem mit dem Feld  $RV_T$  erweitert, das die Genauigkeit der Trendprognose („zu warm“, „zu kalt“) wiedergibt.

Der Verlauf der RV-Werte in den letzten drei Jahren ist für die Monatsprognosen noch einmal grafisch als Diagramm dargestellt. Die ersten sechs Monate wurden dabei nicht mit berücksichtigt, da es sich um die „Einschwingphase“ der Prüfgröße handelt.



**Abb. 15:** Verlauf des RV-Wertes der einzelnen Monatsprognosen

Fazit: In der Tabelle ist ersichtlich, dass bei allen drei Monatsprognosen der RV-Wert positiv war. Das bedeutet, dass jede Monatsprognose eine Vorhersageleistung erbracht hat. Dabei lieferte die Einmonatsprognose um 23 % bessere Werte als die Referenzprognose und brachte somit erwartungsgemäß genauere Ergebnisse als die Zwei- und Dreimonatsprognose. Erstaunlicherweise kann die Dreimonatsprognose zum jetzigen Zeitpunkt mit besseren Resultaten aufwarten als die Zweimonatsprognose. Eine Erklärung hierfür könnte im noch zu geringen Untersuchungsumfang liegen. Weiterhin ist zu erkennen, dass bei der Trendprognose (Vorhersage des Vorzeichens) ebenfalls recht gute Resultate erzielt wurden, wobei auch in dem Fall die einmonatigen Prognosen etwas besser abschnitten als die Restlichen. Insgesamt entsprechen die Ergebnisse ungefähr denen des "normalen" RV-Wertes. Dies könnte aber auch hier an der recht kurzen Verifikationszeitspanne liegen und sich somit in der Zukunft noch ändern. Gleiches gilt für die Jahreszeitprognosen, die hier z. Z. das beste Ergebnis markieren - ein Zeichen dafür, dass die einfache Trendprognose einer Jahreszeit ("der Winter wird milder als normal.....") noch immer die zuverlässigste Aussage im langfristigen Bereich ist. Generell sind aber die Resultate in allen Bereichen als vielversprechend zu bewerten.

## 4. Anwendung am Beispiel

Um die theoretischen Ausführungen des letzten Kapitels praktisch umzusetzen, sollen in diesem Abschnitt konkrete Beispiele angesprochen werden. An erster Stelle steht dabei die Darstellung der Vorhersage des Herbstes 2006 (September, Oktober und November) sowie deren Auswertung. Desweiteren wird bereits auf die Prognose des Winters 2006/07 eingegangen und bestimmte Anzeichen für den möglichen Verlauf werden näher erläutert.

### 4.1 Prognose Herbst 2006

Zunächst gilt erst einmal festzuhalten, dass jede langfristige Vorhersage nur ein statistisch ermittelter Trend ist und somit Witterungsextreme nur schwer oder gar nicht erfassen kann. Umso schwieriger war deshalb die Prognose des Herbstes 2006, da sich dieser Herbst mit einer Temperaturabweichung von +3,2 K (gegenüber 1961-90) in Deutschland als der Wärmste seit Aufzeichnungsbeginn vor über 200 Jahren erwies. Dennoch konnten sich die Ende August gestellten Prognosen durchaus sehen lassen, wie nachfolgende Tabelle zeigt.

Monat	Temperaturabweichung		Niederschlagsabweichung	
	Prognostiziert	Eingetreten	Prognostiziert	Eingetreten
<b>September</b>	+1,0 K	+3,7 K	zu trocken*	-30 mm
<b>Oktober</b>	+1,5 K	+3,0 K	normal	+03 mm
<b>November</b>	±0,0 K	+3,6 K	zu trocken*	-12 mm
<b>HERBST</b>	<b>+1,1 K</b>	<b>+3,4 K</b>	zu trocken	-39 mm

**Tab. 7:** Übersicht der vorhergesagten und eingetretenen Werte im Herbst 2006

Anmerkung: Die beobachteten Temperaturabweichungen stammen von der offiziellen Station Leipzig-Schkeuditz. Für die Niederschlagswerte wurden durchschnittliche Messungen mehrerer Stationen Deutschlands verwendet, da das Ergebnis einer einzigen Station zu sehr von konvektiven Einzelereignissen (Schauer und Gewitter) geprägt sein könnte und damit Verfälschungen die Folge wären.

Zustande gekommen sind alle Temperatur- sowie die Niederschlagsprognosen für Oktober und den Gesamtherbst mittels LRFS-Verfahren. Die Niederschlagsvorhersagen für September und November wurden dagegen durch Witterungsregeln erstellt und sind daher mit einem Stern (\*) markiert. In Fällen, wo bei der Niederschlagsprognose die Anwendung einer Witterungsregel möglich war, wurde dieser der Vorzug gegenüber dem

LRFS-Verfahren gegeben. WICHTIG: Die Vorhersageberechnungen des Gesamtherbstes wurden unabhängig von den einzelnen Monatsprognosen durchgeführt und sind deshalb nicht bloße Mittelungsergebnisse.

Wie man an der Tabelle erkennt, war für Deutschland aufgrund beschriebener Vorhersageverfahren ein zu **wärmer und trockener Herbst** zu erwarten. Vor allem in den Monaten September und Oktober sollten sich vermehrt wärmere Wetterlagen zeigen.

#### 4.2 Auswertung und Analyse

Bis auf die Temperaturprognose des Novembers, wo mit einem durchschnittlichen Verlauf gerechnet wurde, zeigten alle anderen Vorhersagen – sogar die des Niederschlags - gute bis sehr gute Resultate. Da es kaum möglich sein wird, extreme Temperaturverhältnisse langfristig zu prognostizieren, muss man gerade in solch besonderen Fällen Abstriche bei der Exaktheit machen und näherungsweise Ergebnisse als zufriedenstellend einstufen. Die Fehlprognose des Novembers könnte u.a. Ursache der viel zu hohen Temperaturen von Nord- und Ostsee aufgrund der Wärme im September und Oktober gewesen sein.

Wie kamen nun die Ergebnisse der Vorhersagen zustande?

Es würde sicherlich den Rahmen der Arbeit sprengen, auf jede Datenauswertung samt Arbeitsschritte der Prognosen einzugehen, zumal der theoretische Teil bereits im letzten Kapitel besprochen wurde. Deshalb soll an der Stelle ausreichen, jene Signifikanzgebiete mit ihren Messwerten und Art der Korrelation anzugeben, die einen entscheidenden Einfluss auf die Prognosen hatten. Es handelt sich allerdings nur um eine kleine Auswahl.

September	Oktober	November
55N_45O_Jun + 3,5	75S_165W_Jun - -10,3	65S_170W_Jun + -8,9
50N_45O_Jun + 3,1	75S_145W_Jun - -10,8	65S_175O_Jun + -7,4
50N_55O_Jun + 2,5	75S_125W_Jun - -8,5	70S_170O_Jun + -7,2
75N_85W_Jul - -4,4	45N_170O_Au + 3,5	20N_165O_Au - -1,3
70N_90W_Jul - -4,4	45N_130W_Au + 3,1	20N_170O_Au - -1,8
65N_65W_Jul - -2,9	40N_170O_Au + 2,5	20N_175O_Au - -1,6

**Tab. 8:** Signifikanzgebiete, die großen Einfluss auf die Prognose des jeweiligen Monats hatten

September: Hoher Druck während des Junis im Bereich der Wolga, sowie tiefer Luftdruck rund um die Gebiete des Baffin Bay und Nordkanadas im Juli gaben u.a. den Ausschlag für eine zu warme Prognose.

Oktober: Hier ist vor allem besonders tiefer Luftdruck in der Region Rossmeer/Antarktis im Juni und hoher Druck im August entlang des Nordpazifiks verantwortlich für die positiv prognostizierte Abweichung.

November: Für den Monat gab es sowohl „kalte“ als auch „warme Anzeichen“, weshalb die Berechnungen im Endeffekt zu einem normal temperierten November führten. Ein Faktor, der für eine negative Abweichung sprach, war z.B. zu tiefer Druck rund um das Rossmeer im Juni, während zu tiefer Druck im Bereich des zentralen Nordpazifiks im August auf einen zu warmen Monat hindeutete.

Neben den Berechnungsergebnissen gab es auch noch einige Witterungsregeln, die einen warmen September/Oktober erwarten ließen. Auf diese soll jedoch nicht weiter eingegangen werden. Stattdessen sollen folgende Beispiele zeigen, dass durchaus auch ermutigende Niederschlagsprognosen anhand Witterungsregeln möglich sind.

**Regel 1:**

*Ist der Mai hinsichtlich der Temperatur normal oder wärmer als normal, gleichzeitig April, Juni und Juli um mindestens 0.5 K wärmer als normal, so war der September seit 1844 in 11 von 11 Fällen zu trocken. (Jahre: 1846, 1934, 1945, 1947, 1953, 1959, 1964, 1992, 2002, 2003, 2005)*

Situation 2006:

April:	+1,2 K	Juni:	+1,8 K
Mai:	+1,4 K	Juli:	+5,2 K

→ Bedingungen waren erfüllt und Regel damit anwendbar

**Regel 2:**

*Ist der NAO-Index im Mai höher oder maximal -0.5 niedriger als normal, Juni und Juli gleichzeitig trockener als normal und der August niederschlagsmäßig normal oder zu nass, dann war der November seit 1844 in 12 von 12 Fällen zu trocken oder normal. (Jahre: 1847, 1865, 1870, 1878, 1881, 1902, 1908, 1925, 1934, 1938, 1978, 1986)*

Situation 2006:

NAO-Index Mai:	-0,22	Juli:	-40 mm
Juni:	-30 mm	August:	+50 mm

→ Bedingungen waren erfüllt und Regel damit anwendbar

**Tab. 9:** Angewandte Witterungsregeln zur Vorhersage für September und November

Wie man sieht, scheint sich die Kombination aus dem Verfahren LRFS und den Witterungsregeln bezahlt zu machen. Problematisch wird es nur dann, wenn beide Methoden einander gegensätzliche Aussagen zu einem potentiellen Monatsverlauf

treffen. Dies wurde beim November deutlich, wo eine Witterungsregel auf einen milden Monat schließen ließ, die Berechnungen des LRFS dagegen einen normalen bis minimal zu kalten Verlauf sahen. In solchen Fällen ist es schwierig abzuwägen, welcher Methode man den Vorzug gibt. Die Entscheidung kann hier nur von Fall zu Fall individuell getroffen werden.

### 4.3 Ausblick Winter 2006/07

Nachdem das Jahr 2006 den seit Aufzeichnungsbeginn wärmsten Juli und wärmsten Herbst in Deutschland hervorbrachte, stellt sich nun natürlich die Frage, ob sich dieser milde Trend auch im Winter fortsetzen wird.

Die Tatsache, dass nach drei extrem warmen Monaten die Wahrscheinlichkeit für einen zu kalten Monat erhöht ist, lässt die Winterprognose besonders interessant und offen erscheinen. Wie schon bei der Herbstprognose wurden auch hier neben dem LRFS-Verfahren die Witterungsregeln als Ergänzung mit angewandt. Aus den Analysen ergaben sich folgende Vorhersagen:

Monat	Vorhersage	
	Temperatur	Niederschlag
<b>Dezember</b>	+1,0 K	normal
<b>Januar</b>	-0,5 K	nass
<b>Februar</b>	+3,0 K	trocken*
<b>WINTER</b>	<b>+0,8 K</b>	-

**Tab. 10:** Vorhersage des Winters 2006/07 für Leipzig

Kurz zusammengefasst ist nach den Darstellungen der Tabelle ein **relativ milder Winter 2006/07** zu erwarten, wobei vor allem für Februar ein deutlich zu milder Monat berechnet wird. Eine derart große Abweichung zu prognostizieren stellt zweifellos ein Risiko dar und kommt bei statistischen Vorhersagen nicht allzu oft vor. Ausschlaggebend für so eine markante Abweichung waren hauptsächlich sehr niedriger Luftdruck über dem gesamten Südpazifik im Juni und besonders hoher Luftdruck im August über Australien. Der Januar könnte dagegen etwas zu kalt ausfallen. Hier sorgte z.B. hoher Druck im August entlang des Indischen Südpolarbeckens für eine negativ ausgerichtete Prognose. In der folgenden Zusammenstellung sind die für die Regressionsgleichung notwendigen Faktorenwerte samt ihrer jeweiligen Koeffizienten aufgelistet, woraus sich der Erwartungswert ableitet.

Ausgehend von der Gleichung  $Y = \beta_0 + \beta_1x_1 + \beta_2x_2 + \dots + \beta_px_p$  enthält die erste Datenzeile jeweils die Konstante  $\beta_0$  und die nachfolgenden Zeilen die Koeffizienten  $\beta_{1...p}$  und Faktorenwerte  $x_{1...p}$ .

Prognose Dezember			Prognose Januar			Prognose Februar		
Koeffizient	Faktorenwerte	Produkt	Koeffizient	Faktorenwerte	Produkt	Koeffizient	Faktorenwerte	Produkt
0,043		0,043	-0,035		-0,035	0,132		0,132
1,845	0,458	0,846	2,296	0,438	1,005	-2,317	-1,752	4,059
0,356	1,780	0,634	-0,243	0,931	-0,226	-1,042	0,435	-0,453
0,253	0,210	0,053	-0,672	0,244	-0,164	0,391	0,077	0,030
-0,217	-0,871	0,189	0,266	1,749	0,466	0,660	0,180	0,119
-0,277	0,145	-0,040	-0,721	1,806	-1,303	-0,040	-0,006	0,000
0,083	-0,238	-0,020	0,374	-0,703	-0,263	0,283	-0,988	-0,279
0,016	-1,032	-0,017	-0,141	-0,964	0,136	0,617	0,341	0,211
0,355	-0,687	-0,243	0,024	-0,447	-0,011	0,351	-1,037	-0,364
-0,104	-1,553	0,162	-0,035	0,472	-0,017	0,479	-1,469	-0,704
-0,390	1,447	-0,565	0,216	0,164	0,035	-0,509	-0,867	0,441
	<b>Erwartungswert</b>	<b>1,043</b>		<b>Erwartungswert</b>	<b>-0,376</b>		<b>Erwartungswert</b>	<b>3,191</b>

**Tab. 11:** Berechnungsmatrix zur Bestimmung der voraussichtlichen Temperaturabweichung

Für den Niederschlag kann keine signifikante Aussage bezüglich des Gesamtwinters getroffen werden. Während LRFS im Januar zu hohe Niederschlagsmengen berechnet, gibt es für Februar Signale eines zu trockenen Verlaufs (s. nächste Seite). Ein sehr milder und zugleich niederschlagsarmer Wintermonat ist zwar selten, aber nicht ungewöhnlich, wie die Beispiele Januar 1989 oder Februar 1998 zeigen.

Was die Anwendung von Witterungsregeln angeht, so war eine Prognose besonders schwierig, da ein derart warmer Herbst bisher noch nicht vorgekommen ist und somit Vergleichsfälle aus der Vergangenheit fehlen. Auch die Kombination extrem warmer Juli – kalter August hat es in diesem Ausmaß noch nie gegeben. Dennoch ließen sich einige interessante Zusammenhänge finden. Beachtenswert ist vor allem Regel 2, da durch diese ein zu trockener Februar prognostiziert und somit dem LRFS-Verfahren widersprochen wird, welches einen zu nassen Monat sieht. Wie bei den herbstlichen Niederschlagsprognosen sollen aber auch hier die Witterungsregeln den Vorzug erhalten.

**Regel 1:**

*Sind sowohl Oktober als auch November in Mitteleuropa um mindestens 0,5 K zu warm und der November gleichzeitig um mindestens 5 mm zu trocken, so war der Dezember seit 1844 in allen 10 Fällen zu mild. (Jahre: 1874, 1887, 1930, 1954, 1955, 1959, 1983, 1987, 2001, 2005)*

Situation 2006:

Oktober:	+3,8 K	November:	-12 mm
November:	+3,7 K		

→ Bedingungen waren erfüllt und Regel damit anwendbar

**Regel 2:**

*Ist der September in Deutschland vom Niederschlag her normal oder zu trocken, der Oktober maximal 5 mm zu nass oder zu trocken und auch der November normal oder zu trocken und von der Temperatur her gleichzeitig normal oder zu warm, so war der Februar seit 1844 in allen 10 Fällen trockener als normal.*

Situation 2006:

September:	-35 mm	November:	-12 mm
Oktober:	+01 mm	November:	+ 3,7 K

→ Bedingungen waren erfüllt und Regel damit anwendbar

**Tab. 12:** Angewandte Witterungsregeln zur Vorhersage für Dezember und Februar

Die vom Autor modifizierte Variante der Oktober-Januar-Regel konnte dieses Jahr benutzt werden, da die Niederschlagsbedingung des Oktobers nicht erfüllt war (+01 mm) und der Monat recht tiefdruckgeprägt verlief.

Auch wenn ein zu kalter Monat wieder fällig wäre, so ist die Wahrscheinlichkeit eines (nach 2005/06) neuerlich kalten Winters ziemlich gering.

## 5. Zusammenfassung

### 5.1 Prognosen für andere Regionen

Das LRFS-Verfahren ist selbstverständlich auch auf andere Regionen der Erde übertragbar und nicht nur auf Vorhersagen für Mitteleuropa beschränkt.

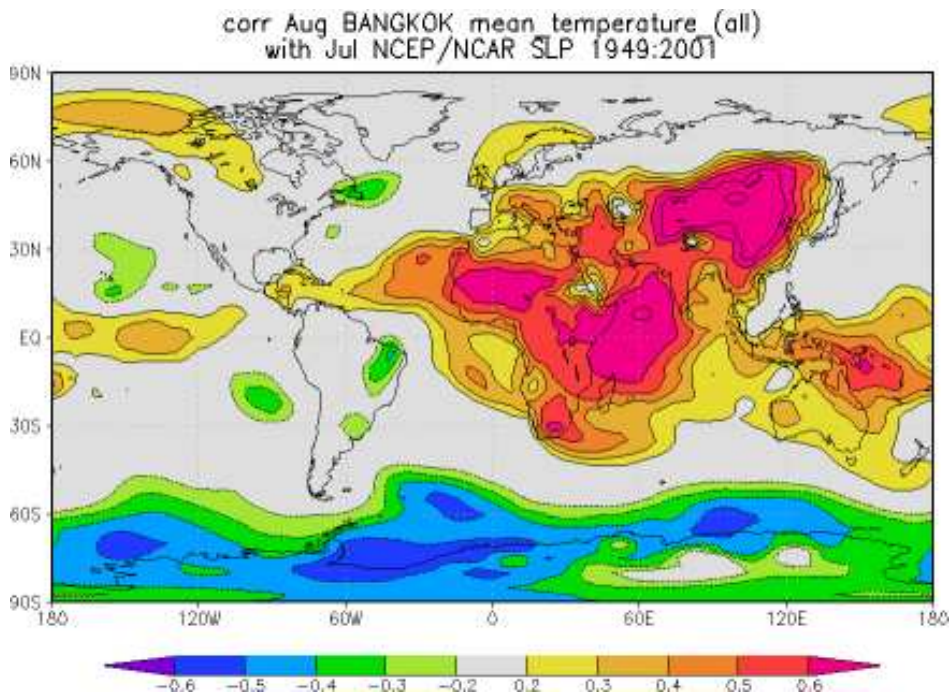
Auf der Homepage des Autors werden neben den Vorhersagen für Leipzig auch Ein- und Zweimonatsprognosen für die Stationen De Bilt, Moskau und New York veröffentlicht.

Von diesen Stationen waren homogene, lückenlose Temperaturdatensätze vorhanden und es bestand ein großes Interesse seitens der Besucher für die jeweiligen Regionen. Dabei hat sich herausgestellt, dass die Prognosen umso schwieriger werden, je größer der Schwankungsbereich der Temperatur und demzufolge je kontinentaler das Klima ist (Moskau). Während für die europäischen Stationen ein durchweg milder bis sehr milder Hochwinter 2007 erwartet wird, ergaben die Berechnungen für New York einen recht kalten Januar, aber ungewöhnlich milden Februar.

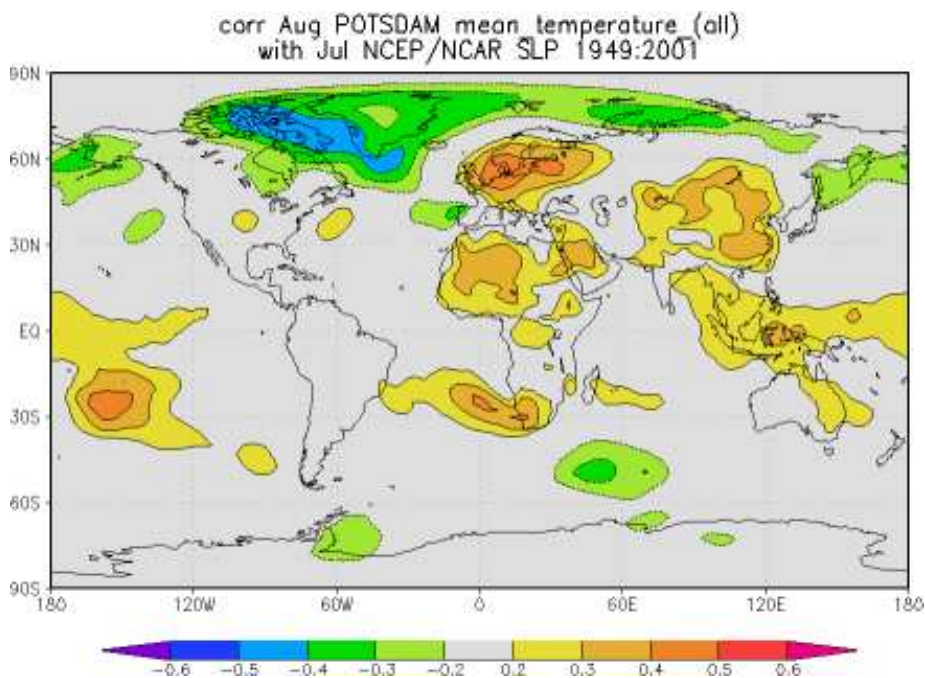
Monat	Temperatur-Vorhersage	
	Januar	Februar
De Bilt	+0,5 K	+2,0 K
Moskau	+0,5 K	+2,5 K
New York	-1,0 K	+2,0 K

Tab. 13: Vorhersage des Hochwinters 2007 für De Bilt, Moskau und New York

Testweise wurden auch Vorhersagen für eine nicht-gemäßigte Klimazone (Bangkok) erstellt. Hier war die Erkenntnis, dass gerade in tropischen Bereichen bessere Resultate zu erzielen sind als in anderen Klimazonen. Der Grund dafür ist einleuchtend: In der tropischen Zone werden die Temperatur- und Niederschlagsverhältnisse weitgehend von Großzirkulationen (makroskalige Erscheinungen) wie Monsun, Abschwächung oder Verstärkung der ITC, sowie periodischen Ereignissen (z.B. El Nino) geprägt, während bei uns hauptsächlich mesoskalige Erscheinungen wie dynamische, schnell wandernde Hochs und Tiefs den Temperatur- und Niederschlagsverlauf bestimmen, diese aber wesentlich kleinräumiger und unberechenbarer in Entwicklung und Verlauf sind. Diese Erkenntnis spiegelt sich auch in den Korrelationsbeziehungen zwischen Luftdruck und Temperatur verschiedener Monate an tropischen Stationen wieder. Zum Vergleich sind die Korrelationen zwischen globalen Juli-Luftdruck und August-Temperatur einer gemäßigten (Potsdam) und einer tropischen Station (Bangkok) grafisch dargestellt.



**Abb. 16:** Korrelation zwischen Juli-Luftdruck und der Temperatur Bangkoks im August



**Abb. 17:** Korrelation zwischen Juli-Luftdruck und der Temperatur Potsdams im August

Deutlich zu erkennen ist, dass die Zusammenhänge zwischen Luftdruck und Temperatur des Folgemonats in Bangkok viel markanter und großflächiger als in Potsdam sind. Obwohl sich die abgebildeten Beziehungen für Potsdam bereits als recht günstig erweisen und in anderen Monaten noch schwächer ausgeprägt sein können, liegen die

Beträge der Korrelationskoeffizienten deutlich hinter denen Bangkoks zurück. Teilweise erreichen die Koeffizienten im Falle der tropischen Station sogar Beträge von über 0,7. Als besonders günstig erweist sich das LRFS-Verfahren also für die Tropen, während in der gemäßigten Zone die Anwendung mehrerer Parameter überlegenswert wäre.

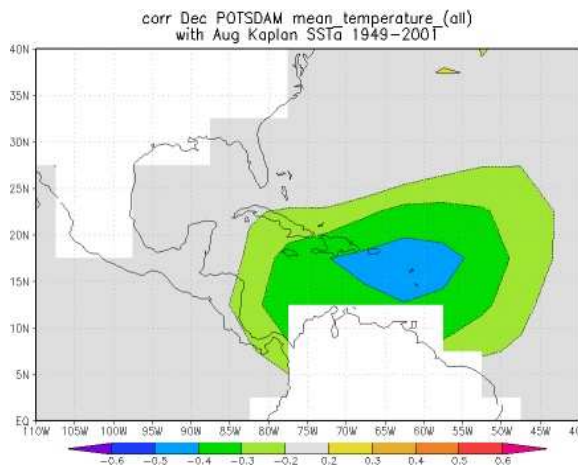
## 5.2 Fazit und Ausblick

Die aufgeführten Beispiele lassen erkennen, dass unter gewissen Umständen auch mit limitierten Mitteln eine aussichtsreiche Prognose möglich ist. Dies gilt vor allem für die Tropen, was sich mit Untersuchungen von Meteorologen aus früheren Jahren deckt. In der gemäßigten Zone ist zwar ebenfalls eine Vorhersageleistung zu erkennen, allerdings bleibt abzuwarten, ob sich diese auch über einen längeren Zeitraum behaupten kann. Sehr wahrscheinlich ist es jedoch günstiger, neben dem Luftdruck als Parameter auch noch andere Größen, wie z.B. das 500-hPa-Geopotential oder die relative Topografie 500/1000 hPa als Ausdruck der Verhältnisse in den höheren Schichten mit zu benutzen. Auch die Wassertemperaturen der Meere und Ozeane spielen beim Wettergeschehen eine entscheidende Rolle und sollten nicht vernachlässigt werden.

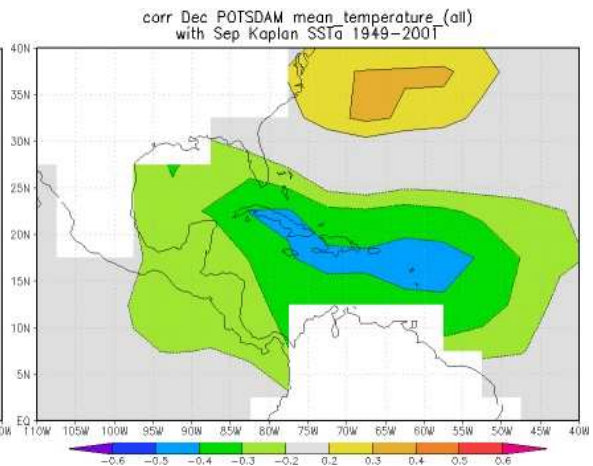
So entdeckte der Autor vor einem Jahr in einer Untersuchung einen interessanten Zusammenhang zwischen der Wassertemperatur der Karibik im Spätsommer/Herbst und der Dezember-Temperatur Mitteleuropas. Daraufhin veröffentlichte er folgenden Artikel mit der Überschrift „Wassertemperaturen und Folgewitterung Mitteleuropas“ auf seiner Homepage:

*„Allgemein bekannt ist, dass die Wassertemperaturen des Nordatlantiks einen großen Einfluss auf die Hoch- und Tiefdruckbildung im atlantisch-europäischen Raum haben und damit auch auf die Witterung und das Temperaturgepräge Europas. Inwieweit beeinflussen nun aber die Temperaturen tropischer Gewässer, wie z.B. der Karibik, die Folgewitterung Mitteleuropas?“*

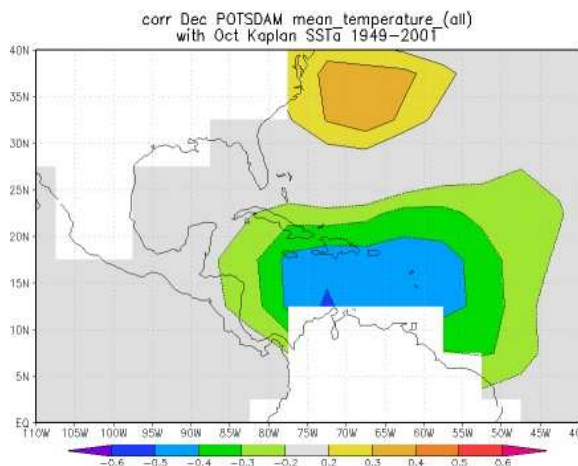
*Wie statistische Untersuchungen zeigen, existiert im Zeitraum 1949 - 2001 ein starker Zusammenhang in Form einer ausgeprägten negativen Korrelation zwischen den Wassertemperaturen im Bereich der Karibik und der Temperatur Mitteleuropas im Dezember. Auffällig dabei ist der lange Zeitraum über den sich dieser Zusammenhang erstreckt. So korreliert nicht nur ein Monat, sondern gleich vier Monate (August - November) in nahezu identischer Stärke mit der Temperatur im Dezember - ein Zeichen dafür, dass es sich hierbei nicht um eine rein zufällige Scheinkorrelation handeln kann. Die folgenden Grafiken verdeutlichen die Beziehungen der einzelnen Monate anhand der Größe des Korrelationskoeffizienten.*



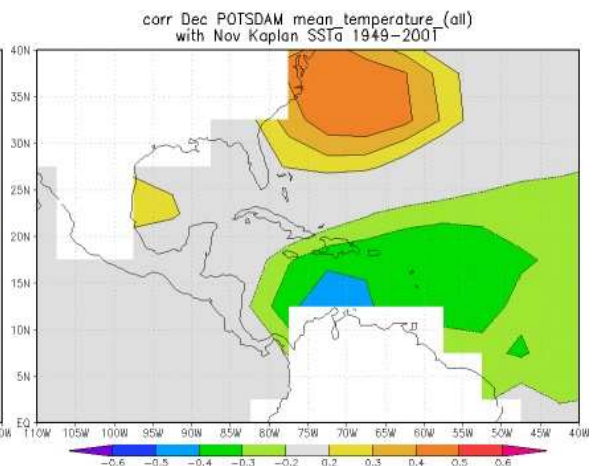
**Abb. 18:** Korrelation zwischen der Wassertemp. im August und der Dez-Temperatur Potsdams



**Abb. 19:** Korrelation zwischen der Wassertemp. im Sept. und der Dez-Temperatur Potsdams



**Abb. 20:** Korrelation zwischen der Wassertemp. im Okt. und der Dez-Temperatur Potsdams



**Abb. 21:** Korrelation zwischen der Wassertemp. im Nov. und der Dez-Temperatur Potsdams

Wie ersichtlich, ist der Korrelationskoeffizient in allen Monaten größer als -0.4, teilweise sogar über -0.5, was in einem 53-jährigen Zeitraum einen hochsignifikanten Wert darstellt.

Interessant ist zudem die Tatsache, dass die Wassertemperaturen der Karibik im Zeitraum August bis November eng an die dortige Hurrikan-Saison gekoppelt sind. Daher liegt die Vermutung nahe, dass die Intensität und Häufigkeit von Hurrikan-Aktivitäten Einfluss auf die Folgewitterung Mitteleuropas im Dezember hat und zwar im Sinne eines kalten Dezemberverslaufs nach einer ausgeprägten Hurrikan-Saison und milder Witterung in wirbelsturmarmen Jahren. Bestätigt wird dieser Zusammenhang noch durch die Erkenntnis, dass in den Hurrikan-intensivsten Jahren 1933, 1969 und 1995 jeweils ein sehr kalter Dezember in Mitteleuropa folgte.

*Eine rein physikalische Erklärung dieser Kopplung ist allerdings nur schwer möglich, da Hurrikans gern beim Übertritt in nördlichere Gefilde in die nordatlantische Zirkulation einbezogen werden, damit die Tiefdruckbildung vor Neufundland zusätzlich ankurbeln und für eine Aufrechterhaltung einer zonalen, westwindorientierten Wetterlage sorgen sollten. Somit müsste in Hurrikan-aktiven Jahren eigentlich die Westdrift über dem Nordatlantik und Europa besonders gut ausgeprägt sein mit der Folge, dass im Winter größtenteils milde Luftmassen über Mitteleuropa liegen. Diese Überlegung widerspricht jedoch klar den Untersuchungsergebnissen, die das genaue Gegenteil erkennen lassen. Offensichtlich spielen hier noch weitere Faktoren und Einflüsse eine bedeutende Rolle, die die oben genannte Theorie überlagern und zeigen, wie schwierig eine physikalische Deutung bei statistischen Auswertungen sein kann.“*

Trotz vielfältiger Möglichkeiten und zahlreicher potentieller Einflussgrößen bleiben der Prognosegenauigkeit in Mitteleuropa Grenzen gesetzt, die wohl auch in naher Zukunft nicht überschritten werden können. Grund ist neben der bedeutenden Abhängigkeit mesoskaliger Einflüsse besonders das Verhalten des Klimas.

Wie die Statistiken der vergangenen Jahrhunderte zeigen, handelt es sich beim Klima um kein konstantes System, sondern um eine ständig variierende Größe. Dies stellt ein echtes Problem für langfristige Prognosen dar. Sollte sich die Klimaerwärmung, die seit 1988 in rasanter Weise erfolgt, weiter fortsetzen, so könnten Langfristprognosen immer nutzloser werden, da ohnehin fast nur noch zu warme Monate folgen würden und eine simple Angabe „2 K zu warm“ ohne jegliche Grundlage erfolgsversprechender wäre. Zwar könnte man als Ausgangsbasis der Vorhersagen eine neue, wärmere „Normalperiode“ definieren und damit wieder ein Gleichgewicht zwischen zu kalten und zu warmen Monaten schaffen. Dennoch bestünde weiterhin das Problem, dass durch die Klimaänderung auch die Zirkulationsmuster und somit die Luftdruckfelder nachhaltig verändert werden können, was sich erschwerend auf die Erstellung einer langfristigen Prognose auswirkt. Schließlich basiert diese auf den Zuständen und Witterungsabfolgen der vergangenen Jahrzehnte. Wahrscheinlich würde man daher besser fahren, wenn man den Untersuchungszeitraum nur noch auf den Abschnitt der Klimaerwärmung beschränkt und dafür sorgt, dass die Untersuchung auch die jüngst abgelaufenen Jahre mit erfasst.

Selbst wenn man sämtliche der genannten Faktoren berücksichtigen würde, darf man zu guter Letzt nicht übersehen, dass Langfristprognosen nur das Produkt statistischer Untersuchungen sind und selbst hochsignifikante Korrelationsbeziehungen zweier Größen nur reine Scheinzusammenhänge sein können. Auch in einem konstanten Klima wäre unter Berücksichtigung etlicher Parameter ein Großrechner nicht in der Lage, das immer

noch recht chaotische System Atmosphäre so zu entschlüsseln, dass wirklich verlässliche Langfristprognosen die Folge sind. Man muss sich also damit begnügen, wenn eine Vorhersagemethode auf längere Sicht bessere Ergebnisse erzielt, als eine zufällige Referenzprognose.

Für die Zukunft ist also, zumindest was mitteleuropäische Verhältnisse angeht, nur mit sehr minimalen Fortschritten auf dem Gebiet der langfristigen Witterungsprognosen zu rechnen. Aufgrund der Probleme der heutigen Zeit durch die Erderwärmung geht der Trend ohnehin stärker in Richtung zuverlässige Klimaprognosen für die nächsten Jahre und Jahrzehnte. Eine solche Investition ist nicht nur für einige Wirtschaftszweige bedeutsam, sondern für die gesamte Menschheit und deren Zukunft.

Hier endet allerdings der Zuständigkeitsbereich für einen Langfristforscher, da die Arbeitstechniken für Klimaprognosen ganz andere sind und deren Simulationen für nicht-professionelle Forschungen außerhalb der Möglichkeiten liegen.