

Negev – pflanzenökologische und ökosystemare Analysen

Im Übergangsbereich zwischen den afrikanischen und asiatischen Wüsten gelegen, ist der Negev durch strenge geoökologische Gradienten auf einem kleinen Raum charakterisiert. Mit rd. 12 500 km² bedeckt die Negev-Wüste etwa die Hälfte des Staatsgebiets Israels. Im Osten wird er durch die Arava-Senke begrenzt, im Norden entspricht die Begrenzung etwa der 250 mm-Isohyete. Im Westen geht der Negev entlang der Linie Rafah–Elat in die Sinai-Halbinsel über, mit der er eine geographische und geologische Einheit bildet.

Zur Gliederung der Negev-Wüste lassen sich physiographisch fünf Hauptregionen unterscheiden: der nördliche Negev, das Sanddünengebiet im Nordwesten, das Negev-Hochland, der südliche Negev und die Arava-Senke (vgl. *Abb. 1*). Im nördlichen Negev wurde während feuchterer Klimaperioden des Pleistozäns Löss aus dem Sinai eingetragen. Umgekehrt führten geringere Niederschläge und höhere Windgeschwindigkeiten zu Sandeintrag aus dem nördlichen Sinai und der Bildung von Sanddünen im nordwestlichen Negev zwischen dem Küstenstreifen und dem beginnenden Negev-Hochland bei Nizzana.

Das Negev-Hochland ist eine Felswüste aus kretazischen und tertiären Kalk- oder Sandsteinen und erreicht eine Höhe von 450–1 030 m ü. NN. Der westliche Teil des Negev-Hochlands ist geprägt durch Gebirgskämme mit flachen, nordwest-exponierten sowie steilen, südöstlichen Hängen. Weite Teile des Zentralen Negev, so z. B. die Umgebung von Sede Boqer und Avdat, sind mit einem Steinpflaster bedeckt (*Hammada*, arabisch = unfruchtbar; vgl. *Foto 1*). Wadis durchqueren das Hochland und entwässern in Richtung des Mittelmeers oder zum Toten Meer.

An den Erosionskrater Maktesh Ramon schließt sich der südliche Negev mit Erguss-

World Wide Web

www.uni-bielefeld.de/biologie/Oekologie/nizzana

Sanddünenforschung in der Negev – ein deutsch-israelisches BMBF-Projekt

www.uni-bielefeld.de/desertnet

Deutsches Kompetenz-Netzwerk für Forschung zur Desertifikationsbekämpfung

www.unccd.de

UN Konvention zur Desertifikationsbekämpfung – Bonn

und metamorphosem Gestein an. In den Ebenen haben sich auch hier Hammadas ausgebildet, wohingegen in den Wadis alluvialer Schutt abgelagert wurde.

Die Arava-Senke ist Teil des syrisch-ostafrikanischen Grabenbruchs und erstreckt sich auf einer Länge von 160 km und einer Breite zwischen 8 km und 20 km vom Nordrand des Roten Meers bis zum Südrand des Toten Meers, wo mit unter – 400 m ü. NN der tiefste Punkt der offenen Erdoberfläche erreicht ist. Alluviale Sedimente (Kies, Sand und Mergel) in Form weiter Schotterfächer füllen den Arava-Graben auf.

Klima des Negev

Das Klima der Negev-Wüste ist geprägt durch winterliche Niederschläge und trockenheiße Sommermonate. Die Trockenzeit dauert i. d. R. von Ende April bis Ende Oktober. 92% der Niederschläge fallen zwischen November und März, der überwiegende Teil zwischen Dezember und Februar. Die durchschnittlichen Jahresniederschläge nehmen auf einer Distanz von 210 km von etwa 250 mm am Nordrand nördlich von Beer Sheva auf 31 mm in Elat ab, während die Temperaturwerte ansteigen (vgl. *Tab. 1*).

Im Negev sind zwei unterschiedliche Niederschlagsregime ausgebildet. Im nördlichen Teil sind die Niederschläge von der Frequenz des Eindringens von Tiefdruckfronten aus dem Mittelmeerraum und der einzelnen Zugrichtung der Frontensysteme bestimmt (*Littmann* und *Berkowicz* 2000). West-Ost ziehende Fronten bringen mehr Regen im Norden, dagegen führen Zyklogen aus Südwesten zu einer gleichmäßige-



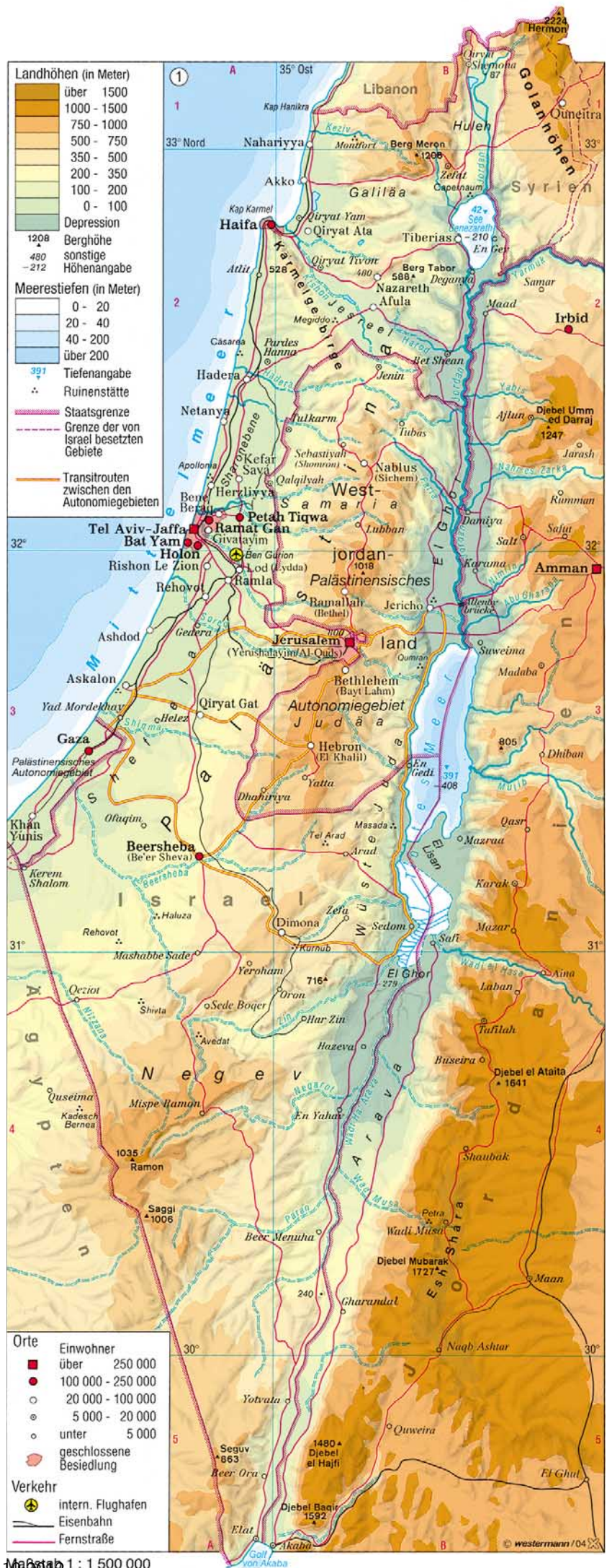
Foto 1: Steinwüste im südlichen Negev

Fotos 1 und 3: S.-W. Breckle

lizenziert für M Veste am 21.10.2012

Abb. 1: Der Negev – physisch-geographische Gliederung

Quelle: DIERCKE-Weltatlas 1999, S. 158



ren Verteilung des Regens in der Negev-Wüste.

Konvektive Niederschläge durch Depressionen vom Roten Meer im Frühjahr und Sommer sind typisch für den Arava-Grabenbruch und die südliche Negev-Wüste. Bevorzugt im Frühjahr treten Staubstürme auf, wenn Trockenwinde (Khamsin) Staub aus der Sahara in die Negev eintragen. Die Temperaturen können dann auf mehr als 45 °C ansteigen. Bodenfrost und sogar Schneefall tritt gelegentlich im nördlichen und im Negev-Bergland auf.

Biogeographie

Einer der interessantesten Aspekte der Flora Israels ist deren phytogeographische Diversität. Für den Negev und den Sinai wurden mehr als 1 300 Arten auf einer Fläche von 74 000 km² beschrieben, was vergleichbar ist mit 1 666 Arten auf den Britischen Inseln, allerdings auf einer Fläche von 229 850 km² (Danin 1983). Elemente der mediterranen, der irano-turanischen, der saharo-arabischen und der sudanesisch-zambesischen Florenregion lassen sich in den verschiedenen Habitaten unterscheiden. Während Zohary (1973) noch eine Unterteilung der Negev in phytogeographische Regionen nach dominanten Pflanzen vorschlägt, muss angesichts der komplexen und überlappenden Verbreitung der Arten deren Anteil an der örtlichen Vegetation für eine phytogeographische Einteilung herangezogen werden (Danin und Plitmann 1987; vgl. Abb. 2).

Der nördliche Negev, im Übergang zwischen dem mediterranen Zonobiom IV und dem ariden Zonobiom III gelegen (Walter und Breckle 1999), wird v. a. von mediterranen Florenelementen bestimmt. Mit der Zunahme der Aridität von Norden nach Süden nimmt deren Anteil an der Vegetation ab, während der Prozentsatz der typischen Wüstenpflanzen des saharo-arabischen und irano-turanischen Raums zunimmt. Das saharo-arabische Element ist in Israel mit rd. 300 Arten vertreten und charakterisiert zugleich die größte phytogeographische Region. Zu ihr gehören der größte Teil der Negev und die Arava-Senke, sowie die sich im Norden anschließende Jüdische Wüste. Der Anteil der saharo-arabischen Arten an der Wüstenvegetation beträgt hier zwischen 22 % und 30 % (Danin und Plitmann 1987), in den Sanddünen der nord-

Foto 2: *Retama reatam*

Fotos 2, 4-6 und 8: M. Veste

westlichen Negev aber sogar mehr als 45%. Eine wesentliche Rolle innerhalb dieser Gruppe spielen v. a. annuelle Arten, des Weiteren Chamaephyten und Hemikryptophyten.

Die irano-turanischen Arten (13% der Flora Israels) sind v. a. im nördlichen und zentralen Negev vertreten, wo das Klima mehr kontinental geprägt ist. In der südlichen Negev und im trockenheißen und extrem ariden Arava-Graben gewinnen die sudanesisch-zambesische Arten des afrikanischen Kontinents an Bedeutung. *Acacia raddiana* und *A. tortilis* prägen hier das Landschaftsbild, v. a. das der Wadis.

In der Regel besiedeln die Arten verschiedene Habitats im Negev, so dass sich ihr tatsächliches Vorkommen über mehrere biogeographische Regionen erstrecken kann. So hat der Rutenstrauch *Retama reatam* (*Fabaceae*; vgl. Foto 2) eine weite Ver-

breitung, die sich von der saharo-arabischen bis zur mediterranen Region erstreckt. Der optimale Standort für *Retama* sind die Sanddünen der nordwestlichen Negev und der mediterranen Küste, während im Negev-Bergland sowie in der südlichen Negev die Wadis bevorzugt werden. Ein ähnliches Verbreitungsmuster zeigt *Thymelaea hirsuta* (*Thymelaeaceae*; vgl. Foto 3), eine rund ums Mittelmeer verbreitete immergrüne, kleinblättrige Strauchart, die auch bis in die Sanddünen der Nördlichen und die Wadis im Zentralen Negev vordringt.

Ökosysteme der Negev

Das Leben der Pflanzen in den verschiedenen Wüstenhabitats wird durch die Temperatur, den Gehalt an wasserlöslichen Salzen im Substrat und vornehmlich von der Wasserverfügbarkeit am Standort bestimmt. Schon kleinräumige Unterschiede dieser Faktoren innerhalb eines Biotops können dramatische Effekte auf die Artenzusammensetzung haben und bedingen deren mosaikhafte Verteilung.

Salz

Salz wird unter ariden Bedingungen aufgrund der geringen Drainage über längere Zeiträume akkumuliert. Zu den besonders an hohe Salzgehalte angepassten und in ariden und semi-ariden Gebieten häufigen Pflanzen gehören die *Chenopodiaceae* (Gänsefußgewächse), die in asiatischen Wüsten einen Verbreitungsschwerpunkt mit mehr als 600 Arten entwickelt haben. In der Negev-Wüste ist diese Pflanzenfamilie mit über 60 Arten vertreten. Morphologische und physiologische Adaptationen erlauben es ihnen die trockenen und salzreichen Standorte zu besiedeln. So wird Salz in den sukkulenten Blättern eingelagert oder über Drüsen der Blätter in Blasenhaare ausgeschieden (Breckle 1995). Die Salzakkumulation ist allerdings genetisch fixiert, so dass z. B. von *Anabasis articulata* auch auf salzarmen Sandböden Salze, v. a. Natrium,

Kalium und Chlorid, akkumuliert werden (Veste und Breckle 2000). Die Mineralisierung der salzreichen Streu führt sogar zu einer deutlichen Salzakkumulation an der Bodenoberfläche unter den Sträuchern und damit zu einer ungleichmäßigen Salzverteilung im Oberboden (Veste und Breckle 1995).

Wasserhaushalt im Negev-Bergland

Im zentralen Negev-Bergland in der Umgebung von Sede Boqer sind die Hänge charakterisiert durch eine Abfolge verschiedener Gesteinsformationen aus Kalkstein. Entlang der Catena vom Ober- zum Unterhang nimmt der Anteil des Felsmaterials von mehr als 70% auf 10% ab, während der Anteil der offenen Bodenfläche und von lockerem Gesteinsmaterial zum Unterhang hin stark zunimmt.

Die felsigen Oberhänge werden dominiert von den Zwergsträuchern *Gymnocarpus decander*, *Stachys aegyptiaca* und *Echinops polyceras*, während auf den kolluvial überdeckten mittleren und unter Hangabschnitten *Artemisia herba-alba*, *Reaumuria negevensis* und *Zygophyllum dumosum* vorherrschen. Größere Phanerophytenvorkommen von *Retama raetam* und *Thymelaea hirsuta* sind vornehmlich auf die Felswadis und größeren Terrassenwadis beschränkt. Untersuchungen über den Oberflächenabfluss (*surface runoff*), die von Yair und Mitarbeitern (1987 und 2000) seit 1972 durchgeführt werden, zeigen, dass die Oberflächeneigenschaften neben den jährlichen Niederschlägen wesentlich die biologischen Prozesse steuern. Die Infiltration im Felsbereich ist deutlich eingeschränkt, so dass schon 2–4 mm Niederschlag während eines Regenschauers ausreichen, um einen Oberflächenabfluss zu erzeugen.

Dagegen liegen die Grenzwerte für den *Runoff* auf den steinigten Kolluvialflächen bei 4–8 mm und in den kleinen Abflusskanälen sogar bei 6–15 mm. Das vom Oberhang abfließende Wasser infiltriert allerdings bereits im oberen Teil des Unterhangs, wo damit der Vegetation zusätzliches Wasser zur Verfügung steht. Berechnungen zeigen für Sede Boqer mit einem Jahresniederschlag von 97 mm, dass der Eintrag durch *Runoff* von den Felsflächen in den oberen Bereich des Kolluviums zusätzlich einer Wassermenge von 200–300 mm entspricht. Dies erklärt, dass die höchste Biomasse und Vegetationsdichte im oberen Teil des Unterhangs zu finden sind (Schreiber 1991).

Standortunterschiede bezüglich des Wasserfaktors lassen sich allerdings nur im Jahresverlauf mit fortschreitender Austrocknung erkennen. So zeigten Untersuchungen des Wasserhaushalts *Thymelaea hirsuta* und *Retama raetam*, dass am Ende der Regenzeit Anfang März kein Unterschied zwischen den Wadis und den Hängen bezüglich der Wasserversorgung bestand (Veste und Breckle 1996a). Am Ende

Foto 3: *Thymelaea hirsuta*

der Trockenzeit im September dagegen haben die Pflanzen auf dem Hang und im Felswadi ein deutlich geringeres morgendliches Gesamtwasserpotenzial als Pflanzen im terrassierten Wadi, was auf eine angespannte Wasserversorgung hinweist (vgl. Abb. 3). Im Felswadi ist die Infiltration aufgrund des geringen Bodenanteils deutlich minimiert und der *Runoff* fließt direkt in den nachfolgenden terrassierten Abschnitt und erhöht dort den Bodenwasservorrat und fördert damit das Wachstum der Pflanzen.

Wasserhaushalt der Sanddünenpflanzen
Sanddünen sind charakteristisch für den nordwestlichen Negev, im Übergangsbereich zum Sinai, und weisen wie die Felswüste ein kleinräumiges Habitatmosaik auf. Sand ist gekennzeichnet durch eine hohe Infiltrationsrate, so dass Regenwasser rasch in tiefere Schichten eindringen kann und aufgrund des Abrisses der kapillaren Wasserfäden vor der Verdunstung gesichert ist. Die gemessene Infiltrationstiefe liegt bei etwa 60 cm bis 1 m. Nach überdurchschnittlichen Niederschlägen lassen sich laterale Wasserflüsse in der Düne feststellen und Wasser steht in einer Tiefe von 3–5 m zur Verfügung.

Viele immergrüne Sträucher, wie *Anabasis articulata*, *Retama raetama* und *Thymelaea hirsuta*, bilden deshalb ein zweigeteiltes Wurzelsystem, einerseits mit oberflächennahen und andererseits mit einem tiefreichenden Pfahlwurzelsystem, das ihnen die Wasseraufnahme aus den tieferen Bodenschichten während der Trockenzeit ermöglicht, wenn die oberflächennahen Wasserreserven aufgebraucht sind (Veste und Breckle 1996a und 1996b).

Auch in den Dünen ist eine kleinräumig heterogene Wasserversorgung der Pflanzen während der Trockenzeit festzustellen. Hier sind es v. a. die Dünenfußflächen und -unterhänge, die für die Phanerophyten eine deutlich bessere Wasserversorgung aufweisen als die Interdünen. Langzeituntersuchungen des Wasserpotenzials von *Retama raetama* und *Thymelaea hirsuta* belegen dies (vgl. Abb. 4). Es muss davon ausgegangen werden, dass die hohe Infiltrationsrate im Bereich der mobilen Sande das Versickern des Regenwassers in größere Bodentiefen hinunter ermöglicht und dort einen Wasserspeicher aufrecht erhält, welcher von dem weit reichenden Wurzelsystem von *Retama raetama* und anderen Sträuchern genutzt werden kann.

Stabilität und Biologische Kruste

Die Oberflächenstabilität ist ein weiterer Faktor für die Ausprägung des Vegetationsmosaiks in Sanddünen. In Nizzana werden die mobilen Dünenkämme von *Stipagrostis scoparia*, *Cornulaca monacantha* und *Heliotropium dignum* dominiert, Arten, die sowohl Sandüberwehungen als auch das

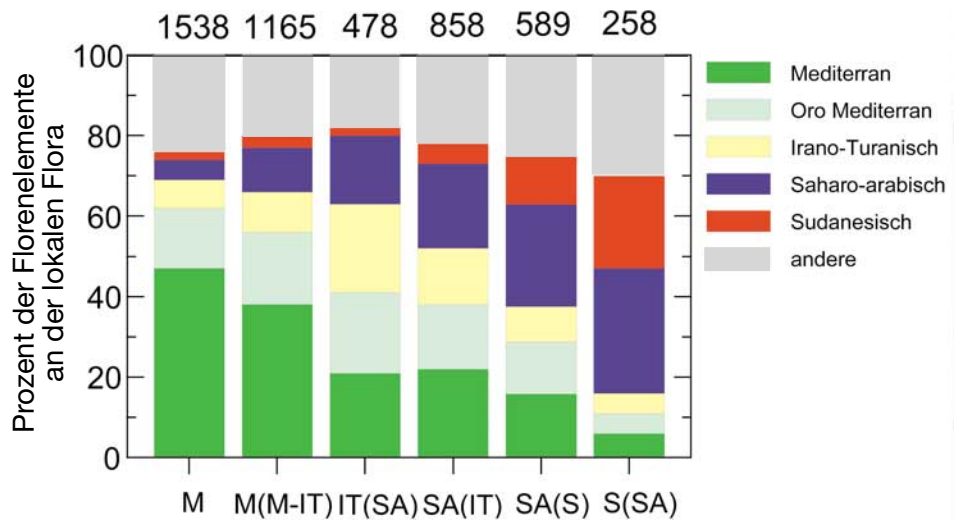


Abb. 2: Phytogeographische Zusammensetzung der lokalen Flora in verschiedenen Regionen der Negev-Wüste entlang des geo-ökologischen Nord-Süd-Gradienten

Die Gesamtartenzahl ist über den Säulen angegeben. M: Mediterrane Region, M (M-IT): Übergangszone mit überwiegend mediterranen Arten und irano-turanischem Anteil, IT (SA): Mehrzahl irano-turanische

Arten mit saharo-arabischen Elementen, SA (S): Saharo-arabisch mit sudanesischen Elementen, S (SA): hoher Anteil sudanesischer und saharo-arabischer Florenelemente

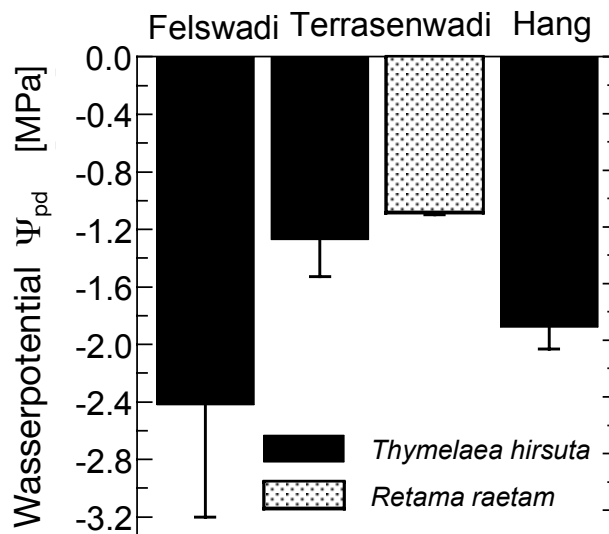


Abb. 3: Morgendliches Wasserpotenzial von immergrünen Sträuchern am Ende der Trockenzeit (September) im Negev-Bergland bei Sede Boqer

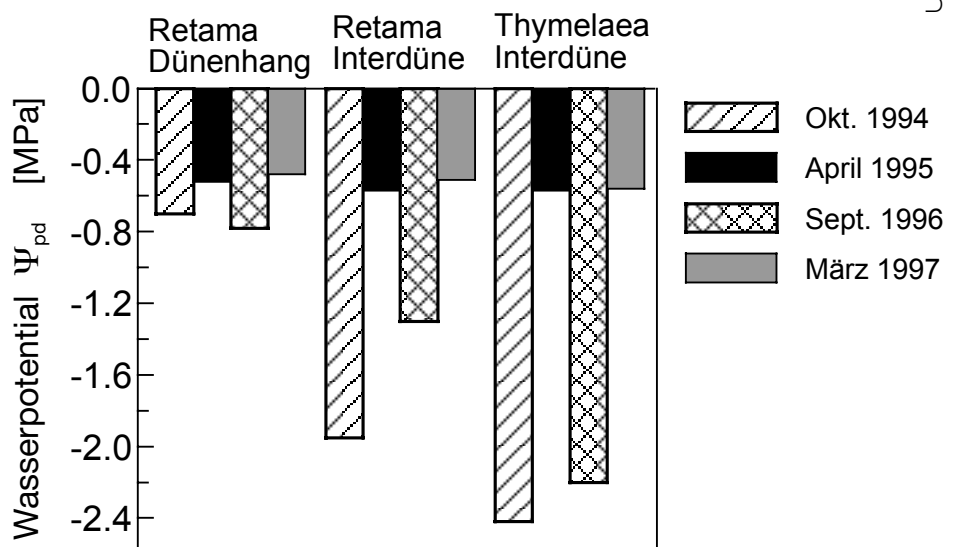


Abb. 4: Morgendliches Wasserpotenzial von immergrünen Sträuchern in den Sanddünen bei Nizzana während der Trockenzeit (Oktober 1994, September 1996) bzw. am Ende der Regenzeit (April 1995, März 1997) in Abhängigkeit vom Relief

lizenzieren für M Veste am 21.10.2012

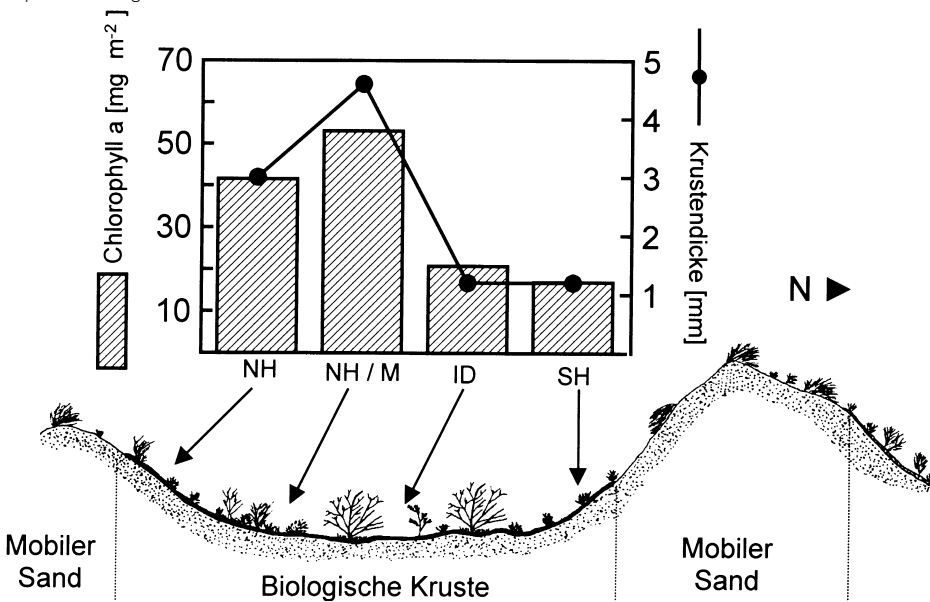


Foto 4: Sanddünen der nordwestlichen Negev an der israelisch-ägyptischen Grenze

Überweidung führt zur geringeren Vegetationsdichte und Desertifikation auf der ägyptischen Seite

Abb. 5: Krustenverteilung und Krustendicke im Sanddünengebiet von Nizzana

Der Chlorophyllgehalt ist ein Maß für die Biomasse. NH: nordexponierter Hang, NH/M: Nordhang-Krusten mit Moosen, ID: Interdüne, SH: südexponierter Hang



Freiblasen ihres Wurzelsystems überleben (Danin 1996). Auch *Artemisia monosperma* und *Retama raetam* sind an das Freilegen ihres Wurzelsystems durch die Bildung einer dicken Borke angepasst, bevorzugen aber mehr die stabilen Sande der Hänge und der Interdüne.

Die Oberflächenstabilität der Sande des nördlichen Negev wird maßgeblich von der geringen Windenergie und von einer Kryptogamen-Kruste (Biologische Kruste) auf der Sandoberfläche bestimmt. Große Teile der Sanddünen auf der israelischen Seite sind von dieser Kruste bedeckt, während die ägyptische Seite aufgrund der Beweidung keine Biologische Kruste und eine deutlich geringere Vegetationsdichte aufweist (vgl. Foto 4). Die Sandmobilität ist hier deutlich erhöht. Diese 1–10 mm dicke Biologische Kruste auf der Sandoberfläche wird aus Cyanobakterien, Grünalgen, Pilzen und vereinzelt mit Bodenflechten aufgebaut (vgl. Foto 6). In Abhängigkeit von den mikroklimatischen und geomorphologischen Rahmenbedingungen entwickeln sich verschiedene Krustentypen (vgl. Abb. 5).

lizensiert für M Veste am 21.10.2012

Tab. 1: Jahresniederschlag und Lufttemperatur verschiedener Klimastationen in der Negev

Station	Höhenlage (in m ü. NN)	mittlerer Jahresniederschlag (in mm)	minimaler/maximaler Niederschlag (in mm)	mittlere maximale Temperatur im wärmsten Monat (in °C)	mittlere maximale Temperatur im kältesten Monat (in °C)
Beer Sheva ^{1,4}	250	206	42/338	26,3	11,7
Revivim ¹	290	107	32/204	28	12
Nizzana ^{2,3}	185	93	28/147	26,3	12
Sede Boqer ¹	480	97	31/167	24,7	12
Avdat ^{1,4}	610	88	21/176	24,2	11,8
Mitzpe Ramon ^{1,4}	890	79	21/152	24,7	9,3
Yotvata ⁵	70	34	10/90	38,6	18,4
Elat ^{1,4}	25	31	3,7/77	38,8	15,6

Quelle: zusammengestellt nach Angaben von ¹⁾ Israel Meteorological Service, Bet Dagan, ²⁾ Littmann, Universität Halle, ³⁾ Arid Ecosystems Research Center, Hebrew University Jerusalem, ⁴⁾ Evenari et al. 1982, ⁵⁾ Arava Research und Development, Yotvata



Foto 5: Freigeblasene Wurzel von *Cornulaca monacantha* auf dem mobilen Dünenkamm

Der Taufall ist eine wichtige Feuchtigkeitsquelle für die photosynthetische Aktivität (Veste et al. 2000). Nach nächtlichem Taufall sind die Kryptogamen i. d. R. ein bis zwei Stunden nach Sonnenaufgang aktiv. Die Relieflage ist dabei ausschlaggebend. So führen die Expositionsunterschiede zu einem deutlich unterschiedlichen Strahlungshaushalt und einer ein bis zwei Stunden längeren Betauung der nordexponierten Hänge, während die Interdünen und Südhänge schneller austrocknen (Littmann und Kalek 1998). Dies erklärt die stärker ausgeprägten Krusten auf den Nordhängen.

Die Biologische Kruste minimiert nicht nur die Sandbewegung durch das Verkleben der Sandkörner, sondern die organischen Hüllen der Cyanobakterien quellen und verschließen so z. T. die Poren. Die Infiltration wird dadurch so stark reduziert, dass auch auf Sanddünen *Runoff* auftreten kann. Des Weiteren ist die Luftstickstoff-Fixierung der Cyanobakterien eine wichtige Quelle für Stickstoff in den nährstoffarmen Sand-Biotopen in Trockengebieten. Beides beeinflusst in erheblichem Maße die Etab-

Foto 6: Biologische Kruste



lierung von Pflanzen und damit letztlich die Vegetationsstruktur. Über diese kleinräumigen Prozesse steuern so die Mikroorganismen Vegetationsverteilung und Produktivität in diesem Sanddünenökosystem ganz entscheidend.

Die Beispiele zeigen deutlich, dass die Vegetation in einem ariden Ökosystem nicht nur ausschließlich vom Klima und den Gesamtniederschlägen beeinflusst wird, sondern auch von kleinräumigen physikalischen Bodeneigenschaften, wie den Oberflächeneigenschaften, damit der Infiltration sowie der Wasserverfügbarkeit im Ökosystem. Ökologische Prozesse steuern so maßgeblich die mosaikhafte Verteilung der Vegetation in ariden Ökosystemen auf Fels wie auch auf Sand als Ausgangssubstrat. ■

Summary

The Negev – A Plant Ecological and Ecosystem Analysis

by Maik Veste and Siegm.-W. Breckle

In the transition zone between the deserts of Africa and Asia, the Negev is characterized by strong geo-ecological gradients on small distance. Rainfall decline from 250 mm in the north to 25 mm in the southern part. Various desert types can be distinguished: (i) the loess desert, (ii) the rocky and stony desert and (iii) the sand desert. Plants from four phytogeographical regions meet in the Negev. Plant distribution and growth depend not only on the annual rainfall, but also on the water redistribution by run-off within the ecosystem. In the sand dunes a biological crust built up by microorganisms plays an important role for the processes and the stability of the ecosystem.

Literatur

- Breckle, S. W.: How do halophytes overcome salinity? In: M. A. Khan und I. A. Ungar (Hrsg.) *Biology of Salt Tolerant Plants*. University of Karachi 1995, S. 199–213
- Danin, A.: *Desert Vegetation of Israel & Sinai*. Jerusalem 1983
- Ders.: *Plants of Desert Dunes*. Berlin, Heidelberg 1996
- Danin, A., und U. Plitmann: Revision of the plant geographical territories of Israel and Sinai. *Pl. Syst. Evol.* 156, (1987), S. 43–53
- Evenari, M., L. Shanan und N. Tadmor: *The Negev, the challenge of a desert*. Cambridge, Ma. 1982
- Littmann, T., und S. M. Berkowicz: The Regional Climatic Setting of the northern Negev. In: S.-W. Breckle und A. Yair: *The sand dunes of Nizzana*. Berlin, Heidelberg 2000
- Littmann, T., und J. Kalek: Mikroklimatische Strukturen als Steuergröße für Ökosystemprozesse in einem ariden Dünengebiet (nordwestlicher Negev, Israel). *Halle* 1998, S. 77–92 (Hallesches Jahrbuch Geowiss. 20)
- Schreiber, K.-F.: Ökologische Gradienten im Ökotopgefüge an Hängen des Negev-Berglandes. *GR* 43 (1991) H. 4, S. 216–223
- Veste, M., und S.-W. Breckle: Xerohalophytes in a sandy desert ecosystem. In: M. A. Khan und I. A. Ungar (Hrsg.): *Biology of Salt Tolerant Plants*. Karachi 1995, S. 161–165
- Dies.: Gaswechsel und Wasserpotential von *Thymelaea hirsuta* in verschiedenen Habitaten der Negev-Wüste. *Verhandlungen der Gesellschaft für Ökologie* 25 (1996a) S. 97–103
- Dies.: Root growth and water uptake in a desert sand dune ecosystem, *Acta Phytogeogr. Suec.* 81 (1996b), S. 59–64
- Dies.: Ionen- und Wasserhaushalt von *Anabasis articulata* in Sanddünen der nördlichen Negev-Sinai-Wüste. In: S.-W. Breckle, B. Schweizer und U. Arndt (Hrsg.): *Ergebnisse weltweiter Forschung*. Stuttgart 2000, S. 481–485
- Veste, M., T. Littmann, S.-W. Breckle und A. Yair: The Role of Biological Soil Crusts on Desert Sand Dunes of the north-western Negev (Israel). In: S.-W. Breckle, M. Veste und W. Wucherer (Hrsg.): *Sustainable Land-Use in Deserts*. Berlin, Heidelberg 2000 (im Druck)
- Walter, H., und S.-W. Breckle: *Vegetation und Klimazonen*. Stuttgart 1999
- Yair, A.: Climate Change and Environment at a Desert Fringe: Northern Negev, Israel. In: K. H. Schmidt und J. de Ploey (Hrsg.): *Functional Geomorphology – Landform Analysis and Models*. *Catena Supplement* 23, S. 47–58
- Ders.: Water Harvesting Efficiency in Arid and Semi-Arid Areas. In: S.-W. Breckle, M. Veste und W. Wucherer (Hrsg.): *Sustainable Land-Use in Deserts*. Berlin, Heidelberg 2000 (im Druck)
- Yair, A., und M. Shachak: Studies in Watershed Ecology of an Arid Area. In: L. Berkofsky, und M. G. Wurtle (Hrsg.): *Progress in Desert Research*. London 1987
- Zohary, M.: *Geobotanical Foundations of the Middle East*. Stuttgart 1973

Autoren

Dr. Maik Veste, geb. 1963.
E-Mail: desert@biologie.uni-bielefeld.de.
Arbeitsgebiete/Forschungsschwerpunkte:
Wüstenökologie, Ökophysiologie, Wasserhaushalt.

Prof. Dr. Siegm.-W. Breckle, geb. 1938.
sbreckle@biologie.uni-bielefeld.de.
Arbeitsgebiete/Forschungsschwerpunkte:
Geobotanik und Biogeographie, Wüsten- und Halophytenökologie, Tropenökologie.

Universität Bielefeld, Abteilung Ökologie,
Postfach 10 01 31, 33501 Bielefeld.