

**Joaquim José Pinto Ginete: Influence of large-scale atmospheric circulation and baroclinic waves on the variability of mediterranean rainfall. 2002**

Die letzten Jahrzehnte zeigen einen starken Rückgang der Niederschlagsmenge im Mittelmeerraum, einem Gebiet, welches durch eine ausgesprochene Sensitivität gegenüber Veränderungen der Niederschlagsmenge und -variabilität geprägt ist. Daher können langfristige Trends sowohl große ökologische als auch ökonomische Auswirkungen haben. Diese sind bereits in einigen Bereichen des Mittelmeerraumes zu beobachten, und erfordern eine Analyse der Ursachen. In dieser Arbeit wird der Einfluss der großskaligen atmosphärischen Zirkulation und der baroklinen Wellen auf die Niederschlagsvariabilität im Mittelmeerraum untersucht. Diese Studie konzentriert sich auf das Winterhalbjahr, in dem der Großteil des Niederschlages fällt. Verschiedene großskalige atmosphärische Parameter (Wetterlagen, Baroklinität, Stormtrack-Aktivität, Zyklonenhäufigkeitsverteilung, Zyklonenzugbahndichte, geopotentielle Höhe des 500hPa-Niveaus und Feuchteadvektion), für die ein direkter oder indirekter Einfluss auf den Niederschlag angenommen werden kann, werden über einen 40 Jahre umfassenden Zeitraum betrachtet (1958-1998). Für drei Zielregionen (Portugal, Italien und Griechenland), die eine unterschiedliche Niederschlagscharakteristik aufweisen, wird eine detaillierte Analyse durchgeführt. Untersuchungen mit sich ergänzenden statistischen und diagnostischen Verfahren ermöglichen es, kausale Zusammenhänge zwischen großskaligen atmosphärischen Variablen und dem Niederschlag in jeder der drei Zielregionen zu erfassen, zu überprüfen und zu quantifizieren.

Die Niederschlagsvariabilität wird auf Monatsbasis in jeder Zielregion durch eine Hauptkomponentenanalyse erfasst. Die erhaltenen Hauptvariabilitätsmuster und -komponenten entsprechen den bekannten Charakteristiken der Niederschlagsverteilung in der jeweiligen Region und liefern physikalisch sinnvolle Ergebnisse. Infolgedessen können die Hauptkomponenten dazu benutzt werden, die Zusammenhänge zwischen großräumiger Niederschlagsvariabilität und großskaligen atmosphärischen Parametern zu untersuchen. Die Ergebnisse zeigen - unabhängig von der ausgewählten Untersuchungsmethode - eine hoch signifikante Relation zwischen der großskaligen atmosphärischen Aktivität und der Niederschlagsvariabilität. Weiterhin werden durch eine detaillierte Analyse sowohl charakteristische Unterschiede als auch viele Gemeinsamkeiten zwischen den drei Zielregionen Portugal, Italien und Griechenland gefunden. Eine geringe Anzahl von Wetterlagen (identifiziert durch eine "Circulation Weather Type"-Klassifizierung) verursacht einen Großteil des Niederschlages. Diese Wetterlagen entsprechen synoptischen Situationen, in denen Zyklone entweder in (oder in der Nähe) der Zielregion zu finden sind oder sich in einem Bereich befinden, so dass durch ihre Lage ein erhöhter Feuchtetransport in Richtung der Zielregion begünstigt wird. Dies zeigt sich auch in der Zyklonenaktivität selbst: eine gesteigerte Anzahl von mittleren Zyklonen (Kerndruck zwischen 990 und 1010 hPa) ist für Monate mit überdurchschnittlichem Niederschlag in den Zielregionen zu beobachten. Außerdem ist eine größere Anzahl von tiefen Zyklonen (Kerndruck unter 990 hPa) nord- und nordwestlich der Zielregionen zu finden, die zur Feuchteadvektion beitragen. Die Stormtrack-Aktivität (Standardabweichung des bandpassgefilterten Geopotentials in 500 hPa), Feuchteadvektion und geopotentielle Höhe des 500 hPa Niveaus zeigen ebenfalls entsprechende Anomalien. Gute Übereinstimmungen ergeben sich aus den Anomalien der Feuchteadvektion und der erhöhten Anzahl tiefer Zyklonen und der Zyklonenbahndichte. Verstärkte (verringerte) Stormtrack-Aktivität in der Nähe der Zielregionen ist für Monate mit erhöhtem (reduziertem) Niederschlag zu beobachten. Die obertroposphärische Baroklinität trägt indirekt zur größeren Niederschlagsmenge bei, da sie die Entwicklung der Zyklone maßgeblich steuert, auch solcher, die im Mittelmeerraum selbst entstehen (häufig durch Lee Zyklonogenese).

Der Einfluss der Zyklonenaktivität über dem Nordatlantik auf den mittleren monatlichen Niederschlag ist in Portugal maximal und nimmt nach Griechenland hin ab - Entgegengesetztes gilt für Mittelmeerzyklonen. Für die einzelnen Regionen bestehen die engsten Zusammenhänge, die durch die Korrelation zwischen der ersten Hauptkomponente des Niederschlages in jeder Zielregion und der Anomalie der jeweiligen atmosphärischen Größe quantifiziert werden, mit der Feuchteadvektion,

Zyklonenbahndichte und der geopotentiellen Höhe des 500 hPa Niveaus. Daher sind es im Wesentlichen diese drei untereinander in engem Zusammenhang stehenden Parameter, die einen besonders starken Einfluss auf den Niederschlag im Mittelmeerraum haben.

Die Ergebnisse der statistischen Untersuchungen mit sich ergänzenden atmosphärischen Variablen zeigen eine prägnante Übereinstimmung. Darüber hinaus wurden diese Zusammenhänge durch diagnostische Studien einzelner Niederschlagsereignisse auf täglicher Basis bestätigt. Dieses ermöglicht die Aufschlüsselung der zugrundeliegenden physikalischen Mechanismen, die für die Niederschlagsvariabilität verantwortlich sind. Die Ergebnisse zeigen, dass die Feuchteadvektion, die in Abhängigkeit von der mitteltroposphärischen Strömung und der Aktivität von Zyklonen stattfindet, der wichtigste Mechanismus zur Niederschlags erzeugung in der Mittelmeerregion ist. Weiterhin trägt Hebung in Verbindung mit lokalen Zyklonen und baroklinen Wellen zum Niederschlag in der Zielregion bei.

Um mögliche Änderungen der großskaligen atmosphärischen Zirkulation und deren Auswirkung auf den Niederschlag in einem zukünftigen Klima zu untersuchen, wird ein Treibhausgas-Experiment analysiert, das mit dem gekoppelten Ozean-Atmosphären Model ECHAM4/OPYC3 durchgeführt wurde. Die Untersuchungen basieren ausschließlich auf dem Bodendruckfeld, aus dem die Zyklonenaktivität und die Wetterlagen berechnet werden. Das Klimasignal wird aus der Differenz zweier Zeitabschnitte berechnet, die jeweils 50 Winterhalbjahre umfassen. Dabei repräsentiert der erste Zeitraum das aktuelle Klima und der zweite das veränderte Klima unter zwei- bis dreifach erhöhtem Kohlendioxidgehalt der Atmosphäre. Der identifizierte Zusammenhang zwischen Wetterlagen, Zyklonenaktivität und Niederschlag im heutigen Klima erlaubt es, Schlussfolgerungen über mögliche Veränderungen des Niederschlags für ein zukünftiges Klima zu ziehen. Das Klimasignal zeigt einen Anstieg des mittleren Bodendrucks im Winterhalbjahr über den mittleren Breiten und dem westlichen Mittelmeer, sowie eine Abnahme nördlich von 60° N und über Osteuropa. Weiterhin sind Veränderungen in der relativen Häufigkeit von Wetterlagen festzustellen, die einen Rückgang der regenreichen Wetterlagen über den drei Zielregionen beinhalten. Außerdem zeigt die Zyklonenaktivität eine Nordwärtsverschiebung der atlantischen Zyklonenbahnen und eine starke Abnahme im Mittelmeerraum. Diese Änderungen unter erhöhten Treibhausgaskonzentrationen, weisen auf einen Rückgang des Niederschlags im Mittelmeerraum hin und bestätigen die Modellsimulationen des Niederschlags.

Ein weiterer Teil dieser Arbeit befasst sich mit extremen Herbstniederschlagsereignissen über Nordwest-Italien. Anhand von 30 ausgewählten Ereignissen aus dem Zeitraum 1958 bis 2000 wird deren charakteristische synoptische Entwicklung bestimmt. Darüber hinaus wird der Einfluss tropisch-extratropischer Wechselwirkungen über dem Nordatlantik analysiert. Die meisten extremen Niederschlagsereignisse hängen mit stationären, steuernden Tiefdruckgebieten in der Nähe der Biskaya zusammen. Diese Systeme tragen durch ihre großskalige Strömung zur Feuchteadvektion in Richtung des westlichen Mittelmeeres bei und führen dadurch zu einer hohen Konzentration von Feuchte im Bereich südlich der Alpen. Zum Zeitpunkt des Niederschlagsereignisses ist diese Region häufig durch eine gesättigte und labile Luftmasse gekennzeichnet, besonders in den unteren Schichten. Zusätzlich ist die Rolle der Mittelmeerzyklone bedeutend, deren Aktivität tiefe Konvektion verursachen kann und somit die Basis für extreme Niederschlagsereignisse darstellt. Einen weiteren wichtigen Einfluss haben ostwärts wandernde tropische Stürme, die die Strömung in den mittleren Breiten verändern und zu einer Austrognung der Polarfront führen können, so dass starke Zyklonen über dem östlichen Nordatlantik begünstigt werden. Diese Systeme transportieren oft sehr warme und feuchte Luftmassen in die mittleren Breiten, wodurch die Baroklinität erhöht und somit die Bedingungen für eine starke Zyklonentwicklung begünstigt wird. Die erhöhte Feuchte kann auch durch die mittlere Strömung oder andere Zyklonen nach Europa advehiert werden. Diese Faktoren beeinflussen die Entwicklung der synoptischen Situationen, die zu extremen Niederschlagsereignissen über Nordwest-Italien führen können. Ein direkter Einfluss tropischer Stürme (oder deren Überreste), die die westeuropäische Atlantikküste erreichen beziehungsweise ins Mittelmeer ziehen, ist nur bei

wenigen Ereignissen festzustellen.

---

The influence of the large-scale atmospheric circulation and baroclinic waves on precipitation variability over the Mediterranean region is investigated. The study encompasses the period 1958 to 1998, and focuses in the winter half-year, when most of the rainfall occurs. Several large-scale atmospheric variables related directly or indirectly to precipitation are investigated: circulation weather types, baroclinicity, storm track activity, cyclone counts, cyclone track density, mid-tropospheric geopotential height and water vapour advection. Three target areas with different precipitation characteristics (Portugal, Italy and Greece) are chosen for detailed investigation. A series of studies using different statistical and diagnostic methods permitted to demonstrate, verify and quantify the relationships between the features of the large-scale atmospheric circulation and precipitation over the target areas.

Results show that few typical synoptic situations (identified by means of a weather type classification) are responsible for a large part of the precipitation variability. These synoptic situations differ for Portugal, Italy and Greece. The influence of cyclonic activity over the North Atlantic on precipitation decreases from Portugal, where it explains a large amount of the precipitation variability, to the Greek region, where it rarely influence precipitation quantities. The reverse is true for the influence of Mediterranean cyclones. The results obtained with the various statistical methods on a monthly basis reveal strong consistency with each other. Moreover, these relationships are confirmed by diagnostic studies of individual rainfall events on a daily basis. This allows new insight in the underlying physical mechanisms responsible for precipitation variability.

Results reveal that the humidity advection connected with the mid-tropospheric large-scale flow and cyclonic activity is the most relevant mechanism inducing precipitation in the Mediterranean region. Additionally, large-scale vertical movements associated with smaller cyclones and baroclinic waves located in the vicinity of the target regions also contribute to precipitation. The upper tropospheric baroclinicity plays a determining role on the development of the cyclones, even for those originated in the Mediterranean basin (often of lee cyclogenesis origin), and therefore also contributes indirectly to precipitation.

To infer possible changes in the large-scale atmospheric circulation and its impact on precipitation for the next century, a greenhouse gas forced scenario experiment simulated with the coupled atmosphere-ocean ECHAM4/OPYC3 global circulation model is analysed. The results show changes in the relative frequencies of weather types between the control and the scenario periods, with a decrease of rain effective weather types for the three regions. Moreover, a northward shift of the atlantic cyclone tracks and a decrease of cyclonic activity over the Mediterranean basin are identified. These changes indicate a decrease of winter precipitation in the Mediterranean under the influence of increasing greenhouse gases concentrations. This is consistent with the changes in precipitation directly produced by the model.

An additional aspect examined is the occurrence of extreme autumn precipitation events over North-west Italy. A selection of events are investigated in order to assess the peculiarities of their synoptic development. In particular, the influence of tropical-extratropical interactions over the North Atlantic is analysed. Most extreme rainfall events are related with the presence of steering cyclones over or near the Bay of Biscay for several consecutive days. These systems contribute to a concentration of moisture on the southern side of the Alps by their associated large-scale flow.

Another important factor is the presence of local cyclones, whose activity can trigger deep convection and, therefore, initiate the extreme rainfall events. A remote influence is often identified for recurving tropical storms, which disturb the mean flow over the North Atlantic and transport large amounts of moisture as they move to the mid-latitudes. These features favour the posterior development of the synoptic situations which lead to extreme precipitation events over north-western Italy. A direct influence of ex-tropical storms (or their remains) is identified in a small number of cases.