

# JUCUNDUS JACOBET

## Klimatologie

### Definition des Faches und Relevanz des Mittelmeerraums für das Fach

Mit dem Wandel des Begriffs „Klima“ hat sich auch das Verständnis des Faches Klimatologie verändert. Wurde ursprünglich das örtliche, regionale oder zonale Klima zumeist begriffen als mittlerer Zustand der Atmosphäre über einen längeren (mindestens 30-jährigen) Zeitraum – getragen von der Vorstellung, bei hinreichend langer Mittelung der variablen Momentanzustände des Wetters zu einem weitgehend gleichbleibenden Klima zu gelangen, das im Rahmen der so bezeichneten Mittelwertsklimatologie beschrieben wurde – so führte die allmähliche Erkenntnis, dass die atmosphärischen Zustandsformen kontinuierlich über alle Zeitskalen hinweg variieren, zu einem gewandelten Klimabegriff: er wurde dem gesamten langperiodischen Variabilitätsspektrum zugeordnet, wobei die Abgrenzung zum kurzperiodischen Spektrum, das mit dem Begriff „Wetter“ verbunden ist, meist bei einem Monat oder einer Jahreszeit gezogen wird (vgl. Blüthgen u. Weischet, 1980, S. 696f.). Man unterscheidet also klimatische Zustandsformen auf unterschiedlichen Zeitskalen (von Monaten oder Jahreszeiten bis zu Dekaden oder Jahrtausenden), langfristige Mittelwerte fungieren lediglich noch als Referenzwerte für die jeweilige Klimavariabilität, die je nach zeitlicher Auflösung z.B. interannuell, dekadisch oder längerfristig sein kann. Dementsprechend umfasst die heutige Klimatologie Subdisziplinen von der dynamischen (Bezug zu zeitlich höher aufgelösten Zirkulationsprozessen) bis zur Paläoklimatologie (erdgeschichtlich bezogen). Besondere Bedeutung hat darüber hinaus die Erforschung des anthropogen induzierten Klimawandels erlangt. Mit der Erweiterung des Klimabegriffs ist auch eine Ausdehnung der Untersuchungssphären einhergegangen, die sich über die Atmosphäre hinaus auch auf die Ozeanosphäre, Kryosphäre, Landoberfläche und Biosphäre erstrecken (in das sog. Klimasystem oder, noch weiter gefasst, das Erdsystem integriert). Daraus ergibt sich heute eine breite klimatologische Disziplinenvielfalt, gepaart mit entsprechender Methodenvielfalt, die Gelände- und Laboruntersuchungen, Messungen und Sondierungen, Experimente, empirische Studien, statistische Analysen sowie numerische Modellierungen einschließt. Auch in der räumlichen Dimensionierung verzweigt sich das heutige Fach: konzentriert sich die Mikroklimatologie auf die bodennahe Luftschicht und die Austauschprozesse zwischen Atmosphäre und Erdoberfläche, so bewegen sich Stadt- und Geländeklimatologie in einem mittleren Skalenbereich. Zum Makroklima, primär durch die großräumigen Prozesse im Klimasystem bestimmt, wird neben dem Globalklima auch das Regionalklima gezählt, das uns im vorliegenden Handbuch bezüglich des Mittelmeerraums beschäftigen wird.

Im Rahmen der Allgemeinen Klimatologie kommt dem Mittelmeerraum besondere Bedeutung zu, da er mit seinem typischen Wechselklima (sommertrocken und winterfeucht), zwischen den immerfeuchten Mittelbreiten und den beständig trockenen Subtropen gelegen, jahreszeitlich alternierenden Zirkulationsregimen unterworfen ist (subtropischer Hochdruckeinfluss bzw. Dynamik der außertropischen Westwinddrift). Seine ausgeprägte Klimavariabilität schließt weiterhin das Auftreten markanter Extremereignisse ein (insbesondere Hitzewellen, Dürreperioden, Starkniederschläge und Hochwasserereignisse), die ihn häufig ins Zentrum diesbezüglicher Studien rücken. Schließlich gilt der Mittelmeerraum als ein ‚hot-spot‘ des rezenten Klimawandels (Giorgi, 2006), für den überdurchschnittliche klimatische Auswirkungen infolge der ansteigenden atmosphärischen Treibhausgaskonzentrationen erwartet werden.

### Forschungsgeschichte der Klimatologie in Bezug auf den Mittelmeerraum

Die Anfänge der Klimatologie mit Blick auf den Mittelmeerraum gehen bis in die zweite Hälfte des 19. Jahrhunderts zurück, bemerkenswerterweise zunächst beginnend mit spezifischen medizinischen Betrachtungen. Insbesondere in zahlreichen Veröffentlichungen der Zeitschrift „The British Medical Journal“ (u. a. Bennet, 1870b; 1871; Marcet, 1875; 1880), aber auch in Buchpublikationen (etwa Williams, 1867; Bennet, 1870a) wird das Klima einzelner Mittelmeerregionen hinsichtlich seiner positiven Auswirkungen auf den Genesungsprozess bei bestimmten Krankheiten – insbesondere atemwegsbezogenen – behandelt. Die weitgehend deskriptiv verbleibenden Ausführungen basieren im Wesentlichen auf den jeweiligen Erfahrungen der Autoren, die entweder selbst mehrere Jahre in bestimmten Gebieten des Mittelmeerraums verbracht oder zumindest häufige Reisen dorthin unternommen hatten. Erwähnenswert sind weiterhin eigene Aufzeichnungen der Autoren, die sie gelegentlich von ausschlaggebenden Klimatelementen wie Temperatur, Niederschlag, Luftfeuchte, Luftdruck und Wind angefertigt hatten. Damit ergeben sich in ihren Publikationen sogar erste quantitative Einschätzungen des Mittelmeerklimas in ausgewählten Einzelregionen, auch wenn die Ausführungen primär auf die gesundheitsfördernde Wirkung spezieller Ausprägungen des dortigen Klimas gerichtet waren.

Rund ein halbes Jahrhundert später – also seit den 1920er Jahren – erscheinen die ersten klimatologischen Arbeiten, die nicht mehr als rein deskriptiv zu bezeichnen sind. Der Aspekt der atmosphärischen Zirkulationsverhältnisse rückt in den Blickpunkt der Betrachtungen, sie werden als dynamischer Faktor der klimatischen Gegebenheiten unter anderem im Mittelmeerraum (Bonacina, 1921) oder in Teilregionen desselben (z.B. Weickmann, 1922) thematisiert. Die weltweit verbreitete Klimaklassifikation nach Wladimir Köppen bezeichnet in ihrer ursprünglichen Version (z.B. Köppen, 1931) das Mittelmeerklima auch als sog. Etesienklima, benannt nach den beständigen, aus nördlichen Richtungen wehenden sommerlichen Winden im ägäischen und ostmediterranen Raum, die ein charakteristisches Element der atmosphärischen Zirkulation zwischen Azorenhoch und asiatischem

Monsuntief darstellen und bald auch eine eingehendere Behandlung erfahren (Schneider-Carius, 1948). Vermehrt gesellen sich nun auch weitere Arbeiten hinzu, die spezifische meteorologische Aspekte diskutieren wie die Zyklogenese im Mittelmeerraum (Gleeson, 1954), die Vorhersage von Zyperntiefs (Ali, 1953), das Auftreten nächtlicher Gewitter im Kontext von Land-See-Windsystemen (Neumann, 1951) oder die differenzierte Ausprägung markanter Regionalwinde wie Bora und Mistral (Band, 1955). In Richtung synoptischer Klimatologie – also der Auflösung mittlerer klimatischer Verhältnisse in ihre charakteristischen Einzelbestandteile (z.B. Wetter- oder Witterungslagen) unter zusammenschauender Betrachtung aller wesentlichen Klimatelemente sowie der atmosphärischen Strömungsverhältnisse – gehen verstärkt Arbeiten seit Mitte des 20. Jahrhunderts, beispielhaft genannt seien die Studien von Flohn (1948) zum jährlichen Ablauf der Witterung im Mittelmeergebiet, von Reichel (1949) und Huttary (1950) zur dortigen Häufigkeit und Verteilung der Niederschläge, von Butzer (1960) zur Wirksamkeit großräumiger Zirkulationsmuster im Mittelmeerraum, von Sutcliffe (1960a; 1960b) zu Allgemeiner Zirkulation, Tiefdruckgebieten, Fronten und Luftmassen im mediterranen Raum oder von Agi (1968) speziell zum Aktionszentrum des Zyperntiefs. Insbesondere auf Wetterlagen und Zirkulationstypen sind die Publikationen des britischen und italienischen Wetterdienstes konzentriert gewesen (Metreological Office, 1962; Urbani u. d'Angiolino, 1968; 1974), nach und nach erscheinen aber auch breiter angelegte Buchveröffentlichungen, die Überblicksdarstellungen zum Klima des Mittelmeerraums enthalten (Zenone, 1959; Wallén, 1977; Weischet u. Endlicher, 2000; Harding u. a., 2009).

Eine besondere Rolle haben seit Mitte des 20. Jahrhunderts auch Arbeiten zum vorzeitlichen Klima des Mittelmeergebietes gespielt, häufig eingebunden in unterschiedliche geowissenschaftliche Rekonstruktionen paläoökologischer Verhältnisse. Beispielhaft genannt seien Aufsätze zu mediterranen Pluvialen (pleistozäne Zeitabschnitte erhöhter Niederschläge, etwa Butzer, 1957), zu Quartären Klimazyklen im Kontext der mediterranen Relief- und Bodenentwicklung (Rohdenburg u. Sabelberg, 1972), zu mediterranem Löss als pleistozänem Klimaindikator (Brunnacker, 1980) oder zu glazialen Temperaturverhältnissen im Mittelmeer (Thiede, 1978; Thunell, 1979). Auch das Klima in historischen Zeitabschnitten hat wissenschaftliche Aufmerksamkeit auf sich gezogen (z.B. Neumann u. Sigrist, 1978; Hughes u. Diaz, 1994; Grove u. Conterio, 1995), und dies markiert, ähnlich wie in der Paläoklimatologie und der synoptischen Klimatologie, nicht nur eine bestimmte Phase in der Forschungsgeschichte, sondern vielmehr den Beginn einer Arbeitsrichtung, die auch gegenwärtig mit großen und gezielten Forschungsanstrengungen weiterverfolgt wird (siehe nächstes Unterkapitel).

Gleiches lässt sich auch sagen über die beiden Themenbereiche, die mit rezentem Bezug die dynamische Komponente des Klimas in den Vordergrund stellen: Klimavariabilität und Klimawandel. Der erste Bereich ist gerichtet auf natürliche Schwankungen und Anomalien des mediterranen Klimas, die in dieser wechselfeuchten Region leicht zu spürbaren Auswirkungen führen können; frühe Beispiele derartiger Arbeiten sind etwa die Beiträge von Gat u. Magaritz (1980), Jacobeit (1985; 1987), Conte u. a. (1989) oder Maheras (1989). Der zweite Bereich bezieht sich

auf regionale Folgen des anthropogen induzierten globalen Klimawandels (Jung u. Bach, 1985; Wigley, 1992), erste Studien, die ein sog. *Downscaling* auf Teile des Mittelmeerraums beinhalten, sind seit den frühen 1990er Jahren zu verzeichnen (von Storch u. a., 1993; Jacobeit, 1994a; 1994b; Corte-Real u. a., 1995b). Die genannten Themenbereiche stellen heute Schwerpunkte der mediterranen Klimaforschung dar und werden im folgenden Unterkapitel wieder aufgegriffen.

### Aktuelle Forschungsschwerpunkte und -perspektiven

Zentralisationspunkt der Klimaforschung zum Mittelmeerraum ist das seit rund zehn Jahren sich entfaltende internationale Netzwerk MedCLIVAR geworden (Mediterranean Climate Variability and Predictability<sup>1</sup>), seit 2006 offiziell im Rahmen des CLIVAR-Projekts des Weltklimaforschungsprogramms etabliert und von der ESF (European Science Foundation) über Konferenzen, Workshops, Summer Schools und Wissenschaftler Austausch systematisch gefördert. MedCLIVAR zielt auf die Koordination und Förderung wissenschaftlicher Studien zum Klima des Mittelmeerraums und spezifiziert zu Beginn der genannten Internetseite Forschungsprioritäten auf folgenden Gebieten:

- Rekonstruktion vergangener Klimate und deren Entwicklung;
- Klimavariabilität auf unterschiedlichen räumlichen und zeitlichen Skalen;
- Verständnis der Mechanismen beobachteter Klimavariabilität;
- Trends und Zukunftsprojektionen des mediterranen Klimas;
- Extremereignisse und Folgewirkungen des Klimawandels.

Auch wenn in dieser Auflistung nicht explizit erwähnt, so spielt im Rahmen von MedCLIVAR auch die Ozeanographie des Mittelmeeres eine bedeutsame Rolle, nicht nur wegen der vielfältigen Wechselwirkungen Atmosphäre-Ozean im Klimasystem, sondern auch wegen spezifischer klimarelevanter Prozesse wie der Dynamik der Tiefenzirkulation im Mittelmeer oder dessen Austauschprozesse mit dem nordatlantischen Ozean. Neben mehreren Sonderbänden in Fachzeitschriften zu den übergeordneten Themen „Mediterranean Climate Variability“ (Lionello u. a., 2008a), „Oxygen isotopes as tracers of Mediterranean variability“ (Jones u. a., 2010), „Venetia and Northern Adriatic Climate“ (Lionello, 2010), „Climate extremes in the Mediterranean Region“ (Garcia-Herrera u. a., 2010) und „The Climate of the Mediterranean Region“ (Lionello u. a., 2013) sind im Rahmen von MedCLIVAR insbesondere zwei umfangreiche Fachbücher publiziert worden (Lionello u. a., 2006a; Lionello, 2012), die in jeweils acht Hauptkapiteln einen repräsentativen Überblick über die aktuellen Schwerpunkte mediterraner Klimaforschung vermitteln.

Als ein erster Bereich sei die Beschäftigung mit *vergangenen Klimaten* genannt. Konzentriert sich der Review-Beitrag von 2006 noch auf die letzten Jahrhunderte (Luterbacher u. a., 2006), so wird diese Thematik im darauffolgenden Buch bereits

<sup>1</sup> Siehe [www.medclivar.eu](http://www.medclivar.eu).

in zwei verschiedenen Kapiteln behandelt: zum einen für die historische Zeit der letzten zwei Jahrtausende (Luterbacher u. a., 2012), zum anderen für geologische Zeiträume zurück bis zum mesozoischen Tethys-Ozean (Abrantes u. a., 2012), einem erdgeschichtlichen Vorgängerstadium des späteren Mittelmeeres, das nur mehr im östlichen Teil direkte Anknüpfungen zur Tethys zeigt. Die paläoklimatische Forschung ist naturgemäß stark mit geowissenschaftlichen Rekonstruktionsmethoden verbunden, die sich unterschiedlicher Klimaarchive bedienen wie Baumringe, Pollenspektren, Eisbohrkerne, Sinterbildungen in Höhlen, Korallenriffe sowie unterschiedliche terrestrische und marine Sediment-Sequenzen (siehe Abrantes u. a., 2012). Angesichts des ausgedehnten Untersuchungszeitraums werden Klimaschwankungen auf ganz verschiedenen Zeitskalen erfasst, die sich von  $10^6$  Jahren (plattentektonisch begründet) über  $10^5$  Jahre (astronomisch induziert) und den Bereich zwischen  $10^4$  und  $10^2$  Jahren (meist in Verbindung mit Interaktionen zwischen Atmosphäre, Ozean und Kryosphäre) bis zu dekadischer und interannueller Klimavariabilität erstrecken; neben kontinuierlichen Zeitreihen werden dabei oftmals auch spezifische Zeitscheiben rekonstruiert, also räumliche Verteilungen klimatischer Gegebenheiten zu bestimmten markanten Zeitpunkten bzw. Zeitabschnitten (z.B. Höhepunkt der letzten Eiszeit; vgl. Abrantes u. a., 2012).

In historischen Zeiträumen der Klimarekonstruktion gesellen sich zu den zuvor genannten Proxy-Daten neben frühen instrumentellen Messungen insbesondere auch dokumentarische Daten (z.B. Camuffo u. a., 2010), die gerade im alten Kulturraum des Mittelmeergebietes in großer Fülle anzutreffen sind. Sie beinhalten zum Teil wertvolle Hinweise auf die klimatischen Verhältnisse der historischen Vergangenheit und können ggf. auch in quantitative Klimaindizes transferiert werden (siehe Luterbacher u. a., 2006; 2012). Beispiele aus den beiden genannten Buchkapiteln wären etwa rekonstruierte Hochwasserhäufigkeiten, regionale jahreszeitliche Witterungsanomalien (warm/kalt, trocken/feucht) oder aus Schiffsbordbüchern abgeleitete historische Windverhältnisse. Hervorzuheben bleibt, dass es im Bereich der historischen Klimatologie nicht bei bloßer Rekonstruktion vergangener Klimate bleibt, vielmehr schließen sich auch statistische Analysen zur synoptischen und dynamischen Klimatologie an (etwa zur Ableitung charakteristischer Zirkulationsverhältnisse für Phasen markanter Witterungsanomalien, siehe auch Luterbacher u. a., 2010) sowie numerische Modellsimulationen, deren Ergebnisse mit den Rekonstruktionen aus Proxy- und Archivdaten verglichen werden können (Luterbacher u. a., 2006; 2012).

Als zweiter aktueller Forschungsbereich zur Klimatologie des Mittelmeerraums sei das Studium *mediterraner Zyklonen* genannt (Trigo u. a., 1999; Campins u. a., 2011), die für hohe Anteile der dortigen Niederschläge verantwortlich sind und charakteristischen saisonalen Zyklen unterliegen. Im ersten MedCLIVAR-Übersichtswerk ist ihnen ein eigenes Hauptkapitel gewidmet (Lionello u. a., 2006b), im zweiten werden sie im Hauptkapitel zu den synoptischen Mustern mitbehandelt (Ulbrich u. a., 2012). Der überwiegende Teil mediterraner Zyklonen geht aus regionaler Zyklonogenese hervor, d.h. sie wandern mehrheitlich nicht aus den Mittelbreiten oder dem atlantischen Raum ein, sondern entstehen im Mittelmeergebiet selbst oder sehr nahegelegenen Regionen (wie etwa dem Atlas-Lee in

NW-Afrika). Besondere Bedeutung kommt dabei dem Golf von Genua bzw. dem nördlichen Tyrrhenischen Meer sowie der Region um Zypern zu, entsprechend haben sich die Begriffe „Genuazyklone“ bzw. „Zyperntief“ eingebürgert. Ein spezifisches Merkmal im östlichen Mittelmeerraum sind weiterhin die *red sea troughs*, die eine Verbindung zum afrikanischen Monsunsystem beinhalten (Tsvieli u. Zangvil, 2005). Im Kontext der Klimaforschung interessieren jedoch nicht nur die dynamischen Bedingungen der Zyklongenese (Trigo u. a., 2002; Romem u. a., 2007) und die charakteristischen Zyklonenzugbahnen, wie sie mit geeigneten *tracking* Methoden analysiert werden können (z.B. Musculus u. Jacob, 2005; Flocas u. a., 2010), sondern auch längerfristige Trends der Zyklonenaktivität (nach Lionello u. a., 2006b in der zweiten Hälfte des 20. Jahrhunderts rückläufig im westlichen, jedoch ansteigend im östlichen Mittelmeerraum) sowie ihre Auswirkungen insbesondere in Gestalt von Extremereignissen bei Niederschlag, Wind, Ozeanwellen, Sturmfluten und Erdbeben. Auch der Zusammenhang zwischen mediterranen Zyklonen und großräumigen Zirkulationsmustern wird näher untersucht (z.B. Nissen u. a., 2010). Verbleibende Herausforderungen sind nach Lionello u. a. (2006b) u. a. die unterschiedliche Datenbasis in verschiedenen Teilräumen des Mittelmeergebiets, das Erfordernis einer stärkeren Verbindung von Beobachtungs- und Modellierungsstudien sowie die Abschätzung künftiger Zyklonenaktivität bei fortschreitendem Klimawandel (siehe hierzu auch Raible u. a., 2010).

Ein dritter Forschungsschwerpunkt lässt sich mit der Thematik *rezenter Klimavariabilität* im Mittelmeerraum umreißen (siehe Bolle, 2003), wobei hier längerfristige, multi-dekadische Trends vereinfachend mit subsumiert seien (z.B. Norrant u. Douguédroit, 2006; Philandras u. a., 2011). In der zweiten Hälfte des 20. Jahrhunderts wurde das Maximum des mediterranen Erwärmungstrends im Sommer mit Schwerpunkt im westlichen Mittelmeerraum erreicht (Jacobeit, 2000; Trigo u. a., 2006), beim Niederschlag war neben differenzierten räumlichen Mustern in den Übergangsjahreszeiten vor allem ein weitverbreiteter Rückgang im Winter festzustellen, von dem lediglich Teile des südöstlichen Mittelmeerraums ausgenommen waren (Jacobeit u. a., 2007). Ähnliche bipolare Muster sind auch beim Luftdruck identifiziert und als sog. Mediterrane Oszillation bezeichnet worden (Conte u. a., 1989, Douguédroit, 2000). Sie ist allerdings kein eigenständiger Variabilitätsmodus, sondern eingebettet in übergeordnete Schwankungen wie vor allem die winterliche Nordatlantische Oszillation (NAO), die den variablen Druckgradienten zwischen Azorenhoch und Islandtief beschreibt. Auf der Basis von zirkulationsdynamischen Studien, die den Zusammenhang zwischen atmosphärischen Strömungsmustern und regionalen Niederschlagsverteilungen untersucht haben (Düneloh u. Jacobeit, 2003; Xoplaki u. a., 2004), konnte gezeigt werden, dass der winterliche Niederschlagsrückgang in weiten Teilen des Mittelmeerraums mit spezifischen zeitlichen Änderungen bei mehreren großräumigen Zirkulationsmustern in Zusammenhang steht (Trigo u. a., 2006; Jacobeit u. a., 2007), wobei insbesondere gehäufte positive Phasen der NAO eine substantielle Rolle gespielt haben. Auch die Abschwächung mediterraner Zyklonen ist in diesem Zusammenhang diskutiert worden (Trigo u. a., 2000). Allerdings schließt dies nicht aus, dass extreme tägliche Konvektionsniederschläge gleichzeitig auch zunehmen können (Alpert u. a., 2002).

Neben längerfristigen Trends sind jedoch auch Schwankungen und Anomalien des Klimas ein wichtiger Forschungsgegenstand, insbesondere auf dekadischer (Mariotti u. Dell’Aquila, 2012) bis interannueller Zeitskala (Corte-Real u. a., 1995a). Im wechselfeuchten Mittelmeerraum richtet sich besonderes Interesse auf den Niederschlag (z.B. Maheras u. a., 1999), der erhebliche Auswirkungen auf die Wasserverfügbarkeit und damit auf die agrarische Landnutzung, die Vegetationsdynamik und die natürlichen Ökosysteme hat (Trigo u. a., 2006; Xoplaki u. a., 2012). In diesem Zusammenhang spielt die Variabilität der Zyklonenzugbahnen und der atmosphärischen Zirkulationsmodi eine herausragende Rolle, wie es erneut in den beiden MedCLIVAR-Übersichtswerken zum Ausdruck gelangt. Dabei werden im ersten Band die Beziehungen zu tropischen (Alpert u. a., 2006) sowie zu außertropischen dynamischen Systemen (Trigo u. a., 2006) in eigenen Hauptkapiteln behandelt, während im zweiten Band beides zusammengefasst unter dem Begriff Telekonnektionen (Fernverbindungen) dargestellt wird (Ulbrich u. a., 2012). Unter den außertropischen Einflüssen auf die mediterrane Klimavariabilität sind neben der bereits erwähnten NAO weitere Zirkulationsmodi wie das East Atlantic Pattern, das East Atlantic/Western Russia Pattern, das Scandinavian Pattern oder das Eastern Mediterranean Teleconnection Pattern zu nennen (Trigo u. a., 2006; Ulbrich u. a., 2012). Spezifische Auswirkungen im Mittelmeerraum werden etwa bei Xoplaki (2002), Xoplaki u. a. (2003; 2004), Quadrelli u. a. (2001), Krichak u. Alpert (2005a; 2005b) oder Hatzaki u. a. (2009) diskutiert. Tropischer Herkunft sind weitere Einflüsse auf die mediterrane Klimavariabilität, vor allem durch das ENSO-System (El-Niño-Southern-Oscillation im tropischen Pazifik), den südasiatischen und den afrikanischen Monsun sowie tropische Intrusionen in Gestalt langezogener Wolkenbänder oder sog. red sea troughs (Alpert u. a., 2006; Ulbrich u. a., 2012). ENSO-Einflüsse wurden zuerst für die Übergangsjahreszeiten (mit saisonal entgegengesetztem Vorzeichen beim Niederschlag) festgestellt (z.B. Mariotti u. a., 2002); Seubert (2010) konnte auch einen Zusammenhang zum Spätsommer-Frühherbst herstellen, wobei im Bodenluftdruck erneut die Mediterrane Oszillation in Erscheinung tritt. Fernverbindungen zum südasiatischen Monsun werden seit den 1990er Jahren diskutiert, stimuliert durch die legendäre Arbeit von Rodwell u. Hoskins (1996), in der ein Zusammenhang zwischen der markanten sommerlichen Verstärkung der antizyklonalen Absinkbewegung im östlichen Mittelmeerraum und dem Einsetzen des Sommermonsuns hergestellt wurde. Viele Einflüsse auf den Mittelmeerraum treten auch in kombinierter und verknüpfter Form auf, Seubert (2010) hat etwa ein dominantes Telekonnektions-Hauptmuster identifiziert, das den gemeinsamen Einfluss von ENSO und indischem Sommermonsun auf die spätsommerlich-frühherbstliche Niederschlagsvariabilität in weiten Teilen des Mittelmeerraums repräsentiert. Verbesserungsbedürftig bleibt die Reproduktion wichtiger Telekonnektionsmodi in den numerischen Klimamodellen (Trigo u. a., 2006), um ihren Einfluss auch unter Bedingungen des fortschreitenden Klimawandels brauchbar abschätzen zu können.

Obwohl selbst integraler Bestandteil der Klimavariabilität, sind *Extremereignisse* gleichwohl spezifisch fokussiert (siehe z.B. Toreti, 2010; Kuglitsch, 2010), so dass sie hier gesondert als weiterer Forschungsschwerpunkt aufgeführt werden sollen. Im

zweiten MedCLIVAR-Übersichtswerk werden sie gleich in zwei Hauptkapiteln adressiert, einmal nach Klimaelementen (Temperatur, Niederschlag, Wind, Ozeanwellen) differenziert (Ulbrich u. a., 2012), zum anderen bezüglich spezifischer Phänomene wie Hitzewellen, Dürreperioden und Extremwetterereignissen (Xoplaki u. a., 2012). So lässt sich in Teilen des Mittelmeerraums eine rezente Zunahme in Häufigkeit und Persistenz von Dürreperioden feststellen (siehe auch Sousa u. a., 2010; Hoerling u. a., 2012); treten sie im Winter oder Frühjahr auf, können sie sogar die Amplitude nachfolgender sommerlicher Hitzewellen verstärken (Xoplaki u. a., 2012). Hitzewellen ihrerseits, die im Mittelmeerraum einen stärkeren Temperaturanstieg als die sommerlichen Mittelwerte aufzuweisen scheinen (Ziv u. a., 2005), sind wiederum ein Hauptantrieb für natürliche, großflächige Wald- und Buschbrände, die im mediterranen Gebiet neben den mit kriminellen Hintergrund künstlich gelegten Feuern ein immer wiederkehrendes Problem darstellen. Klimatologisch bewegt sich die Extremereignisforschung verstärkt in Richtung zirkulationsdynamischer Studien (siehe z.B. Toreti u. a., 2010), wobei spezifische Zusammenhänge zwischen großskaligen Zirkulationsmustern und Meeresoberflächentemperaturanomalien, regionalen Mechanismen wie Zyklogense oder Land-Atmosphäre-Kopplung und lokalen Extremereignissen aufgedeckt werden (siehe die Überblicksdarstellung von Xoplaki u. a., 2012). Dabei gelangen erneut bestimmte Telekonnektionen ins Blickfeld der Forschung, etwa tropisch-atlantische Einflüsse auf westmediterrane Hitzewellen oder Einwirkungen der pazifischen ENSO-Schwankungen auf Feucht- und Trockenanomalien (allerdings mit großen regionalen und saisonalen Unterschieden). Generell steht die Extremereignisforschung vor dem Problem, oftmals nur zu kurze Beobachtungszeitreihen für derartige seltene Ereignisse verfügbar zu haben und gleichzeitig auch modelltechnisch eingeschränkt zu sein durch die mit Unzulänglichkeiten behaftete Reproduktion von Extremereignissen in numerischen Modellsimulationen. Hier besteht mithin besonders großer Bedarf an gezielten Weiterentwicklungen in den kommenden Jahrzehnten.

Wie bereits erwähnt sind *ozeanographische Untersuchungen* längst integraler Bestandteil klimatologischer Forschungen geworden, dementsprechend finden sich in den beiden MedCLIVAR-Übersichtswerken insgesamt auch vier verschiedene Beiträge aus diesem Arbeitsfeld. Die einzelnen Themen erstrecken sich dabei von Änderungen der Mittelmeer-Ozeanographie im Kontext der Klimavariabilität (Tsimplis u. a., 2006) über strömungsdynamische Zusammenhänge zwischen Atlantik und Mittelmeer (Artale u. a., 2006) sowie Antriebsmechanismen und Variabilität der Zirkulation im Mittelmeer (Schroeder u. a., 2012) bis zu Schwankungen und Trends des mediterranen Meeresspiegels (Gomis u. a., 2012). Bei letzterem Thema ist auffällig, dass während der zweiten Hälfte des 20. Jahrhunderts die Anstiegsrate im Mittelmeer deutlich niedriger ausgefallen ist als im globalen Mittel, was im genannten Buchbeitrag auf gegenläufige Einflüsse von Luftdruckänderungen (Anstiegstrend im Mittelmeerraum) und vertikal integrierten Wassertemperaturen zurückgeführt wird (leichte Abkühlung mit Volumenverkleinerung, erst seit den 1990er Jahren Trendumkehr). Entscheidende Bedeutung für die langfristige Entwicklung kommt den weiter zu erforschenden Massen- und Energietransporten



zwischen Atlantik und Mittelmeer durch die Straße von Gibraltar zu (Artale u. a., 2006; Gomis u. a., 2012), wobei sogleich auch Zusammenhänge zur internen thermohalinen Zirkulation des Mittelmeeres, zu den Austauschprozessen mit dem Schwarzen Meer sowie zwischen östlichem und westlichem Mittelmeerbecken angesprochen sind (Schroeder u. a., 2012). Schließlich werden auch Einwirkungen großskaliger atmosphärischer Variabilität auf das Mittelmeer und seine Zirkulation thematisiert, Beispiele sind der Einfluss der NAO auf das westmediterrane Tiefenwasser (Rixen u. a., 2005), die Antikorrelation zwischen NAO und mediterranen Meeresoberflächentemperaturen (T<sub>simplis</sub> u. a., 2006) sowie der Einfluss atmosphärischer Variabilitätsmodi auf die Eastern Mediterranean Transient (EMT), eine intermittierende Verlagerung der Tiefenwasserbildung von der südlichen Adria in die Ägäis seit Ende der 1980er/Anfang der 1990er Jahre. Josey (2003) sieht hierbei Beziehungen zum East-Atlantic Pattern (gesteuert durch ein ostatlantisches Variationszentrum der Atmosphäre), Jacobeit u. Dünkeloh (2005) weisen auf einen zeitgleichen Umschwung beim Mediterranean Meridional Circulation Pattern hin, der zu einer winterlichen Dominanz nördlicher Winde im östlichen Mittelmeerraum geführt hat. Generell lässt sich konstatieren, dass auch künftig Wechselwirkungen zwischen Atmosphäre und Ozean ein Schwerpunkt mittelmeerbezogener Klimaforschung sein werden.

Zentrale Bedeutung in der Klimaforschung allgemein besitzt die *Klimamodellierung*, also die Simulation des Klimasystems oder wesentlicher Teile davon durch numerische, physikalisch-chemisch-mathematische Computermodelle, die entweder global ausgelegt sind (Globale Klimamodelle oder Erdsystemmodelle) oder sich in höherer räumlicher Auflösung auf begrenzte Modellgebiete konzentrieren (Regionale Klimamodelle). Der Mittelmeerraum in seiner engen Verflechtung von Ozean, Landflächen und Orographie stellt ein besonders attraktives und herausforderndes Untersuchungsgebiet auch für die Klimamodellierung dar, wie es in zwei eigenen Hauptkapiteln der beiden MedCLIVAR-Übersichtswerke zum Ausdruck gelangt (Li u. a., 2006; 2012). Der wissenschaftliche Mehrwert hochaufgelöster Regionalmodellierung wird vor allem in den thematischen Bereichen der Starkniederschlagsereignisse, der gesamten Oberflächen-Hydrologie sowie der oberflächennahen Windverhältnisse gesehen (Li u. a., 2012), Bereiche, in denen der Einfluss der äußerst differenzierten Oberflächenbeschaffenheit im Mittelmeerraum in starkem Maße wirksam wird. Der spektakulärste Fortschritt der letzten Jahre ist darüber hinaus vor allem in der Verfügbarkeit von Ensemble-Simulationen gekoppelter regionaler Klimamodelle auszumachen (Li u. a., 2012), die in ihrer Einbeziehung nicht nur der atmosphärischen, sondern auch der ozeanographischen Verhältnisse des Mittelmeeres selbst eine substanzielle Verbesserung in der Abbildung des mediterranen Klimas sowie seiner Schwankungen und Änderungen mit sich gebracht haben. Allerdings verbleiben gegenwärtig immer noch systematische Abweichungen zur kalten Seite hin (Li u. a., 2012), die durch weitere Modellentwicklungen sowie die Einbeziehung zusätzlicher Komponenten wie Vegetationsformationen und Ökosysteme und damit durch die Entwicklung hin zu regionalen Erdsystemmodellen aufgefangen werden sollten. Schon heute konvergieren die Modellabschätzungen jedoch erkennbar dahin, dass im Kontext der globalen Erwärmung das

bereits bestehende Wasserdefizit des Mittelmeeres aus Verdunstung einerseits sowie Niederschlag und fluvialem Abfluss andererseits weiter zunehmen wird (Li u. a., 2006). Modelltechnisch erwähnenswert ist auch die jüngste Entwicklung in einigen Forschergruppen, regionale Klimamodelle für den Mittelmeerraum zu entwickeln, die wechselwirkend mit globalen Modellen gekoppelt werden, also auch Rückkopplungen an das antreibende Globalmodell zu übertragen in der Lage sind (Li u. a., 2012).

Mit der Modellierung ist auch schon der nächste Schwerpunkt mediterraner Klimaforschung angelegt, die Abschätzung der *weiteren Klimaentwicklung* durch spezifische Zukunftsprojektionen. Sie sind nicht immer konsistent mit bereits beobachteten Klimatrends, wie es etwa für den mediterranen Niederschlag aus globalen Klimamodellsimulationen aufgezeigt worden ist (Barkhordarian u. a., 2013). Im regionalen Kontext werden angesichts der nach wie vor relativ groben räumlichen Auflösung globaler Klimamodelle (ca. 100 km) meist zusätzliche Downscaling-Techniken eingesetzt, die generell in zwei Hauptgruppen unterteilt werden können: entweder man verwendet regionale Klimamodelle, die von einem globalen Modell das künftige Klimaänderungssignal übertragen bekommen und es in höherer räumlicher Auflösung auf den regionalen Bezugsraum herunter skalieren (sog. Dynamisches Downscaling); oder man zieht geeignete statistische Methoden heran, um Ausgabedaten künftiger Modellsimulationen regional oder sogar lokal herunter zu skalieren (sog. Statistisches Downscaling). Die statistischen Modelle werden anhand verfügbarer Beobachtungsdaten kalibriert und im Falle erfolgreicher Validierung mit unabhängigen Daten auf Zukunftsprojektionen numerischer Modellsimulationen übertragen, wobei man sich bei den Prädiktoren häufig auf großskalige Zirkulationsvariablen stützt (z.B. Luftdruck), die als hinreichend modellreproduzierbar gelten; allerdings werden auch regionale Modellsimulationen oder modellierte Klimavariablenfelder (z.B. Niederschlag) statistisch bearbeitet und in räumlich höher aufgelöste Projektionen transferiert. Auch die beiden MedCLIVAR-Übersichtswerke enthalten jeweils ein Hauptkapitel, das sich mit dem mutmaßlichen künftigen Klima im Mittelmeerraum befasst: wird bei Ulbrich u. a. (2006) noch konstatiert, dass die Anzahl derartiger Arbeiten bislang recht spärlich sei, liegen sechs Jahre später schon zahlreiche Studien vor, die auch klimatische Extremereignisse einschließen und in ihrer Verlässlichkeit besser eingeschätzt werden können (Planton u. a., 2012). Auf der Basis von Klimamodellsimulationen liegen Übersichtsdarstellungen für das künftige Mittelmeerklima z.B. bei Giorgi u. Lionello (2008) – aufbauend auf globalen und regionalen Multi-Modell-Ensembles – oder bei Planton u. a. (2012) vor, gestützt auf ein Ensemble regionaler Klimamodelle. Atmosphärisch-ozeanisch gekoppelte regionale Simulationen finden sich z.B. bei Somot u. a. (2008) oder Dubois u. a. (2012). Desweiteren werden Wasserhaushaltsänderungen bei Mariotti u. a. (2008) und Sanchez-Gomez u. a. (2009) thematisiert, Temperatur- oder Niederschlagsextreme bei Paeth u. Hense (2005), Gao u. a. (2006) bzw. Goubanova u. Li (2007), Änderungen in den ozeanischen Wellenhöhen bei Lionello u. a. (2008) und die Entwicklung des mediterranen Meeresspiegels bei Tsimplis u. a. (2008).

Für den zweiten methodischen Bereich statistisch abgeleiteter Zukunftsabschätzungen wird es eine Überblicksdarstellung zum Mittelmeerraum bei Jacobeit u. a. (2014) geben. Hinter dem Begriff „statistisches Downscaling“ verbergen sich nochmals unterschiedliche Verfahrensgruppen, die auf multivariaten Transferfunktionen zwischen großer und kleiner Skala, auf synoptischen Ansätzen (z.B. mittels spezifischer Wetterlagen oder Zirkulationstypen), auf stochastischen Wettergeneratoren oder auf neuronalen Netzwerken basieren. Häufig sind Studien für einzelne Teilräume des Mittelmeergebietes; als Beispiele für gesamtmediterrane Arbeiten können Jacobeit (1996; 2000), Palutikof u. Wigley (1996), Hertig (2004), Hertig u. Jacobeit (2008a;b), mit Bezug auf Extreme Hertig u. a. (2010; 2012; 2013a;b) sowie mit synoptischem Bezug Seubert u. a. (2013) genannt werden.

Beim Blick in die Zukunft interessiert im Mittelmeerraum, für den die Verfügbarkeit der Ressource Wasser ein fundamentales Thema ist, besonders der Niederschlag. Hier deuten die unterschiedlichen Zukunftsprojektionen (meist bis gegen Ende des 21. Jahrhunderts) auf vorherrschende Einbußen im Frühjahr, Sommer und Herbst, während für den Winter teils voneinander abweichende Resultate vorliegen: ebenfalls rückläufige Niederschläge zeigen die globalen Klimamodellsimulationen, zunehmende Niederschläge allerdings nur im äußersten Norden des Mittelmeerraums finden sich in regionalen Modellen, weitverbreitet werden sie im Westen und Norden bei statistischen Abschätzungen indiziert (Jacobeit u. a., 2013). Noch stärker differieren die Projektionen bezüglich extremer Niederschläge; zumindest lässt sich aber für den Mittelmeerraum eine Tendenz erkennen, wonach deren Häufigkeit besser in statistischen Abschätzungen, ihre Intensität jedoch besser in regionalen Modellsimulationen repräsentiert werden kann (Hertig u. a., 2012).

Neben Niederschlag und Temperatur werden auch weitere Größen in Zukunftsprojektionen einbezogen, etwa die Andauer von Trockenphasen (Hertig u. a., 2013a) oder die oberflächennahen Winde (Lavaysse u. a., 2012). Auch grundlegende methodische Weiterentwicklungen wie etwa die explizite Einbeziehung instationärer Beziehungen zwischen Prädiktoren und Prädiktanden werden jüngst anhand von Beispielen aus dem Mittelmeerraum erarbeitet und illustriert (Hertig u. Jacobeit, 2013). Schließlich sei auch noch darauf verwiesen, dass im Gefolge der Klimawandel-Debatte breitgefächerte Forschungsanstrengungen in Richtung sektoraler und regionaler Klimafolgen ins Leben gerufen worden sind, wie sie sich bezüglich des Mittelmeerraums etwa in Gestalt des integrierten CIRCE-Projekts (Climate Change and Impact Research: the Mediterranean Environment<sup>2</sup>) manifestiert haben (2008–2011).

Nicht im Fokus der MedCLIVAR-Initiative, aber gleichwohl zu erwähnen sind zwei weitere klimatologische Forschungsfelder: zum einen saisonale Vorhersagen, d.h. die Abschätzung des wahrscheinlichen Grundcharakters bevorstehender Jahreszeiten (etwa hinsichtlich der vorherrschenden Bedingungen bei Temperatur, Niederschlag oder Wasserverfügbarkeit) aus geeigneten Variablen mit zeitverzögertem Einfluss auf das Klima des Mittelmeerraums. In erster Linie ist dabei an nord-

<sup>2</sup> Siehe [www.circeproject.eu](http://www.circeproject.eu).

atlantische Meeresoberflächentemperaturanomalien zu denken (Rodríguez-Fonseca u. a., 2006), aber auch bestimmte Telekonnektionen wie etwa mit den pazifischen ENSO-Anomalien beinhalten ein partielles Vorhersagepotential. Jüngere Beispiele auf der Basis statistischer Modellierungen finden sich bei Sousa u. a. (2011) sowie Hertig und Jacobbeit (2010; 2011a;b), wobei allerdings auch offenkundig geworden ist, dass brauchbare mediterrane Jahreszeitenvorhersagen nicht generell, sondern nur beschränkt auf einzelne Teilregionen, Saisonabschnitte und Klimavariablen abgeleitet werden können.

Zum zweiten ist auf die Stadtklimatologie zu verweisen, die sich mit der Modifikation der örtlichen Klimaverhältnisse unter dem Einfluss städtischer Baukörper befasst. Stellvertretend seien einige Arbeiten aus dem Mittelmeerraum erwähnt, die etwa den städtischen Wärmeinseleffekt im Großraum Athen quantifizieren (Mihalakakou u. a., 2004), die urbane Wärmeinsel in Vergleich setzen zu spezifischen Topographieinflüssen und dem regionalen Erwärmungstrend (Saaroni u. Ziv, 2010) oder Zukunftsabschätzungen vornehmen, wie stark der Wärmeinseleffekt bei fortschreitender globaler Erwärmung bis Ende des 21. Jahrhunderts voraussichtlich zunehmen wird (Ozdemir u. a., 2012).

## Bibliographie

- Abrantes, F. u. a., 2012: Paleoclimate Variability in the Mediterranean Region. In: P. Lionello, Hrsg.: *The Climate of the Mediterranean Region – From the Past to the Future*. Amsterdam: Elsevier, S. 1–86.
- Agi, M., 1968: Wetter und Klima im östlichen Mittelmeergebiet unter besonderer Berücksichtigung des Zyperntiefs (Berliner Meteorologische Abhandlungen 75, 4). Berlin: Reimer.
- Ali, F. M., 1953: Prediction of wet periods in Egypt four to six days in advance. *Journal of Meteorology*, 10, S. 478–485.
- Alpert, P. u. a., 2002: The paradoxical increase of Mediterranean extreme daily rainfall in spite of decrease in total values. *Geophysical Research Letters*, 29(11), S. 31-1–31-4.
- , u. a., 2006: Relations between Climate Variability in the Mediterranean Region and the Tropics: ENSO, South Asian and African Monsoons, Hurricanes and Saharan Dust. In: P. Lionello, P. Malanotte-Rizzoli u. R. Boscolo, Hrsg.: *Mediterranean climate variability*. Amsterdam: Elsevier, S. 149–177.
- Artale, V. u. a., 2006: The Atlantic and Mediterranean Sea as Connected Systems. In: P. Lionello, P. Malanotte-Rizzoli u. R. Boscolo, Hrsg.: *Mediterranean climate variability*. Amsterdam: Elsevier, S. 283–323.
- Band, G., 1955: Bora und Mistral – ein Vergleich. *Archiv für Meteorologie, Geophysik und Bioklimatologie*, Serie B 6, S. 225–235.
- Barkhordarian, A., von Storch, H. u. Bhend, J., 2013: The expectation of future precipitation change over the Mediterranean region is different from what we observe. *Climate Dynamics*, 40, S. 225–244.
- Bennet, J. H., 1870a: Winter and spring on the shores of the Mediterranean – or, the Riviera, Mentone, Italy, Corsica, Sicily, Algeria, Spain, and Biarritz, as winter climates. London: Churchill and Sons.
- , 1870b: On the climate of Algeria. *The British Medical Journal*, 515, S. 527–528.
- , 1871: On the physical geography and climate of Spain, and of its health-resorts. *The British Medical Journal*, 560, S. 346–347.
- Blüthgen, J. u. Weischer, W., 1980: *Allgemeine Klimageographie*. Berlin u. a.: de Gruyter.
- Bolle, H.-J., Hrsg., 2003: *Mediterranean Climate: Variability and Trends*. Berlin u. a.: Springer.
- Bonacina, L. W. C., 1921: The earth's windbelts as factors of climate. *Monthly weather review*, 49, S. 391–393.
- Brunnacker, K., 1980: Young pleistocene loess as an indicator for the climate in the Mediterranean area. *Palaeoecology of Africa and the surrounding islands*, 12, S. 99–113.
- Butzer, K., 1957: Mediterranean pluvials and the general circulation of the Pleistocen. *Geografiska Annaler*, 39, S. 48–53.
- , 1960: Dynamic climatology of large-scale European circulation patterns in the Mediterranean area. *Meteorologische Rundschau*, 13, S. 97–105.
- Campins, J., Genovés, A., Picornell, M. A. u. Jansà, A., 2011: Climatology of Mediterranean cyclones using the ERA-40 dataset. *International Journal of Climatology*, 31, S. 1596–1614.
- Camuffo, D. u. a., 2010: 500-year temperature reconstruction in the Mediterranean Basin by means of documentary data and instrumental observations. *Climatic Change*, 101, S. 169–199.
- Conte, M., Giuffrida, S. u. Tedesco, S., 1989: The Mediterranean oscillation – impact on precipitation and hydrology in Italy. In: *Proceedings of the international conference on climate and water, Helsinki University of Technology* (Publications of the Academy of Finland 1), Helsinki: Academy of Finland, S. 121–137.

- Corte-Real, J., Zhang, X. u. Wang, X., 1995: Large-scale circulation regimes and surface climatic anomalies over the Mediterranean. *International Journal of Climatology*, 15, S. 1135–1150.
- , 1995: Downscaling GCM information to regional scales: a non-parametric multivariate regression approach. *Climate Dynamics*, 11, S. 413–424.
- Douguédroit, A., 2000: The Mediterranean Oscillation in Winter. *Prace Geograficzne*, 107, S. 339–344.
- Dubois, C. u. a., 2012: Future projections of the surface heat and water budgets of the Mediterranean Sea in an ensemble of coupled atmosphere–ocean regional climate models. *Climate Dynamics*, 39, S. 1859–1884.
- Dünkeloh, A. u. Jacobeit, J., 2003: Circulation Dynamics of Mediterranean Precipitation Variability 1948–98. *International Journal of Climatology*, 23, S. 1843–1866.
- Flocas, H. u. a., 2010: On cyclonic tracks over the eastern Mediterranean. *Journal of Climate*, 23, S. 5243–5257.
- Flohn, H., 1948: Zur Kenntnis des jährlichen Ablaufs der Witterung im Mittelmeergebiet. *Geofisica pura e applicata*, 13, S. 167–188.
- Gao, X., Pal, J. u. Giorgi, F., 2006: Projected changes in mean and extreme precipitation over the Mediterranean region from a high resolution double nested RCM simulation. *Geophysical Research Letters*, 33(3). [online] DOI: 10.1029/2005GL024954.
- García-Herrera, R., Lionello, P. u. Ulbrich, U. Hrsg., 2010: Understanding dynamics and current developments of climate extremes in the Mediterranean region. *Natural Hazards and Earth System Sciences*, Special Issue 10–12.
- Gat, J. u. Magaritz, M., 1980: Climatic Variations in the Eastern Mediterranean Sea Area“. *Naturwissenschaften*, 67, S. 80–87.
- Giorgi, F., 2006: Climate change hot-spots. *Geophysical Research Letters*, 33. [online] DOI: 10.1029/2006GL025734.
- , u. Lionello, P., 2008: Climate change projections for the Mediterranean region. *Global and Planetary Change*, 63, S. 90–104.
- Gleeson, T. A., 1954: Cyclogenesis in the Mediterranean Region. *Archiv für Meteorologie, Geophysik und Bioklimatologie*, Serie A 6, S. 165–171.
- Gomis, D. u. a., 2012: Mediterranean Sea-Level Variability and Trends. In: P. Lionello, Hrsg.: *The Climate of the Mediterranean Region – From the Past to the Future*. Amsterdam: Elsevier, S. 257–299.
- Goubanova, K. u. Li, L., 2007: Extremes in temperature and precipitation around the Mediterranean basin in an ensemble of future climate scenario simulations. *Global and Planetary Change*, 57, S. 27–42.
- Grove, J. u. Conterio, A., 1995: The climate of Crete in the sixteenth and seventeenth centuries. *Climatic Change*, 30, S. 223–247.
- Harding, A., Palutikof, J. u. Holt, T., 2009: The Climate System. In: J. Woodward, Hrsg.: *The Physical Geography of the Mediterranean*. Oxford: Oxford University Press, S. 69–88.
- Hatzaki, M., Flocas, H., Giannakopoulos, C. u. Maheras, P., 2009: The Impact of the Eastern Mediterranean Teleconnection Pattern on the Mediterranean Climate. *Journal of Climate*, 22, S. 977–992.
- Hertig, E., 2004: Niederschlags- und Temperaturabschätzungen für den Mittelmeerraum unter anthropogen verstärktem Treibhauseffekt, Universität Würzburg.  
(<http://opus.bibliothek.uni-wuerzburg.de/frontdoor/index/index/docId/750>)
- , u. Jacobeit, J., 2008a: Assessments of Mediterranean precipitation changes for the 21<sup>st</sup> century using statistical downscaling techniques. *International Journal of Climatology*, 28, S. 1025–1045.

- , u. Jacobeit, J., 2008b: Downscaling Future Climate Change – Temperature Scenarios for the Mediterranean area. *Global and Planetary Change*, 63, S. 127–131.
- , u. Jacobeit, J., 2010: *Saisonale Klimaprognose für den Mittelmeerraum auf der Basis statistischer Modellierungen* (Geographica Augustana 10), Augsburg: Institut für Geographie, Universität Augsburg
- , Seubert, S. u. Jacobeit, J., 2010: Temperature extremes in the Mediterranean area – Trends in the past and assessments for the future. *Natural Hazards and Earth System Sciences*, 10, S. 2039–2050.
- , u. Jacobeit, J., 2011a: Predictability of Mediterranean climate variables from oceanic variability – Part I: Sea surface temperature regimes. *Climate Dynamics*, 36, S. 811–823.
- , u. Jacobeit, J., 2011b: Predictability of Mediterranean climate variables from oceanic variability – Part II: Statistical models for monthly precipitation and temperature in the Mediterranean area. *Climate Dynamics*, 36, S. 825–843.
- , Paxian, A., Vogt, G., Seubert, S., Paeth, H. u. Jacobeit, J., 2012: Statistical and dynamical downscaling assessments of precipitation extremes in the Mediterranean area. *Meteorologische Zeitschrift*, 21, S. 61–77.
- , u. Jacobeit, J., 2013: A novel approach to statistical downscaling considering non-stationarities: application to daily precipitation in the Mediterranean area. *Journal of geophysical research. Atmospheres*, 118(2), S. 520–533.
- , Seubert, S., Paxian, A., Vogt, G., Paeth, H. u. Jacobeit, J., 2013a: Changes of total versus extreme precipitation and dry periods until the end of the twenty-first century – statistical assessments for the Mediterranean area. *Theoretical and Applied Climatology*, 111, S. 1–20.
- , Seubert, S., Paxian, A., Vogt, G., Paeth, H. u. Jacobeit, J., 2013b: Statistical modeling of extreme precipitation indices for the Mediterranean area under future climate change. *International Journal of Climatology*, 34(4), S. 1132–1156.
- Hoerling, M. u. a., 2012: On the Increased Frequency of Mediterranean Drought. *Journal of Climate*, 25, S. 2146–2161.
- Hughes, M. u. Diaz, H., 1994: Was there a ‚medieval warm period‘, and if so, where and when? *Climatic Change*, 26, S. 109–142.
- Huttary, J., 1950: Die Verteilung der Niederschläge auf die Jahreszeiten im Mittelmeergebiet. *Meteorologische Rundschau*, 5, S. 111–119.
- Jacobeit, J., 1985: Die Analyse großräumiger Strömungsverhältnisse als Grundlage von Niederschlagsdifferenzierungen im Mittelmeerraum (Würzburger Geographische Arbeiten 63). Würzburg: Inst. für Geographie d. Univ. Würzburg.
- , 1987: Variations of trough positions and precipitation patterns in the Mediterranean area. *Journal of Climatology*, 7, S. 453–476.
- , 1994a: Empirische Abschätzungen zur Änderung des Winterniederschlags im Mittelmeerraum bei anthropogen verstärktem Treibhauseffekt. *PIK Reports*, 1, S. 117–121.
- , 1994b: Empirical estimations of Mediterranean rainfall changes in the transitional seasons due to enhanced greenhouse warming. In: R. Brázdil u. M. Kolar, Hrsg.: *Contemporary Climatology*. Brno: Tisk Litera, S. 266–271.
- , 1996: Atmospheric Circulation Changes Due to Increased Greenhouse Warming and its Impact on Seasonal Rainfall in the Mediterranean Area. In: I. Nemesova, Hrsg.: *Climate Variability and Climate Change Vulnerability and Adaptation*. Prag: Institute of Atmospheric Physics Czech Academy of Sciences, S. 71–80.
- , 2000: Rezente Klimaentwicklung im Mittelmeerraum. *Petermanns Geographische Mitteilungen*, 144, S. 22–33.
- , Dünkeloh, A., 2005: The Eastern Mediterranean Transient in Relation to Atmospheric Circulation Dynamics. *Hydrogeologie und Umwelt*, 33, S. 1–8.

- , Dünkeloh, A. u. Hertig, E., 2007: Mediterranean Rainfall Changes and their Causes. In: J. Lozán, H. Graßl, P. Hupfer, L. Menzel u. C.-D. Schönwiese, Hrsg.: *Global Change – Enough water for all?* Hamburg: Verlag Wissenschaftliche Auswertungen u. GEO, S. 195–199.
- , Hertig, E., Seubert, S. u. Lutz, K., 2014: Statistical downscaling for climate change projections in the Mediterranean region: methods and results. *Regional Environmental Change*, 14(5), S. 1891–1906.
- Jones, M., Roberts, N. u. Zanchetta, G., Hrsg., 2010: Oxygen isotopes as tracers of Mediterranean variability – linking past, present and future. *Global and Planetary Change*, Special Issue 71.
- Josey, S., 2013: Changes in the heat and freshwater forcing of the eastern Mediterranean and their influence on deep water formation. *Journal of Geophysical Research*, 108(C7), S. 3013–3015. [online] DOI: 10.1029/2003JC001778.
- Jung, H.-J.; Bach, W., 1985: GCM-derived climatic change scenarios due to a CO<sub>2</sub>-doubling applied for the Mediterranean area. *Archives for Meteorology, Geophysics, and Bioclimatology*, Ser. B, 35, S. 323–329.
- Köppen, W. P., 1931: *Grundriss der Klimakunde*, 2. verbesserte Aufl. der Klimate der Erde. Berlin: de Gruyter.
- Krichak, S., Alpert, P., 2005a: Signatures of the NAO in the atmospheric circulation during wet winter months over the Mediterranean region. *Theoretical and Applied Climatology*, 82, S. 27–39.
- , 2005b: Decadal trends in the East Atlantic/West Russia pattern and the Mediterranean precipitation. *International Journal of Climatology*, 25, S. 183–192.
- Kuglitsch, F. G., 2010: *Extreme Temperature Events in the Mediterranean Region*, Universität Bern: Institut für Geographie.
- Lavaysse, C., Vrac, M., Drobinski, P., Lengaigne, M. u. Vischel, T., 2012: Statistical downscaling of the French Mediterranean climate – assessment for present and projection in an anthropogenic scenario. *Natural Hazards and Earth System Sciences*, 12, S. 651–670.
- Li, L. u. a., 2006: Regional Atmospheric, Marine Processes and Climate Modelling. In: P. Lionello, P. Malanotte-Rizzoli u. R. Boscolo, Hrsg.: *Mediterranean climate variability*. Amsterdam: Elsevier, S. 373–397.
- , u. a., 2012: Modeling of the Mediterranean Climate System. In: P. Lionello, Hrsg.: *The Climate of the Mediterranean Region – From the Past to the Future*. Amsterdam: Elsevier, S. 419–448.
- Lionello, P., Malanotte-Rizzoli, P. u. Boscolo, R., Hrsg., 2006a: *Mediterranean climate variability*. Amsterdam: Elsevier.
- , u. a., 2006b: Cyclones in the Mediterranean Region – Climatology and Effects on the Environment. In: P. Lionello, P. Malanotte-Rizzoli u. R. Boscolo, Hrsg.: *Mediterranean climate variability*. Amsterdam: Elsevier, S. 325–372.
- , Planton, S. u. Rodo, X., Hrsg., 2008: The Mediterranean climate – trends, variability and change. *Global and Planetary Change*, Special Issue 63.
- , Cogo, S., Galati, M. B. u. Sanna, A., 2008: The Mediterranean surface wave climate inferred from future scenario simulations. *Global and Planetary Change*, 63, S. 152–162.
- , Hrsg., 2010: The Climate of Venetia and Northern Adriatic. *Physics and Chemistry of the Earth*, Special Issue 40-41, S. 1–8.
- , Hrsg., 2012: *The Climate of the Mediterranean Region – From the Past to the Future*. Amsterdam: Elsevier.
- u. a., Hrsg., 2014: The climate of the Mediterranean region: research progresses and climate change impacts. *Regional Environmental Change*, Special Issue.



- Luterbacher, J. u. a., 2006: Mediterranean Climate Variability over the Last Centuries – A Review. In: Lionello, P. Malanotte-Rizzoli u. R. Boscolo, Hrsg.: *Mediterranean climate variability*. Amsterdam: Elsevier, S. 27–148.
- , u. a., 2010: Circulation dynamics and its influence on European and Mediterranean January–April climate over the past half millennium – results and insights from instrumental data, documentary evidence and coupled climate models. *Climatic Change*, 101, S. 201–234.
- , u. a., 2012: A Review of 2000 Years of Paleoclimatic Evidence in the Mediterranean. In: P. Lionello, Hrsg.: *The Climate of the Mediterranean Region – From the Past to the Future*. Amsterdam: Elsevier, S. 87–185.
- Maheras, P., 1989: Principal component analysis of Western Mediterranean air temperature variations 1866–1985. *Theoretical and Applied Climatology*, 39, S. 137–145.
- , Xoplaki, E. u. Kutiel, H., 1999: Wet and Dry Monthly Anomalies Across the Mediterranean Basin and their Relationship with Circulation, 1860–1990. *Theoretical and Applied Climatology*, 64, S. 189–199.
- Marcet, W., 1875: On the Mediterranean coast of the south of France in its medical aspect. *The British Medical Journal*, 748, S. 743–745.
- , 1880: On the influence of altitude with reference to the treatment of pulmonary disease. *The British Medical Journal*, 1031, S. 539–541.
- Mariotti, A., Zeng, N. u. Lau, W., 2002: Euro-Mediterranean rainfall and ENSO – a seasonally varying relationship. *Geophysical Research Letters*, 29(12), S. 59–1–59–4. 0.1029/2001GL014248  
[online] [http://www.meto.umd.edu/~zeng/papers/Mariottio2\\_ENSO\\_MedRain.pdf](http://www.meto.umd.edu/~zeng/papers/Mariottio2_ENSO_MedRain.pdf)  
[Letzter Zugriff: 30.10.14].
- u. a., 2008: Mediterranean water cycle changes – transition to drier 21<sup>st</sup> century conditions in observations and CMIP3 simulations<sup>a</sup>. *Environmental Research Letters*, 3, 0.S.  
[online] DOI:10.1088/1748-9326/3/4/044001 [Letzter Zugriff: 30.10.14].
- , Dell'Aquila, A., 2012: Decadal climate variability in the Mediterranean region – roles of large-scale forcings and regional processes. *Climate Dynamics*, 38, S. 1129–1145.
- Meteorological Office, 1962: *Weather in the Mediterranean*, Bd. 1: *General Meteorology*. London: Her Majesty's Stationery Office.
- Mihalakakou, G. u. a., 2004: Simulation of the Urban Heat Island Phenomenon in Mediterranean Climates. *Pure and Applied Geophysics*, 161, S. 429–451.
- Musculus, M. u. Jacob, D., 2005: Tracking cyclones in regional model data – the future of Mediterranean storms. *Advances in Geosciences*, 2, S. 13–19.
- Neumann, J., 1951: Land breezes and nocturnal thunderstorms. *Journal of Meteorology*, 8, S. 60–67.
- , Sigrist, M., 1978: Harvest dates in ancient Mesopotamia as possible indicators of climatic variations. *Climatic Change*, 1, S. 239–252.
- Nissen, K. u. a., 2010: Cyclones causing wind storms in the Mediterranean – characteristics, trends and links to large-scale pattern. *Natural Hazards and Earth System Sciences*, 10, S. 1379–1391.
- Norrant, C. u. Douguedroit, A., 2006: Monthly and daily precipitation trends in the Mediterranean (1950–2000). *Theoretical and Applied Climatology*, 83, S. 89–106.
- Ozdemir, H. u. a., 2012: Quantification of the urban heat island under a changing climate over Anatolian Peninsula. *Theoretical and Applied Climatology*, 108, S. 31–38.
- Paeth, H. u. Hense, A., 2005: Mean versus extreme climate in the Mediterranean region and its sensitivity to future global warming conditions. *Meteorologische Zeitschrift*, 14, S. 329–347.

- Palutikof, J. u. Wigley, T., 1996: Developing climate change scenarios for the Mediterranean region. In: L. Jeftić, S. Keckes u. J. C. Pernetta, Hrsg.: *Climate Change and the Mediterranean*, Bd. 2. London: Edward Arnold, S. 27–56.
- Philandras, K. u. a., 2011: Long term precipitation trends and variability within the Mediterranean region. *Natural Hazards and Earth System Sciences*, 11, S. 3235–3250.
- Planton, S. u. a., 2012: The Climate of the Mediterranean Region in Future Climate Projections. In: P. Lionello, Hrsg.: *The Climate of the Mediterranean Region – From the Past to the Future*. Amsterdam: Elsevier, S. 449–502.
- Quadrelli, R., Pavan, V. u. Molteni, F., 2001: Wintertime variability of Mediterranean precipitation and its links with large-scale circulation anomalies. *Climate Dynamics*, 17, S. 457–466.
- Raible, C., Ziv, B., Saaroni, H. u. Wild, M., 2010: Winter synoptic-scale variability over the Mediterranean Basin under future climate conditions as simulated by the ECHAM5. *Climate Dynamics*, 35, S. 473–488.
- Reichel, E., 1949: Die Niederschlagshäufigkeit im Mittelmeergebiet. *Meteorologische Rundschau*, 2, S. 129–142.
- Rixen, M. u. a., 2005: The Western Mediterranean deep water – a proxy for climate change. *Geophysical Research Letters*, 32, o.S.  
[online] DOI: 10.1029/2005GL022702.
- Rohdenburg, H. u. Sabelberg, U., 1972: Quartäre Klimazyklen im westlichen Mediterraengebiet und ihre Auswirkungen auf die Relief- und Bodenentwicklung. *Zeitschrift für Geomorphologie*, 15, S. 87–92.
- Rodriguez-Fonseca, B., Polo, I., Serrano, E. u. Castro, M., 2006: Evaluation of the North Atlantic SST forcing on the European and Northern African winter climate. *International Journal of Climatology*, 26, S. 179–191.
- Rodwell, M. u. Hoskins, B., 1996: Monsoons and the dynamics of deserts. *Quarterly Journal of the Royal Meteorological Society*, 122, S. 1385–1404.
- Romem, M., Ziv, B. u. Saaroni, H., 2007: Scenarios in the development of Mediterranean cyclones. *Advances in Geosciences*, 12, S. 59–65.
- Saaroni, H. u. Ziv, B., 2010: Estimating the Urban Heat Island Contribution to Urban and Rural Air Temperature Differences over Complex Terrain - Application to an Arid City. *Journal of Applied Meteorology and Climatology*, 49, S. 2159–2166.
- Sanchez-Gomez, E., Somot, S. u. Mariotti, A., 2009: Future changes in the Mediterranean water budget projected by an ensemble of regional climate models. *Geophysical Research Letters*, 36, o.S. [online] DOI: 10.1029/2009GL040120.
- Schneider-Carius, K., 1948: Die Etesien. *Meteorologische Rundschau*, 1, S. 464–470.
- Schroeder, K., 2012: Circulation of the Mediterranean Sea and its Variability. In: P. Lionello, Hrsg.: *The Climate of the Mediterranean Region – From the Past to the Future*. Amsterdam: Elsevier, S. 187–256.
- Seubert, S., 2010: *Telekonnektionen des Niederschlags im Mittelmeerraum zur Zirkulation in den Tropen*, Universität Augsburg: Fakultät für angewandte Informatik. [online] verfügbar unter: <http://opus.bibliothek.uni-augsburg.de/opus4/frontdoor/index/index/docId/1460> [Zugriff: 2. Juni 2014].
- , u. a., 2014: Mediterranean climate extremes in synoptic downscaling assessments. *Theoretical and Applied Climatology*, 117, S. 257–275.
- Somot, S., Sevault, F., Déqué, M. u. Crépon, M., 2008: 21st Century Climate Change Scenario for the Mediterranean using a coupled Atmosphere-Ocean Regional Climate Model. *Global and Planetary Change*, 63, S. 112–126.
- Sousa, P. M. u. a., 2011: Trends and extremes of drought indices throughout the 20<sup>th</sup> century in the Mediterranean. *Natural Hazards and Earth System Sciences*, 11, S. 33–51.

- Sutcliffe, R. C., 1960a: The Mediterranean in relation to the general circulation. *Meteorologische Abhandlungen*, 9, S. 125–133.
- , 1960b: Depressions, fronts and air mass modification in the Mediterranean. *Meteorologische Abhandlungen*, 9, S. 135–144.
- Thiede, J., 1978: A glacial Mediterranean. *Nature*, 276, S. 680–683.
- Thunell, R., 1979: Eastern Mediterranean Sea during the last glacial maximum – an 18000 years B.P. reconstruction. *Quaternary Research*, 11, S. 353–372.
- Toreti, A., 2010: *Extreme events in the Mediterranean – analysis and dynamics*, Universität Bern: Geographisches Institut.
- u. a., 2010: Characterisation of extreme winter precipitation in Mediterranean coastal sites and associated anomalous atmospheric circulation patterns. *Natural Hazards and Earth System Sciences*, 10, S. 1037–1050.
- Trigo, I., Davies, T. u. Bigg, G. R., 1999: Objective climatology of cyclones in the Mediterranean region. *Journal of Climate*, 12, S. 1685–1696.
- , 2000: Decline in Mediterranean rainfall caused by weakening of Mediterranean cyclones. *Geophysical Research Letters*, 27, S. 2913–2916.
- , 2002: Climatology of cyclogenesis mechanisms in the Mediterranean. *Monthly Weather Review*, 130, S. 549–569.
- Trigo, R., u. a., 2006: Relations between Variability in the Mediterranean Region and Mid-Latitude Variability. In: P. Lionello, P. Malanotte-Rizzoli u. R. Boscolo, Hrsg.: *Mediterranean climate variability*. Amsterdam: Elsevier, S. 179–226.
- Tsimplis, M. u. a., 2006: Changes in the Oceanography of the Mediterranean Sea and their Link to Climate Variability. In: P. Lionello, P. Malanotte-Rizzoli u. R. Boscolo, Hrsg.: *Mediterranean climate variability*. Amsterdam: Elsevier, S. 227–282.
- Tsvieli, Y. u. Zangvil, A., 2005: Synoptic climatological analysis of ‘wet’ and ‘dry’ Red Sea troughs over Israel. *International Journal of Climatology*, 25, S. 1997–2015.
- Ulbrich, U. u. a., 2006: The Mediterranean Climate Change under Global Warming. In: P. Lionello, P. Malanotte-Rizzoli u. R. Boscolo, Hrsg.: *Mediterranean climate variability*. Amsterdam: Elsevier, S. 399–415.
- u. a., 2012: Climate of the Mediterranean – Synoptic Patterns, Temperature, Precipitation, Winds, and Their Extremes. In: P. Lionello, Hrsg.: *The Climate of the Mediterranean Region – From the Past to the Future*. Amsterdam: Elsevier, S. 301–346.
- Urbani, M., 1968: Una classificazione dei tipi di tempo sull’ Europa e sul Mediterraneo (Nota Tecnica 14). Rom: Servizio Meteorologico.
- u. D’Angiolino, G., 1974: *Tipi di circolazione nella media troposfera sull’ Europa e sul Mediterraneo* (Nota Tecnica 21). Rom: Servizio Meteorologico.
- von Storch, H., Zorita, E. u. Cubasch, U., 1993: Downscaling of global climate change estimates to regional scales – an application to Iberian rainfall in wintertime. *Journal of Climate*, 6, S. 1161–1171.
- Wallén, C. C., 1977: *Climates of Central and Southern Europe* (World Survey of Climatology 6). Amsterdam: Elsevier.
- Weickmann, L., 1922: *Luftdruck und Winde im östlichen Mittelmeergebiet* (Zum Klima der Türkei 1). München: Mülhthaler.
- Weischer, W. u. Endlicher, W., 2000: *Regionale Klimatologie*, Teil 2: *Die Alte Welt*. Stuttgart: Teubner.
- Wigley, T., 1992: Future climate of the Mediterranean basin with particular emphasis on changes in precipitation. In: L. Jefic, J. Milliman u. G. Sestini, Hrsg.: *Climate Change and the Mediterranean*. New York: Edward Arnold, S. 15–44.
- Williams, C. T., 1867: The climate of the south of France, and its varieties most suitable for invalids; with remarks on Italian and other winter stations. London: Churchill and Sons.

- Xoplaki, E., 2002: Climate variability over the Mediterranean, Dissertation Universität Bern.
- , González-Rouco, F., Luterbacher, J. u. Wanner, H., 2003: Mediterranean summer air temperature variability and its connection to the large-scale atmospheric circulation and SST's. *Climate Dynamics*, 20, S. 723–739.
- , González-Rouco, F., Luterbacher, J. u. Wanner, H., 2004: Wet season Mediterranean precipitation variability – influence of large-scale dynamics and trends. *Climate Dynamics*, 23, S. 63–78.
- , u. a., 2012: Large-Scale Atmospheric Circulation Driving Extreme Climate Events, in the Mediterranean and its Related Impacts. In: P. Lionello, Hrsg.: *The Climate of the Mediterranean Region – From the Past to the Future*. Amsterdam: Elsevier, S. 347–417.
- Zenone, E., 1959: *Klimatologie und Meteorologie des Mittelmeergebietes*. Kloten: Flugwetterdienst der MZA.
- Ziv, B. u. a., 2005: Indications for aggravation in summer heat conditions over the Mediterranean Basin. *Geophysical Research Letters*, 32, o.S.  
[online] DOI: 10.1029/2005GL022796 [Letzter Zugriff: 30.10.14].