

### 3.6 Einfluss extremer Trockenheit auf Desertifikationsprozesse

ROLAND BAUMHAUER

**Einfluss extremer Trockenheit auf Desertifikationsprozesse:** Für viele Länder in den ariden, semiariden und trocken-subhumiden Regionen der Erde stellt die Desertifikation (aus dem lat. desertus, die Wüste und facere, machen) ein erhebliches ökologisches, wirtschaftliches und soziales Problem dar. Diese Regionen umfassen etwa 40 % der Landmasse der Erde. Davon sind rund 70% und damit etwa ein Viertel der Landfläche von Desertifikationserscheinungen betroffen oder bedroht. Selbst wenn die aufgeführten Zahlen je nach Schätzung und zugrunde gelegter Definition variieren, unterstreichen sie die Bedeutung der Desertifikation als globales Problem und vermitteln einen Eindruck von den Raumdimensionen, in denen die entsprechenden Prozesse wirksam sind. Klimawandel und Bevölkerungswachstum lassen eine Akzentuierung des Desertifikationsgeschehens für die Zukunft erwarten. Der Beitrag gibt einen Überblick über die Auswirkungen des Klimawandels insbesondere im Hinblick auf den desertifikationsrelevanten Parameter extreme Trockenheit und seinen Einfluss auf Wasserhaushalt und Wasserverfügbarkeit sowie Vegetation und versucht seine Bedeutung im Hinblick auf eine potenzielle Beschleunigung der Desertifikation aufzuzeigen.

**Effect of extreme drought on the process of desertification:** Desertification, together with its economic and social impacts and side effects, is a major problem in large parts of the world's drylands. Primarily due to climatic reasons these regions are susceptible to the processes of desertification. Predictions of climate development suggest changes of the two climatic parameters most significant for desertification: temperature and precipitation. Introductory remarks on the definition, distribution, causes and process of desertification are followed by a discussion of the possible effects climate change will have on the frequency and intensity of extreme climatic events, on water budget, and also on vegetation. All of them are either inherent determinants of desertification processes or closely related to them. Regions with already extreme climatic conditions today – i.e. mainly the arid and semi-arid regions – will be among the looser regions, if it turns out that there will really be an acceleration of desertification.



Abb. 3.6-1: Überweidete und mobilisierte Dünen und Acacia-Balanites-Savanne bei Tabalak, Niger (Foto: E. Schulz).

MENSCHING & SEUFFERT (2001) verstehen unter Desertifikation die Extremform bzw. Endstufe von »Landschaftsdegradation«, »die durch unangepasste, vor allem landwirtschaftliche Nutzungen (Viehzucht, Ackerbau) lokal (kleinräumig), regional (großräumig) und langfristig möglicherweise sogar zonal wüstenartige Umweltbedingungen in Landschaften entstehen lässt, die vordem keine Wüsten waren« und die in vollem Umfang ausschließlich in den Trockengebieten mit ihrer naturgegebenen Prädisposition

ablaufen kann. Im Gegensatz dazu wird Desertifikation im Rahmen der Agenda 21 recht allgemein als Landschaftsdegradation in den ariden, semiariden und trocken-subhumiden Gebieten der Erde beschrieben, die durch verschiedenartige Ursachen einschließlich Klimaschwankungen und Einfluss des Menschen, hervorgerufen wird. Vor allem im Anwendungsbereich (z.B. Erläuterung der GIZ auf ihrer Homepage [[www.giz.de](http://www.giz.de)]: »Desertifikation hat wenig mit Wüsten zu tun, sondern ist ein Problem von Wasserknappheit und Zer-

störung von Böden und Vegetation in Siedlungs- und Produktionsräumen der Trockengebiete, welches zu Mangelernährung, Armut, Krisen und Flüchtlingsehend führt») werden als Desertifikation häufig recht allgemein all jene Prozesse bezeichnet, die in den Trockenzonen der Erde aufgrund anthropogener Eingriffe zu Landdegradation und somit zu Einschränkungen der Nutzungsmöglichkeiten führen. Bei der Diskussion um eine angemessene Definition des Begriffes darf auch der politische Aspekt nicht übersehen werden. Die Tatsache, dass zunehmend auch Degradationsprozesse mit dem Begriff Desertifikation belegt werden, hängt nicht zuletzt mit dessen Medienpräsenz und Wahrnehmung in der Öffentlichkeit zusammen. Ungeachtet der anhaltenden Diskussion ist ein wesentliches Kennzeichen der Desertifikation die Degradation der Böden und der Vegetation sowie eine Beeinträchtigung der Wasserressourcen, die im Endstadium zu wüstenhaften Bedingungen in Erdräumen führt, in denen aufgrund ihrer klimazonalen Lage keine Wüste sein dürfte. Betroffen sind Landschaften, die aufgrund ihrer physisch-geographischen Grundausstattung, z.B. in Trockengebieten, aus klimatischen Gründen eine eingeschränkte Trag- und Regenerationsfähigkeit aufweisen. Der Mensch ist am Prozess der Desertifikation durch unangepasste Nutzung ursächlich und direkt beteiligt. Die degradierte Landschaft weist abnehmende Ernteerträge auf, in deren Folge auch Hungersnöte drohen können.

**Verbreitung, Indikatoren, Ursachen und kausale Zusammenhänge**

Aufgrund der uneinheitlichen Definition ist auch die räumliche Verbreitung von Desertifikation schwer zu erfassen. Die von der UNCOD (UNITED NATIONS CONFERENCE ON DESERTIFICATION) veröffentlichte »World map of desertification« (1977) basiert auf der Definition von 1977, die Desertifikation als Verringerung oder Zerstörung des biologischen Potenzials von Landschaftsteilen beschreibt, so dass sich letzten Endes wüstenähnliche Bedingungen einstellen können. Sie unterscheidet zwischen drei Gefährdungsstufen wobei die hyperariden Naturwüsten per se ausgeschlossen werden (vgl. Abb.3.6-2: Weltkarte der Desertifikation nach U.S. Department of Agriculture, 1996).

Die UNCCD (United Nations Convention to Combat Desertification), konstatiert in einem Bericht 2013, dass insgesamt 11,8 Mio. km<sup>2</sup> der als Trockengebiete klassifizierten Flächen (ohne hyperaride Gebiete) von Desertifikationsprozessen betroffen sind (insgesamt 70% aller Trockengebiete). In Afrika sind die Regionen am nördlichen und südlichen Rand der Sahara, in Ost und Nordost-Afrika insbesondere Kenia, Äthiopien und die Somali-Halbinsel sowie im südlichen Afrika die Randbereiche von Kalahari und Namib am stärksten betroffen oder zumindest stark bedroht. Diese Landschaften umfassen eine Fläche von etwa 5,3 Mio. Quadratkilometer und damit rund 30% der Fläche Afri-

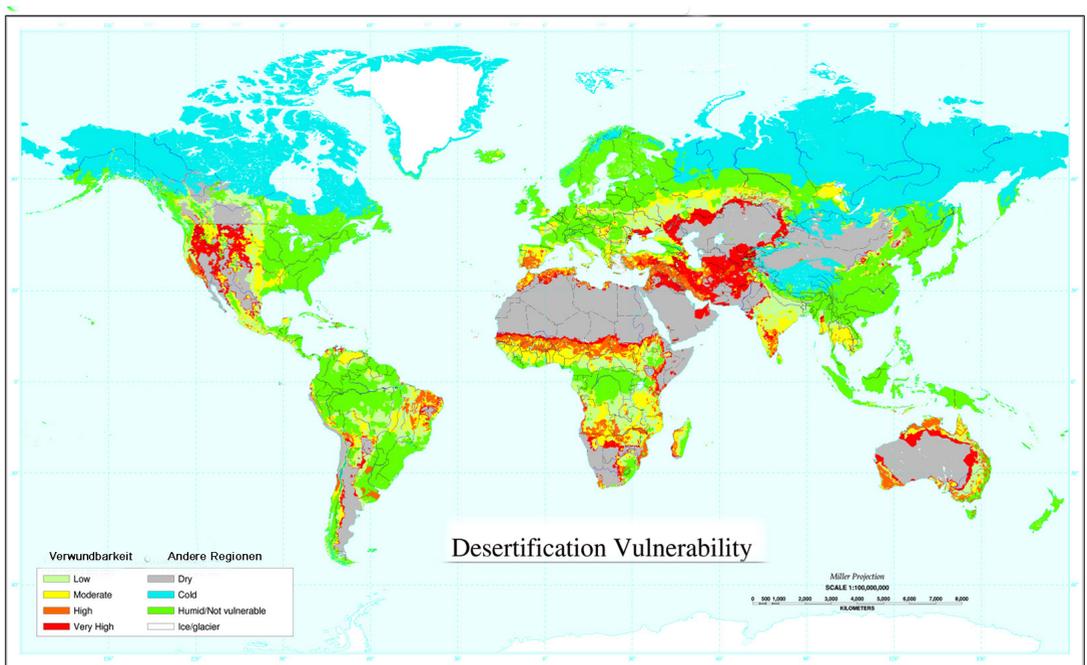


Abb. 3.6-2: Weltkarte der Desertifikationsgefährdung (USDA 1996).

kas außerhalb der natürlichen Wüsten mit etwa 65% der gesamten Bevölkerung Afrikas. In Zentralasien sind über 50% der Landesflächen von Kasachstan, Kirgisistan, Usbekistan, Tadschikistan und Turkmenistan akut von Desertifikation und Landschaftsdegradation bedroht. Auch in Lateinamerika und der Karibik leiden laut UNDP (2009) knapp 30% der Trockengebietsfläche (rd. 1,2 Mio. km<sup>2</sup>), die 26,5% der Gesamtfläche Lateinamerikas und der Karibik ausmachen, unter Desertifikationsprozessen. Auch in den Industrie- und Schwellenländern ist Desertifikation ein Problem. Zu den betroffenen Ländern gehören beispielsweise China, Argentinien, Brasilien, und Mexiko sowie die USA und einige Mittelmeeranrainerstaaten. Weltweit sind über 2,5 Milliarden Menschen in 110 Ländern von Desertifikation betroffen oder bedroht.

Die Dynamik der Desertifikation ist in weiten Teilen der Erde ungebrochen und schafft beunruhigende Perspektiven: Sollte dieser Trend anhalten, wird bis zum Jahr 2025 ein Rückgang der landwirtschaftlichen Nutzfläche um zwei Drittel in Afrika, um ein Drittel in Asien (ohne China) und um zwei Fünftel in Lateinamerika erwartet (jeweils im Vergleich zum Referenzjahr 1990). Die Bekämpfung der Desertifikation gewinnt insbesondere durch die engen Verflechtungen zum globalen Klimawandel, dem Biodiversitätsverlust und der daraus resultierenden zunehmenden Ernährungsunsicherheit an Bedeutung. Nur eine schonende Ressourcennutzung sowie die nachhaltige Entwicklung in den Trockengebieten können zur Desertifikationsbekämpfung beitragen. Zum ersten Mal weltweit abgestimmtes Handeln gegen die Desertifikation wurde in der UN-CD 1994 festgelegt.

Indikatoren der Desertifikation sind Veränderungen im Landschaftsbild, die aus anthropogenen Einflüssen resultieren und anzeigen, wo entsprechende Prozesse beginnen oder bereits stattgefunden haben. Sie sind insofern von Bedeutung, da dadurch im Gelände der jeweilige Desertifikationsgrad festgestellt werden kann. Die physischen Indikatoren lassen sich in vier Gruppen untergliedern vegetative Indikatoren (z.B. flecken- bis flächenhafte Zerstörung der Pflanzendecke, Veränderungen im Artenspektrum, Veränderungen der Wuchseistung), hydrologische Indikatoren (abnehmende Bodenfeuchte, absinkende Grundwasserspiegel, verminderte Grundwasserneubildungsraten), pedologische Indikatoren (physikalische und chemische Bodenveränderungen im Zuge der »Aridisierung«, Verhärtungen und Krustenbildung, strukturelle und textuelle Veränderungen) und morphodynamische Indikatoren (z.B. fluvial: Verstärkung der Bodenerosion an Hängen hinterlässt im Bereich der Oberhänge »gekappte« Profile, so dass die obersten Bereiche des ursprünglichen Profils fehlen -

gleichzeitig finden sich im Bereich von Tiefenlinien Materialakkumulationen bzw. überschüttete Bodenprofile; äolisch: Reaktivierung ursprünglich fixierter Dünen). Darüber hinaus existieren diverse soziale Indikatoren wie rückläufige Felderträge und Viehbestände, Verknappung des Holz- und Viehfutterangebots, Beschäftigungsstruktur der ländlichen Bevölkerung, räumliche Mobilität, Sozialverhalten, Zahl der politischen Unruhen etc. Allerdings sind diese nicht immer eindeutig zu identifizieren oder sie lassen sich nur sehr schwer mit Desertifikationsprozessen direkt korrelieren.

Desertifikation umfasst im Normalfall ein komplexes Wirkungsgefüge zwischen physikalischen, biologischen, politischen, sozialen, kulturellen und ökonomischen Faktoren. Positive oder negative Interdependenzen werden wirksam und je nach Ursache und Region verschiebt sich der Schwerpunkt der jeweils dominierenden Auslöser und Konsequenzen. Obwohl sich Desertifikation in der Landschaft physisch als Degradation und Verminderung der Tragfähigkeit manifestiert, sind die Ursachen zumeist im sozioökonomischen Bereich zu suchen. Historische, politische, soziale und wirtschaftliche Zwänge oder Rahmenbedingungen wie beispielsweise rasches Bevölkerungswachstum, ungünstiges Landrecht (kurze Pachtperioden und daher kein Interesse an nachhaltiger Nutzung), mangelnde administrative Regulierung der Landnutzung, Marktwirtschaft statt Subsistenzwirtschaft sowie fehlender Zugang zu gutem oder zumindest tragfähigem Land speziell für die ärmere Bevölkerung sind Auslöser bzw. Gründe für nicht angepasste Landnutzungspraktiken, die besonders im Zusammenspiel mit klimatischen Extremsituationen Desertifikationsprozesse initiieren oder forcieren.

Der Mensch steht als Auslöser und wesentliche Steuergröße am Ausgangspunkt des Desertifikationsgeschehens. Durch unangepasste Landnutzung (wie landwirtschaftliche Übernutzung der Anbauflächen, Überweidung, Rodungen und Entwaldung, Ausbeutung der Grundwasserreserven oder falsche Bewässerungspraktiken mit Vertrocknung oder Versalzung) wird die Pflanzendecke zerstört, die Böden degradiert und die Wasserverfügbarkeit in quantitativer und/oder qualitativer Hinsicht beeinträchtigt. Insbesondere der Boden- und Vegetationszustand ist wesentlich für die Desertifikation. Boden und Vegetation stehen über Rückkopplungsmechanismen in direkter Verbindung zueinander. Bodendegradation führt durch Erosion und Krustenbildung zur Beeinträchtigung des Bodenwasserhaushalts und zu einer verminderten Vegetationstragfähigkeit, deren Auflichtung ihrerseits Erosionsprozesse forciert. Die großflächige Zerstörung der Pflanzendecke verursacht eine Aridisierung des Klimas der bodennahen Luftschicht. Dadurch wird eine

oberflächige Austrocknung und Verhärtung der Böden begünstigt und als Folge die Infiltrationskapazität der Böden bei gleichzeitig verstärktem Oberflächenabfluss verringert. Dies führt wiederum zu verstärkter Bodenerosion, wobei insbesondere das Solum, d.h. die oberen humus-, feinerde- und nährstoffreichen Bodenpartien betroffen sind und sich somit ungünstigere Bedingungen für die Vegetation ergeben. Als Endzustand stellt sich in den Trockengebieten bei fehlenden Gegenmaßnahmen eine anthropogen durch Desertifikation induzierte und durch die klimatischen Gegebenheiten begünstigte wüstenartige Umwelt ein. Dem Menschen ist in diesem Fall die Lebensgrundlage entzogen, so dass er bedroht ist von Hungersnöten, verschärfter Armut und damit einem potenziell erhöhten Krisen- und Konfliktrisiko. Allgemein gilt, dass es sich bei Desertifikationsprozessen um hochkomplexe Ursache – Wirkungskorrelationen handelt, die sich von Fall zu Fall und von Region zu Region im Hinblick auf die jeweils wirksamen Faktoren und Mechanismen unterscheiden und die sich daher auch monokausalen Erklärungen entziehen.

### Beispielraum Sahel

Der Sahelraum am südlichen Rand der Sahara (Sahel ist etymologisch abgeleitet von arab. as-sahil = das Ufer, die Küste) ist geprägt von physischen Prozessen wie ausgeprägten Niederschlagsvariabilitäten im Raum und in der Zeit mit verheerenden Dürrekatastrophen, Wind- und Wassererosion und deutlicher Abnahme der Bodenfeuchtigkeit von Süd nach Nord (u.a. Pilardeaux 2011). Aufgrund dieser und des zunehmenden menschlichen Drucks auf die natürlichen Ressourcen zur Überlebenssicherung ist der Sahelraum sicherlich die Region auf der Erde, in der die Desertifikationsproblematik – nicht zuletzt durch die Medienpräsenz während der immer wiederkehrenden Dürreperioden in den letzten Jahrzehnten – von der Öffentlichkeit am intensivsten wahrgenommen wird.

Die Armut der stark subsistenzorientierten Gesellschaften des Sahel spielt zwar eine notwendige Rolle, reicht aber als alleiniger Erklärungsansatz für die Auslösung der weiträumigen Degradations- bzw. Desertifikationsprozesse in dieser Region Afrikas nicht aus. In vorkolonialer Zeit wechselten in dieser ursprünglichen Dornsavannenregion relativ kurze Nutzungs-, zum Teil Übernutzungsphasen im Wanderfeldbau, in der Landwechselwirtschaft oder in der nomadischen Viehhaltung mit langen Brachezeiten ab. Eine geringe Bevölkerungsdichte und soziale Mechanismen (z.B. war eine Eheschließung vielfach von zusätzlichen Bodenreserven oder zusätzlichen Ernteerträgen abhängig) haben eine großräumigere Degradation des natürlichen

Potenzials verhindert. Erst die gesellschaftlichen Entwicklungen seit dem Beginn der Kolonialisierung vor etwas mehr als 100 Jahren (mit Entscheidungen und Unterlassungen, die von der lokalen über die nationale bis zur internationalen Ebene reichen) haben zur Landschaftsdegradation und Desertifikation in größerem Ausmaß geführt (u.a. KUSSEROW 2015). Während der Kolonialzeit fand durch die Förderung der markt- und profitorientierten Erzeugung von Exportrohstoffen wie Baumwolle oder Erdnuss eine Veränderung der bis dahin bestehenden wirtschaftlichen, politischen und sozialen Systeme statt, die dazu führte, dass viele ländliche Regionen auf der Grundlage ihrer bisherigen Ressourcennutzung und der für den Sahel typischen Subsistenzwirtschaft nicht mehr überlebensfähig waren. Auch mit dem Übergang von der Kolonial- zur Entwicklungspolitik seit der politischen Unabhängigkeit der betroffenen westafrikanischen Staaten haben sich lediglich Mittel und Instrumente geändert. Die Agrarpolitik ist auch weiterhin prioritär auf Markt-, Export- und Rentenproduktion ausgerichtet. Für den überwiegenden Teil der Bevölkerung des Sahel ist jedoch bis heute die Subsistenzwirtschaft, die im Übrigen bis heute keinerlei Förderung erfahren hat, überlebensnotwendig, so dass sich trotz des starken Bevölkerungswachstums die Landwirtschaftstechniken im Prinzip nicht verbessert haben und damit die landwirtschaftliche Übernutzung der Anbauflächen, die Überweidung, Rodungen und Entwaldung und die Ausbeutung der Grundwasserreserven auch weiterhin zumindest die Landschaftsdegradation verstärkt, in vielen Bereichen jedoch bereits die Desertifikation forciert haben. Auch die allgemeine Wirtschaftspolitik ist regelhaft ausschließlich auf die Sahelstädte ausgerichtet, während die ländlichen Räume vernachlässigt werden. Die Landnutzungs-, Ressourcen- und Raumerschließungspolitik hat vielfach dazu geführt, dass Gebiete, die aufgrund ihres natürlichen Potenzials früher nur zeitlich eingeschränkt oder sehr extensiv genutzt wurden, neu erschlossen werden und dass – verbunden mit dem Bevölkerungswachstum – die nicht angepasste Landnutzung im Zusammenspiel mit klimatischen Extremsituationen Desertifikationsprozesse initiiert oder forciert (u.a. MORTIMORE 2016).

Obwohl bereits auf der UNCOD-Konferenz 1977 im Gefolge einer der folgenschwersten Dürrekatastrophen in der Sahelzone Afrikas (1969-1974) Ziele wie »Aufhalten oder Eindämmen von Desertifikation« oder die »Verbreitung ökologisch angepasster produktiver Landnutzungsformen« propagiert wurden (MIDDLETON 1991), wurde es bald deutlich, dass es sich bei den Prozessen, die zur Desertifikation führen um hoch komplexe Ursache-Wirkungskorrelationen handelt, die sich von Fall zu Fall und von Region zu Region im Hinblick

auf die jeweils wirksamen Faktoren und Mechanismen unterscheiden. Nicht zuletzt deswegen und trotz der vielfachen großen Anstrengungen sind bis heute nur geringe Erfolge bei der Desertifikationsbekämpfung erzielt worden. Sichtbare graduelle Fortschritte gibt es im Prinzip nur auf der lokalen (regionalen) Ebene mit jeweils spezifisch abgestimmten und an den jeweiligen klimatischen Trend angepassten Gegenmaßnahmen. Im Gegensatz zu den internationalen und nationalen Strategien zielen diese Maßnahmen nicht auf die Eindämmung der Desertifikationsfolgen, sondern auf die ihrer Ursachen, für deren Detektion im Vorfeld umfassende, regionale Monitoringdaten zur genauen Klassifizierung nötig sind. Insgesamt kommt der Politik nicht nur der unmittelbar betroffenen Staaten sowohl bei der Verursachung als auch bei einer möglichen Bekämpfung der Desertifikation eine zentrale Rolle zu. Zwar sind direkte politische Handlungsspielräume begrenzt, doch sind inländische Reformen und internationale Veränderungen der Wirtschaftsbeziehungen zwingend notwendig, um die Desertifikation einzudämmen. Dennoch ist es auch vor dem Hintergrund des Klimawandels und trotz der durchaus erkennbaren Bereitschaft und des politischen Willens auf nationaler und supranationaler Ebene, das Problem grundlegend anzugehen, fraglich, ob die Desertifikation dauerhaft bekämpft werden kann.

### **Beschleunigung der Desertifikation durch Klimawandel?**

Das IPCC konstatiert in seinem fünften Klimazustandsbericht (2014) einen Anstieg der globalen Durchschnittstemperatur um  $0,6\text{ °C} \pm 0,2\text{ °C}$  für das 20. Jahrhundert, wobei die Intensität der Erwärmung regional variiert. Bis zum Jahr 2100 wird ein weiterer Temperaturanstieg von  $1,4$  bis  $5,8\text{ °C}$  prognostiziert. Dabei vollzieht sich die Erwärmung im Bereich der Landmassen schneller als über den Ozeanen und übersteigt somit mit hoher Wahrscheinlichkeit den globalen Durchschnitt, und die subtropischen Trockenzonen werden von der Erwärmungstendenz stärker betroffen als beispielsweise die tropischen Regenwälder (u.a. CLAUSSEN & CRAMER 2001).

PAETH et al. (2017) und PAXIAN (2016) gehen davon aus, dass sich im Zuge eines allgemeinen Temperaturanstiegs auch Hitzewellen und Trockenperioden häufiger einstellen. Diese spielen für Desertifikationsprozesse eine wesentliche Rolle, indem sie in den betroffenen Gebieten einerseits die Anfälligkeit der Böden für Degradation erhöhen und andererseits die verfügbaren Wasserressourcen quantitativ und qualitativ beeinträchtigen und somit neben Ernteausfällen zu einer Gefährdung der Wasserversorgung führen. Für desertifikationsgefährdete Gebiete in Nordamerika,

Asien und Südeuropa werden in der Literatur Reduktionsraten der Bodenfeuchte von bis zu 30% bis zur Mitte des 21. Jahrhunderts genannt, für die bereits heute von der Desertifikation bedrohten Regionen in Afrika wird eine weitere Reduktion der ohnehin geringen Bodenfeuchte erwartet (u.a. WERTH & AVISSAR 2005).

Als weiterer Aspekt des Klimawandels wird aber auch eine Intensivierung des hydrologischen Kreislaufs für sehr wahrscheinlich gehalten. Im Zuge dessen wird sich die Evapotranspiration sowie aufgrund des allgemeinen Temperaturanstiegs die Aufnahmekapazität der Atmosphäre für Wasserdampf erhöhen. Daraus resultiert einerseits die zunehmende Gefahr schwerer Niederschlagsereignisse, andererseits eine Verstärkung des Treibhauseffekts durch den gestiegenen Wasserdampfgehalt. Allerdings wären von Starkregenereignissen mit Ausnahme von Teilen des Mittelmeerraumes vermutlich in erster Linie die mittleren und hohen Breiten betroffen. Das IPCC (2001, 2007, 2014) konstatiert für Südeuropa neben der Gefahr zunehmender Sommer-trockenheit eine verstärkte zeitliche Konzentration der Niederschläge auf die Wintermonate, die das Risiko für Überschwemmungen erhöhen würden, ohne dass das zusätzliche Wasserangebot nutzbar wäre. Eine aktuelle Analyse von rund 30 Klimamodellen zeigt allerdings, dass es auch im Sahel Afrikas zu zunehmend heftigen regionalen Regenfällen kommen könnte. Ursache dafür ist ein sich selbst verstärkender Mechanismus, der jenseits einer Erderwärmung von  $1,5$  bis  $2\text{ °C}$  einsetzen könnte. Nach SCHEWE & LEVERMANN (2017) weisen eine Reihe von Modellen darauf hin, dass sich das sahelische Klima schlagartig verändert, wenn die Temperatur der Meeresoberfläche im tropischen Atlantik und im Mittelmeer über einen bestimmten Wert steigt, der eine Art von Kipp-Punkt darstellt. Insbesondere der Niederschlag nimmt plötzlich und stark zu, gekoppelt an eine Zunahme der Intensität des SW-Monsuns, der zudem beträchtlich weiter nach Norden reicht, als dieses aktuell der Fall ist. Intensivere Niederschläge führen zu verstärktem Oberflächenabfluss, wobei aber kein wesentlicher Beitrag zur Erhöhung des Bodenwasserspeichers erbracht werden kann. Vielmehr wird die Bodenerosion forciert, die im Rahmen von Desertifikationsprozessen eine wichtige Rolle spielt. In diesem Zusammenhang wird einmal mehr die Ambivalenz des Wassers in Trockengebieten unterstrichen. Einerseits steht es die meiste Zeit nur in begrenztem Maße zur Verfügung, andererseits legt es nicht selten seine zerstörerische Kraft in Form von Starkregenereignissen mit Überschwemmungen und Bodenerosion an den Tag. Generell gilt, dass die Erkenntnisse und Prognosen hinsichtlich der durch Klimawandel hervorgerufenen Veränderungen der hygrischen Klimakomponenten Niederschlag und

Verdunstung noch immer als weniger gesichert angesehen werden müssen als die Temperaturentwicklung.

Im Gegensatz dazu herrscht allgemeine Übereinstimmung, dass die globale Erwärmung großen Einfluss auf die Entwicklung des Wasserhaushalts und dessen Teilkomponenten in globalem und in regionalem Maßstab und infolgedessen auf die Verfügbarkeit der Wasserressourcen mit weitreichenden Folgen haben wird. Es wurde bereits angesprochen, dass sich die zeitliche und räumliche Verteilung der Niederschläge aufgrund der generellen Intensivierung des hydrologischen Kreislaufs mit hoher Wahrscheinlichkeit in Form einer Zunahme in den hohen und mittleren Breiten und einer Abnahme in einigen äquatornäheren Gebieten verändern wird. Dieses hat selbstverständlich auch Konsequenzen für den Oberflächenabfluss. Das IPCC (2007, 2014) hält einen Anstieg in den höheren Breiten und in Südstasien für wahrscheinlich, während für weite Teile der Trockenregionen mit einem Rückgang der Abflussmengen gerechnet wird. Eine durch rückläufige Niederschlagsmengen bei steigender Verdunstung hervorgerufenen Reduktion des Abflusses dürfte die generelle Wasserknappheit und Desertifikationsanfälligkeit noch verschärfen. Dabei können sich zusätzlich qualitative Probleme bei der Wasserversorgung ergeben. HOFF (2001) weist darauf hin, dass sich die Veränderung des Oberflächenabflusses deutlich von der des Niederschlags unterscheiden kann, da sich im Zuge der allgemeinen Erwärmung gleichzeitig die Verdunstung erhöht. So reduziert eine Erwärmung um 1-2 °C in Kombination mit einem Niederschlagsrückgang um 10% den Oberflächenabfluss um 40-70% (u.a. MAYNARD & ROYER 2004). Darüber hinaus wirken sich erhöhte Evapotranspirationsraten auch auf die Infiltration und die Bodenfeuchtigkeit und somit auf die Menge an pflanzenverfügbarem Bodenwasser aus. Generell lässt sich festhalten, dass der Wasserhaushalt der ariden und semiariden Regionen besonders sensibel auf Klimavariationen reagiert, so dass die Gefahr einer Beschleunigung von Desertifikationsprozessen nicht ausgeschlossen werden kann und durch die angesprochene potenzielle Intensivierung von Trockenperioden noch verschärft wird.

Betrachtet man die Auswirkungen von Klimaänderungen auf die Vegetation, so sind mehrere Teilaspekte von Interesse. Neben Konsequenzen für den Stoffwechsel der einzelnen Pflanzen, ergeben sich Folgen für die Artenzusammensetzung von Pflanzengesellschaften (s. auch Kap. 1.4) und deren Verbreitung sowie für die Landwirtschaft. Da die globale Verteilung der Vegetation(szonen) neben den Böden in hohem Maße vom Klima gesteuert wird, liegt der Schluss nahe, dass sich Klimaänderungen auch im Ve-

getationsmuster niederschlagen. CLAUSSEN & CRAMER (2001) führen einige Beispiele aus dem Holozän an (Vordringen von Tundra und Taiga nach Norden, Besiedelung der Sahara durch Savannen und subtropische Grasländer vor etwa 9000 Jahren) und erläutern in diesem Zusammenhang, wie sich Veränderungen der Vegetation ihrerseits über Rückkopplungen in Klimamodifikationen niederschlagen können. Die Pflanzenwelt kann auf veränderte Klimabedingungen mit Sukzession reagieren. Umgekehrt wird das Klima durch Veränderungen pflanzenphysiologischer Vorgänge, strukturelle Veränderungen und die Koppelung der Vegetation an den Kohlenstoff-Kreislauf beeinflusst. Insgesamt werden durch Klimawandel hervorgerufene Veränderungen im Vegetationsmuster bei unveränderten Emissionsraten von Treibhausgasen für sehr wahrscheinlich gehalten. Für die Abschätzung der Auswirkungen eines Klimawandels auf die landwirtschaftlichen Erträge sind in erster Linie die räumlich differenzierte Entwicklung der Temperatur und der Wasserverfügbarkeit relevant. PAETH et al. (2008) legen dar, dass sich Temperaturveränderungen bei Kulturpflanzen, die in einem bestimmten Anbauggebiet aktuell ihr optimales Temperaturspektrum vorfinden, in Ertragsrückgängen niederschlagen, sobald der thermische Optimalbereich verlassen wird. Die Frage der Wasserverfügbarkeit ist besonders für die Trockenräume der Erde von außerordentlicher Bedeutung, da in diesen Regionen bei der Pflanzenproduktion zumeist der hygrische Faktor als limitierendes Element in Erscheinung tritt. Darüber hinaus sind weitere Einflussgrößen wie beispielsweise CO<sub>2</sub>-Düngeeffekte, Pflanzenkrankheiten, Veränderungen der Vegetationsperiode etc. zu berücksichtigen. Das Zusammenspiel der genannten Faktoren und deren individuelles Gewicht werden letztlich für jede Region über die landwirtschaftliche Produktivität entscheiden. Während für die höheren Breiten Ertragszuwächse für möglich gehalten werden, gilt für die niederen Breiten, speziell die ariden und semiariden Gebiete, eine negative Entwicklung der landwirtschaftlichen Erträge mit einem erhöhten Risiko von Hungersnöten als wahrscheinlich. Der Zuwachs an ackerbaulich nutzbarem Land in den höheren Breiten wird vermutlich mit Verlusten in den Subtropen in Form einer Ausbreitung der Steppen und Wüsten einhergehen (BRÜCHER et al. 2016). In diesem Fall würde sich der Nutzungsdruck in den ohnehin desertifikationsgefährdeten Gebieten noch erhöhen (u.a. PAETH et al. 2008); mit der Konsequenz, dass die oben skizzierten Mechanismen in erhöhtem Maß zum Tragen kommen und eine durch Klimawandel initiierte Beschleunigung der Desertifikation nicht auszuschließen ist.

Dennoch ist derzeit die Bedeutung des Klimawan-

dels für die Desertifikationsproblematik nur schwer abzuschätzen. Jedoch scheint sich bei allen derzeit noch vorhandenen Unklarheiten und Wissensdefiziten als Grundtendenz abzuzeichnen, dass Desertifikation sich ohne wirksame Gegenmaßnahmen im Zuge des »global warming« noch weiter verstärken und auch räumlich weiter ausdehnen wird, insbesondere bei weiterem Bevölkerungswachstum. Auch das IPCC (2014) geht davon aus, dass mit Zunahme der Veränderungen die nachteiligen Folgen, auch in Form einer Beschleunigung der Desertifikation, in den Vordergrund treten. Besonders die nach Häufigkeit und Intensität zunehmenden Hitzewellen und Dürreperioden in den Trockengebieten sind es, die eine Beschleunigung der Desertifikation sehr wahrscheinlich machen. Häufigere und intensivere Starkregenereignisse forcieren Degradationsprozesse, speziell die Bodenerosion, in einzelnen Regionen wie z.B. dem Mittelmeerraum. Höhere Evapotranspirationsraten bei vermindertem Oberflächenabfluss beeinträchtigen das Wasserangebot in den Trockenzonen in quantitativer, aber auch in qualitativer Hinsicht. Zusammen mit potenziell rückläufigen Erträgen in der Landwirtschaft ergeben sich daraus negative Konsequenzen für die sozioökonomischen Gegebenheiten, die ihrerseits einer nachhaltigen Nutzung entgegenwirken und somit der Desertifikation Vorschub leisten.

## Literatur

- BAUMHAUER, R. & S. WINKLER (2013): Glazialgeomorphologie – Formung der Landoberfläche durch Gletscher. Stuttgart (Borntreger), 262 p. [http://www.schweizerbart.de/publications/detail/isbn/9783443071516/Baumhauer\\_Winkler\\_Glazialgeomorphologie](http://www.schweizerbart.de/publications/detail/isbn/9783443071516/Baumhauer_Winkler_Glazialgeomorphologie).
- BAUMHAUER, R., C. KNEISEL, S. MÖLLER, B. SCHÜTT & E. TRESSEL (2017): Einführung in die Physische Geographie. Wissenschaftliche Buchgesellschaft, Darmstadt, 353 p.
- BEHNKE, R., H. & M. MORTIMORE (Hrsg.) (2016): The End of Desertification? Disputing environmental change in the drylands, Berlin.
- BRÜCHER, T., M. CLAUSSEN & T. RADDATZ (2016): Implications of land use change in tropical Northern Africa under global warming.- Earth Syst. Dynam. 1101-1128.
- CLAUSSEN, M. & W. CRAMER (2001): Change of the Global Vegetation.- In: LOZÁN J. L. et al. (Hrsg.): Climate of the 21st Century: Changes and Risks, 262-265.
- HAHN, B., R. BAUMHAUER & D. WIKTORIN (Hrsg.): Atlas Würzburg - Vielfalt und Wandel der Stadt im Kartenbild. 2016, Köln (Emons), 240 p.
- HOFF, H. (2001): Climate change and water availability.- In: LOZÁN, J. L. et al. (Hrsg.), Climate of the 21st Century: Changes and Risks, 315-321.
- IPCC (2007): Climate Change 2007: Synthesis report. Genf.
- IPCC (2014): Climate Change 2014: Synthesis Report. Contribution of Working Groups I, II and III to the Fifth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change [Core Writing Team, R. K. PACHAURI & L.A. MEYER (Hrsg.)]. IPCC, Geneva, Switzerland, 151 S.
- KUSSEROW, H. (2015): The African Sahel – field of tension between desertification and salafism [Die Sahelzone Afrikas im Spannungsfeld zwischen Desertifikation und Salafismus].- Zbl. Geol. Paläont. Teil I, H. 1, S. 117-150.
- MAYNARD, K. & J.-F. ROYER (2004): Effects of »realistic« land-cover change on a greenhouse-warmed African climate.- Climate Dyn. 22, 343-358.
- MENSCHING, H. G. & O. SEUFFERT (2001): (Landschafts-) Degradation – Desertifikation. Ein globales Umweltsyndrom.- Petermanns Geographische Mitteilungen 145, 4, 6-15.
- MIDDLETON, N. (1991): Desertification. Oxford.
- MORTIMORE, M. (2016): Changing paradigms for people-centered development in the Sahel.- In: BEHNKE, R., H. & M. MORTIMORE (Hrsg.), The End of Desertification? Disputing environmental change in the drylands. 65-98.
- PAETH H, A. CAPO-CHICHI & W. ENDLICHER (2008): Climate change and food security in tropical West Africa – a dynamic-statistical modelling approach.- Erdkunde 62, 2, 101-115.
- PAETH, H., A. PAXIAN, D. SEIN, D. JACOB, H.-J. PANITZ, M. WARSCHER, A. FINK, H. KUNSTMANN, M. BREIL, T. ENGEL, A. KRAUSE, J. TÖDTER & B. AHRENS (2017): Decadal and multi-year predictability of the West African monsoon and the role of dynamical downscaling.- Meteorol. Ztschr. 26, 4, 363-377.
- PAXIAN, A., D. SEIN, H.-J. PANITZ, M. WARSCHER, M. BREIL, T. ENGEL, J. TÖDTER, A. KRAUSE, W. D. CABOS NARVAEZ, A. H. FINK, B. AHRENS, H. KUNSTMANN, D. JACOB & H. PAETH (2016): Bias reduction in decadal predictions of West African monsoon rainfall using regional climate models. – J. Geophys. Res. 121, 1715-1735.
- PILARDEAUX, B. & M. SCHULZ-BALDES (2001): Desertification.- In: LOZÁN, J. L. et al. (Hrsg.), Climate of the 21st Century: Changes and Risks, 232-236.
- SCHEWE, J. & A. LEVERMANN (2017): Non-linear intensification of Sahel rainfall as a possible dynamic response to future warming.- Earth System Dynamics (2017), DOI:10.5194/esd-8-495-2017.
- UNCCD (1994): United Nations Convention to Combat Desertification in Countries Experiencing Serious.
- UNCCD (2009): »Land Day« on June 6, 2009, a side event of the UNFCCC's »Bonn Climate Change Talks« (June 01-12, 2009). [<http://www.unccd.int/publicinfo/landday/docs/1TengbergUNDP.pdf>].
- UNCCD (2013): »COP (11)/5« on September 27, 2013, Consideration of the follow-up to the outcomes of the United Nations Conference on Sustainable Development relevant to the United Nations Convention to Combat Desertification (September 16-27, 2013). [<http://www2.unccd.int/official-documents/cop-11-windhoek-2013/iccdcop115.pdf>].
- UNCOD (1977): Its causes and consequences. Compiled and edited by the Secretariat of the United Nations Conference on Desertification, Nairobi, Kenya, 29 August to 9 September, 1977. Oxford, 448 S.
- UNCCD (1977): World map of Desertification 1: 25 Mill. Mit Explanatory Note, A/Conf. 74/2, Nairobi.
- UNDP (2009): Adapting to Climate Change through Sustainable Land Management. Presentation at the UNCCD »Land Day« on June 6, 2009, a side event of the UNFCCC's »Bonn Climate Change Talks« (June 01-12, 2009). [<http://www.unccd.int/publicinfo/landday/docs/1TengbergUNDP.pdf>].
- USDA (U.S. Department of Agriculture) (1996): Global Desertification Vulnerability Map 1:100.000.000. [<http://www.nrcs.usda.gov/wps/portal/nrcs/detail/soils>].
- WERTH, D. & R. AVISSAR (2005): The local and global effects of African deforestation.- Geophys. Res. Lett. 32 (12), 12704-12707.

## Kontakt:

Prof. Dr. Roland Baumhauer  
 Institut für Geographie und Geologie  
 Julius-Maximilians-Universität Würzburg  
 baumhauer@uni-wuerzburg.de

Baumhauer, R. (2018): Einfluss extremer Trockenheit auf Desertifikationsprozesse. In: Lozán, J. L., S.-W. Breckle, D. Kasang & R. Weisse (Hrsg.). Warnsignal Klima: Extremereignisse. pp. 146-152. Online: [www.klima-warnsignale.uni-hamburg.de](http://www.klima-warnsignale.uni-hamburg.de). doi:10.2312/warnsignal.klima.extremereignisse.21.