Berichte Forschungs- und Technologiezentr. Westküste der Univ. Kiel Nr. 28, Büsum 2003	Achim Daschkeit, Horst Sterr (Hrsg.): Aktuelle Ergebnisse der Küstenforschung. 20. AMK-Tagung Kiel, 30.5-1.6.2002	S. 109-116

Datierung fossiler Korallenriffe und resultierende Hebungsraten aus dem südlichen Iran

von

Frank Preusser, Ulrich Radtke, Michel Fontugne, Abdolzim Haghipour, Alexandra Hilgers, Haino Uwe Kasper, Hamid Nazari und Paolo A. Pirazzoli (Köln)

Zusammenfassung

Mit Hilfe der Elektronen Spin Resonanz (ESR)-Datierung von Korallenresten wurden Hebungsraten für zwei Inseln aus dem Persischen Golf ermittelt, die dem südwestlichen Teil des Zagros Gebirges im Iran vorgelagert sind. Die Hebungsrate liegt für die Insel Qeshm bei ~ 0,22 mm a^{-1}. Für die Insel Kish werden, wegen möglicher Umlagerung einiger Proben, zwei alternative Hebungsraten von ~ 0,13 mm a^{-1} und ~ 0,24 mm a^{-1} diskutiert. Die ermittelten Hebungsraten sind um den Faktor zehn kleiner als bisher prognostizierte Hebungsraten, die auf ^{14}C-Datierungen mit Altern > 20.000 Jahre beruhten. Es konnte erneut bestätigt werden, dass solche ^{14}C-Daten an Korallenmaterial als Minimalalter zu beurteilen sind. Die potentielle Erdbebengefährdung des Untersuchungsgebietes erscheint deshalb auch deutlich geringer als bisher angenommen.

Abstract

Remains of corals from two Persian Gulf Islands were dated by electron spin resonance (ESR) for the calculation of uplift rates of this southwestern part of the Zagros Mountains, Iran. The uplift rate of Qeshm Island is about 0.22mm a^{-1}. For Kish Island, two alternative uplift rates of ~ 0.13 mm a^{-1} and 0.24 mm a^{-1} are discussed due to possible dislocation of some samples. These calculated uplift rates are about one order of magnitude smaller than previously predicted uplift rates that were based on ^{14}C-dating with ages > 20,000 years. It could be again demonstrated that such ^{14}C-dates for coral material have to be interpreted as minimum ages. Consequently, the potential risk of earthquakes in the study area seems to be much lower than previously assumed.

1. Einleitung

Die seismische Gefährdung einer Region gründet sich vor allem auf ihre jeweilige tektonische Konstellation, die eng mit der Verschiebung kontinentaler Platten verbunden ist. Erdbeben treten verstärkt an Plattenrändern auf, an denen eine aktive Gebirgsbildung stattfindet. Die Hebungsrate einer Region ist hierbei ein Maß für ihre potenzielle Erdbebengefährdung. Neben der Intensität der aktiven Hebung spielt aber auch die Zusammensetzung der Gesteine im Untergrund in Hinsicht auf ihre Schereigenschaften eine wichtige Rolle. Anhand von gehobenen küstennahen Sedimenten lässt sich die mittlere Hebungsrate einer Region berechnen. Sie entspricht dem Quotienten aus Höhenlage und Alter der marinen Ablagerungen. Die residualen Kalkskelette von Korallen, die in tropischen Klimaten häufig in litoralen Sedimenten auftreten, können mittels der ^{14}C-, Uran/Thorium (U/Th)- und Elektronen Spin Resonanz (ESR)-Methode datiert werden. Alle diese Methoden beinhalten jedoch bestimmte Vor- und Nachteile. Mit der ^{14}C-Methode sind zuverlässige Altersbestimmungen bis zu ca. 30.000 – 50.000 Jahren möglich. Bei marinen Karbonaten ist aber der sogenannte Reservoireffekt zu berücksichtigen, der zu einer systematischen Überbestimmung des berechneten Alters im Bereich bis zu einigen Hundert Jahren führt. Mit der U/Th-Methode sind präzise Datierungen unter günstigen Umständen bis zu maximal 400.000 Jahre durchführbar. Die Methode ist jedoch sehr empfindlich gegenüber einer postsedimentären Rekristallisation des Korallenmaterials (Umformung von Aragonit zu Calcit), was zu einer starken Verfälschung der ermittelten Alter führen kann. In dieser Hinsicht

ist die ESR-Methode, die etwa den gleichen Datierungszeitraum abdeckt, als weniger kritisch einzuschätzen. Im Vergleich zur U/Th-Methode ist der individuelle Fehler bei ESR-Datierungen infolge des methodischen Ansatzes in der Regel jedoch etwas höher und liegt üblicherweise bei 5-10 %. Überblicke über die ESR-Methode finden sich in Grün (1989) und Radtke (1989), die Datierungsproblematik pleistozäner Korallen wurde zuletzt von Schellmann u Radtke (2001) diskutiert.

2. Überblick über das Arbeitsgebiet und dem Forschungsstand

In der hier vorgestellten Studie wurden ESR-Datierungen zur Bestimmung von Hebungsraten entlang der Küste des Persischen Golfes eingesetzt. Das Untersuchungsgebiet liegt an der südwestlichen Flanke des Zagros Gebirges (Abb. 1), welches von NW nach SE etwa parallel zum Persischen Golf verläuft. Das Zagros Gebirge ist Teil der großen alpidisch-himalayischen Gebirgsbildung, die sich vom westlichen Europa (Betiden, Pyrenäen) über das südliche Mitteleuropa (Alpen, Apenninen), Südosteuropa (Kaparten, Balkan Gebirge, Dinarisches Gebirge, Rhopoden, Pindos), Kleinasien (Taurus, Pontisches Gebirge) in den Mittleren Osten (Kaukasus, Elbrus) und bis ins zentrale Asien (Himalaya, Hindukusch) erstreckt. Die Orogenese setzte mit ihren frühen Phasen im ausgehenden Mesozoikum ein und ist in weiten Teilen bis in die heutige Zeit aktiv. Das Zagros Gebirge ist Resultat dieser jüngeren Faltungsphase, was durch die Präsenz verstellter neogener Sedimente und gehobener pleistozäner Ablagerungen belegt wird.

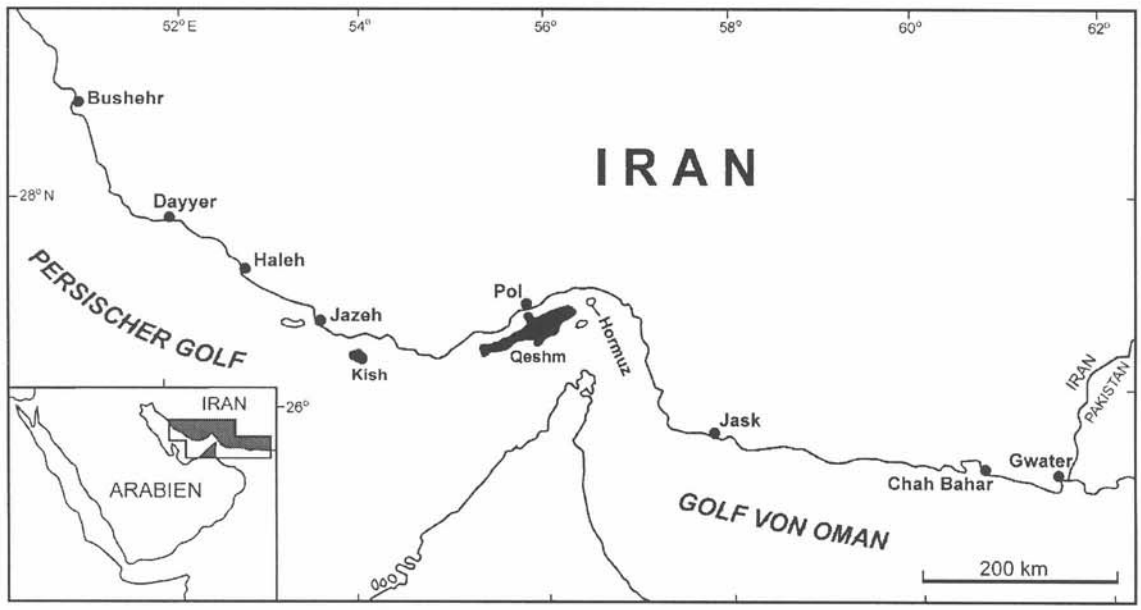

Abbildung 1: Überblick über das Untersuchungsgebiet mit Lage der Inseln Kish und Qeshm (Quelle: Eigener Entwurf).

Die junge tektonische Aktivität im Bereich des Zagros Gebirges ist seit längerem bekannt (Blanford 1872, Falcon 1947, Pilgrim 1908), wurde hinsichtlich ihrer Intensität jedoch unterschiedlich eingeschätzt. Eine Reihe von ^{14}C-Datierungen gehobener mariner Sedimente ergaben Alter von > 20.000 Jahre, die als Ergebnisse verstärkter Hebung interpretiert wurden (Little 1970; Vita-Finzi 1979, 1980, 1981; Haghipour u Fontugne 1993; Snead 1993). Dahingegen zeigten Page et al. (1979) durch den Vergleich von ^{14}C- und U/Th-Datierungen, dass ^{14}C-Daten > 20.000 Jahre als Minimalalter zu interpretieren sind und die U/Th-Methode die korrekten Ergebnisse liefert. Die generelle Verlässlichkeit von U/Th-Datierungen wurde wegen des Problems der postsedi-

mentären Rekristallisation gelegentlich in Frage gestellt (Vita-Finzi 1980). Mittlere Hebungsraten im Bereich von 0,2 mm a^{-1} wurden von Fontugne et al. (1997) und Reyss et al. (1998) auf Basis von U/Th-Datierungen für den Zeitraum seit dem letzten Interglazial berechnet. Diese Ergebnisse sind um eine Größenordnung kleiner als die bis dahin vorliegenden Einschätzungen (bis zu 3 mm a^{-1}), die ausschließlich auf ^{14}C-Datierungen beruhten. Höhere Hebungsraten während des Holozäns wurden für Gebiete ermittelt, die durch aktive Salztektonik beeinflusst sind (Reyss et al. 1998).

Im November 2000 wurde in Zusammenarbeit mit dem Geologischen Dienst des Iran eine Feldstudie am Persischen Golf durchgeführt. Hierbei wurde auf zwei verschiedenen Inseln (Kish, Qeshm) aus gehobenen marinen Ablagerungen Korallenmaterial für ESR-Datierungen entnommen.

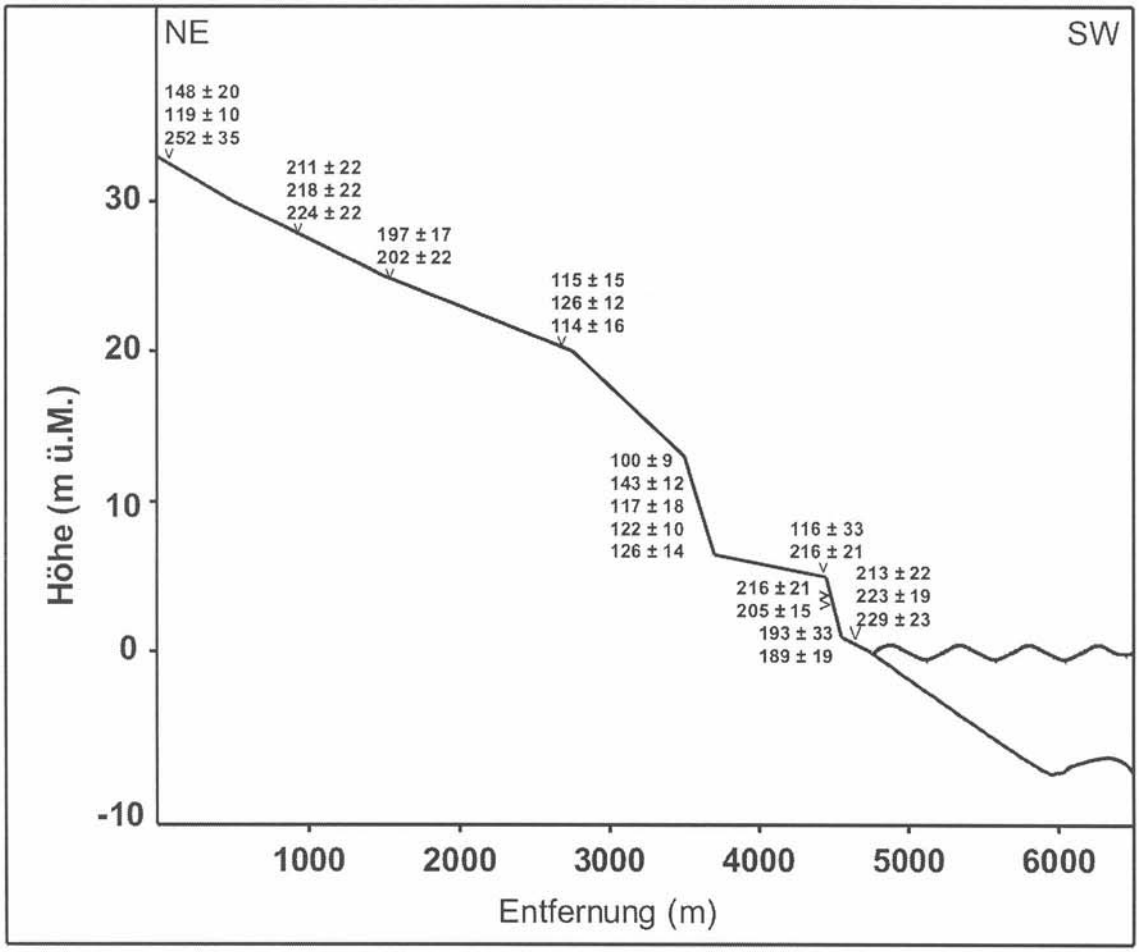

Abbildung 2: Schematisches Querprofil durch den südwestlichen Teil der Insel Kish mit den Ergebnissen der ESR-Datierungen an fossilem Korallenmaterial (Alter in ka). Wegen des flachen Reliefs wurde das Profil 100fach überhöht (Quelle: Eigener Entwurf).

Die Insel Kish hat eine Fläche von etwa 77 km^2 und liegt ca. 20 km vor der Südküste des Irans im Persischen Golf (Abb. 1), welcher über eine Distanz von fast 1000 km die Arabische Halbinsel vom iranischen Festland trennt. Der Persische Golf liegt im Bereich einer flachen Senke und erreicht nur westlich von Kish eine Wassertiefe von etwas mehr als 50 m. Die Insel Kish zeichnet sich durch ein relativ flaches Relief aus (Abb. 2) und erreicht eine maximale Erhebung von 32 m ü.M. An der Oberfläche treten sehr gut erhaltene Korallenreste auf, die teilweise in Lebendstellung erhalten sind. Nur an wenigen Stellen finden sich ausgeprägte Terrassenstufen, so z.B. im östlichen und südlichen Teil der Insel. Im Höhenniveau des heutigen Meeresspiegels

fanden sich im Süden von Kish langgestreckte fossile Korallenbänke, die während der Feldarbeiten in einer Arbeitshypothese einem holozänen Meeresspiegelhochstand zugeordnet wurden.

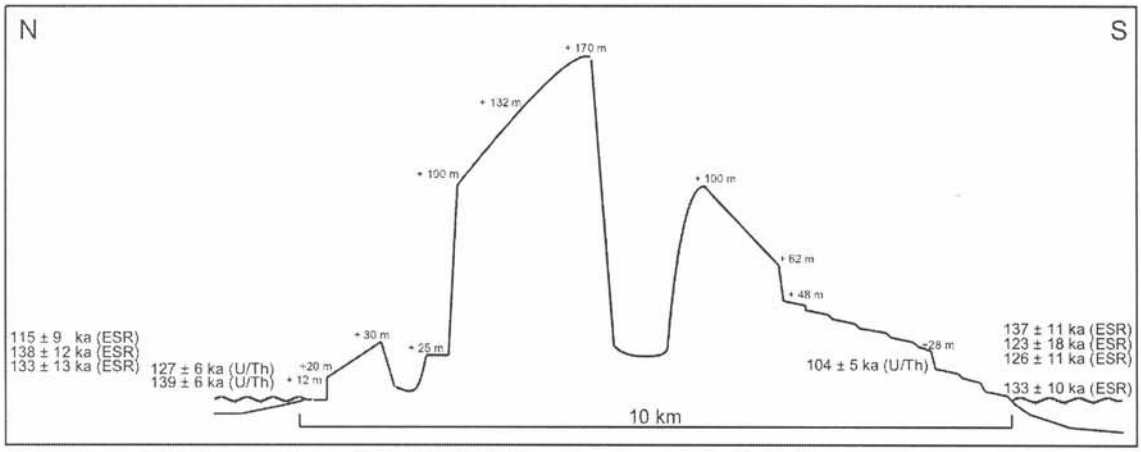

Abbildung 3: Schematisches Querprofil durch den östlichen Teil der Insel Qeshm mit den Ergebnissen der ESR-Datierungen und U/Th-Datierungen (nach Reyss et al. 1998) an Korallenresten (Alter in ka). Das Profil ist 20fach überhöht dargestellt. Die höchsten Erhebungen mit Korallenfunden auf der Insel Qeshm liegen westlich dieses schematischen Profils (Quelle: verändert und ergänzt nach Reyss et al. 1998).

Qeshm ist die größte der iranischen Inseln und wird nur durch eine flache Meeresstraße vom Festland getrennt (Abb. 1). Südlich von Qeshm bildet die Straße von Hormuz die Grenze zum Sultanat von Oman und zu den Vereinigten Arabischen Emiraten. Die Insel Qeshm zeigt eine ausgeprägte West-Ost Erstreckung, die etwa 100 km beträgt, während die Nord- und Südküste an der breitesten Stelle 25 km voneinander entfernt liegen. Im Gegensatz zu Kish ist Qeshm stark reliefiert (Abb. 3). Im zentralen Teil von Qeshm finden sich bis in eine Höhe von 220 m ü.M. Reste fossiler Korallenriffe, die Zeugnisse der Hebungsgeschichte der Insel sind. Im westlichen Teil von Qeshm konnten Belege für Salztektonik gefunden werden, die durch erhöhte Hebungsraten und auftretende Salzkrusten gekennzeichnet ist (Reyss et al. 1998).

3. Ergebnisse und Diskussion

Die Ergebnisse der ESR-Datierungen sind in Tabelle 1 zusammengefasst. Vor der ESR-Messung wurden alle Proben mittels Röntgendiffraktometrie auf ihre Calcitgehalte hin untersucht. Ein Großteil des Korallenmaterials von der Insel Qeshm zeigte dabei eine so starke Rekristallisation, dass nur sieben der insgesamt 32 Proben datiert werden konnten. Dahingegen waren 25 von 27 auf Kish entnommenen Proben für die Datierung geeignet. Bei den Proben von Kish ergaben sich einige Überraschungen hinsichtlich des tatsächlichen Alters der Korallenreste im Vergleich zur Arbeitshypothese (Abb. 2, 4), die während der Feldarbeiten aufgestellt worden war. So sind die als holozänzeitlich eingestuften Korallenbänke im Bereich des heutigen Meeresspiegels deutlich älter (ESR-Alter: 213.000 – 229.000 Jahre) und werden dem 'Marinen Isotopen Stadium' (MIS) 7 zugeordnet (186.000 – 242.000 Jahre; Bassinot et al. 1994). Es zeigen sich auf der ganzen Insel Kish bisher keine Belege für subaerisch exponierte holozäne Korallenriffe.

Tabelle 1: Ergebnisse der ESR-Datierungen mit Höhenlage, akkumulierter Dosis (D_E), Urangehalt des Korallenmaterials, effektiver Dosisleistung (D') und resultierendem Alter (1 ka = 1000 Jahre). Für die Insel Qeshm sind nur die sieben nicht vollständig rekristallisierten Proben angegeben (Quelle: Eigene Erhebung).

Probe	Labor-Nummer	Höhe ü.M. (m)	D_E (Gy)	U (µg g^{-1})	D' (µGy a^{-1})	Alter (ka)
0KI-01	K-4215	3	165,93 ± 25,99	2,34	862 ± 63	193 ± 33
0KI-02	K-4216	3	209,55 ± 14,55	3,26	1111 ± 83	189 ± 19
0KI-03	K-4217	6	99,14 ± 27,10	2,81	854 ± 61	116 ± 33
0KI-04	K-4218	6	241,59 ± 14,71	3,13	1117 ± 86	216 ± 21
0KI-05	K-4219	4	215,06 ± 26,53	2,96	1052 ± 80	205 ± 15
0KI-06	K-4220	4	256,39 ± 11,02	2,89	1075 ± 83	239 ± 21
0KI-07	K-4221	1,5	208,74 ± 13,94	2,68	982 ± 75	213 ± 22
0KI-08	K-4222	5,2	116,68 ± 9,82	3,01	923 ± 67	126 ± 14
0KI-09	K-4223	6,1	n.b.	-	-	-
0KI-10	K-4224	6,7	97,32 ± 3,62	2,51	798 ± 56	122 ± 10
0KI-11	K-4225	8,1	102,93 ± 13,57	2,90	878 ± 63	117 ± 18
0KI-12	K-4226	8,4	125,40 ± 6,06	2,69	880 ± 63	143 ± 12
0KI-13	K-4227	9,2	n.b.	-	-	-
0KI-14	K-4228	11,6	85,10 ± 4,84	2,96	849 ± 60	100 ± 9
0KI-15	K-4229	18	146,30 ± 18,60	4,64	1275 ± 58	115 ± 15
0KI-16	K-4230	18	110,75 ± 6,30	2,82	878 ± 64	126 ± 12
0KI-17	K-4231	18	105,96 ± 12,78	3,18	932 ± 68	114 ± 16
0KI-18	K-4232	25,5	208,65 ± 8,41	3,02	1058 ± 79	197 ± 17
0KI-19	K-4233	25,5	204,07 ± 16,26	2,82	1009 ± 76	202 ± 22
0KI-20	K-4234	28	202,27 ± 14,97	2,60	958 ± 73	211 ± 22
0KI-21	K-4235	28	223,85 ± 15,11	2,82	1029 ± 78	218 ± 22
0KI-22	K-4236	28	215,00 ± 13,22	2,56	961 ± 74	224 ± 22
0KI-23	K-4237	32	127,82 ± 14,35	2,59	864 ± 63	148 ± 20
0KI-24	K-4238	32	161,98 ± 4,53	4,99	1362 ± 104	119 ± 10
0KI-25	K-4239	32	322,37 ± 36,19	3,51	1277 ± 104	252 ± 35
0KI-26	K-4240	1,5	231,56 ± 8,46	2,84	1041 ± 79	223 ± 19
0KI-27	K-4241	1,5	243,32 ± 14,60	2,89	1063 ± 83	229 ± 23
0QE-29	K-4194	3	97,57 ± 2,36	2,15	732 ± 52	133 ± 10
0QE-33	K-4196	30	91,75 ± 11,98	2,27	744 ± 52	123 ± 18
0QE-34	K-4197	30	162,93 ± 5,32	3,99	1187 ± 89	137 ± 11
0QE-40	K-4200	26	105,50 ± 5,58	2,65	838 ± 60	126 ± 11
0QE-51	K-4211	20	106,56 ± 6,55	2,43	799 ± 57	133 ± 13
0QE-52	K-4212	25	112,26 ± 5,69	2,47	816 ± 60	138 ± 12
0QE-53	K-4213	30	102,68 ± 3,54	2,98	890 ± 64	115 ± 9

Auch das im aktiven Steilkliff (3-6 m ü.M.) entlang der Südküste beprobte Korallenmaterial ist nach den ESR-Datierungen in das MIS 7 zu stellen. Während der Feldarbeiten wurde hingegen ein letztinterglaziales Alter vermutet. Im Bereich 6 m ü.M. tritt jedoch bei einer Probe ein Alter auf (0KI-03: 116.000 ± 33.000 Jahre), welches eine Zuordnung in das MIS 5e (122.000 – 127.000 Jahre; Bassinot et al. 1994) nahe legt. Für eine nur wenige Meter entfernt entnommene Probe wurde hingegen ein deutlich höheres Alter ermittelt (0KI-04: 216.000 ± 21.000 Jahre).

Die Proben aus dem Aufschluss "Darius" im Süden von Kish (5,2 – 11,6 m ü.M.) und aus dem Bereich eines Kalksteinwerkes im Südwesten der Insel (18 m ü.M.) fallen in den Bereich des MIS 5. Sie werden als Ablagerungen des Maximums des letzten Interglazials um 125.000 Jahre interpretiert. Das bei 25,5 m bzw. 28 m ü.M. beprobte Korallenmaterial datiert wieder in das MIS 7. Alle Funde oberhalb 18 m ü.M. stammen jedoch aus Gesteinsschutt von der Inseloberfläche, weshalb eine Umlagerung durch Starkregenereignisse oder auch eine anthropogene Verschleppung des Materials prinzipiell in Betracht gezogen werden sollte. Für die drei Proben von der höchsten Erhebung der Insel, ca. 32 m ü. M., ergaben sich zwei Alter, die dem MIS 5e zugeordnet werden, und ein Alter, welches dem frühen MIS 7 entspricht.

Auf Kish liegen nach den durchgeführten Datierungen Paläoriffe bzw. korallenhaltiges Riffmaterial von zumindest zwei unabhängigen Riffbildungsphasen vor. Die Korallenproben zeigen hierbei keinen direkten Bezug zu Alter und Höhenlage (Abb. 4), einen Bezug wie er an vielen anderen Stellen weltweit beobachtet worden ist. Aus dem Befund kann geschlossen werden, dass es sich um eine zumindest dizyklische Bildung handelt, d. h., dass sich Korallen auf den Überresten eines älteren Riffes angesiedelt haben. Dadurch ließe sich auch der scheinbare Widerspruch von verschiedenem Alter für Proben gleicher Höhenlage erklären. Die jüngere Riffbildungsphase lässt sich mittels Frequenzanalyse (Abb. 4) dem MIS 5e, also dem Meeresspiegelhochstand während des letzten Interglazials zuordnen. Die ältere Periode fällt demzufolge in das MIS 7. Eine genauere Zuordnung der Ablagerungen zu den verschiedenen Submaximum innerhalb des vorletzten Interglazials ist bei der Berücksichtigung der Präzision der ESR-Methode jedoch nicht möglich. Zwar zeigt die Frequenzanalyse (Abb. 4) zwei schwach ausgeprägte Häufigkeitsmaxima bei 207.000 Jahre und bei 219.000 Jahre, diese fallen jedoch in Zeiten eines relativ niedrigen globalen Meeresspiegels (MIS 7.2 bzw. 7.4; Bassinot et al. 1994). Eine Riffbildung zu dieser Zeit erscheint aber unwahrscheinlich.

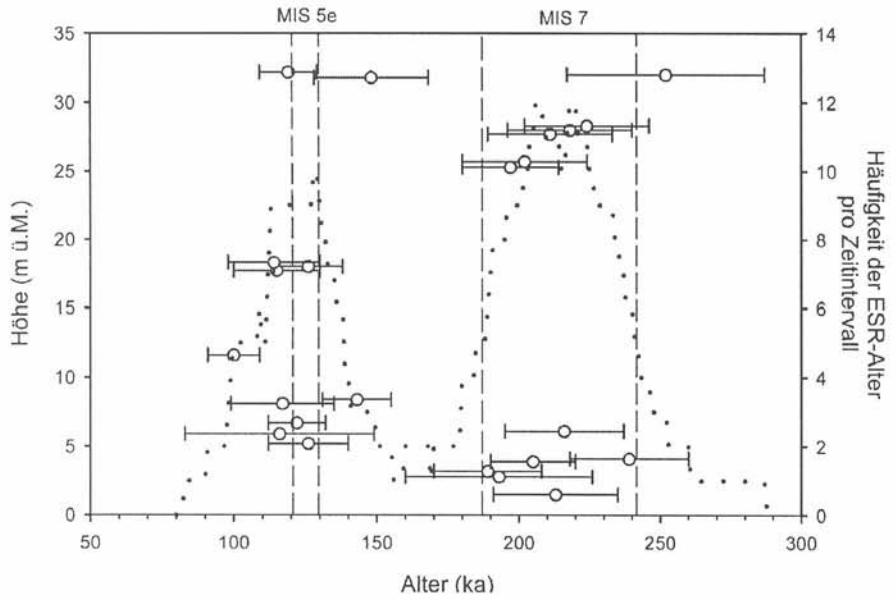

Abbildung 4: Ergebnisse der ESR-Datierungen von Kish in Bezug auf ihre Höhe ü.M. (Fehlerbalken) bzw. Häufigkeit pro Zeitintervall (gepunktete Linie). Die senkrechten, gestrichelten Linien stellen die Grenzen des Marinen Isotopen Stadium 5 bzw. 7 dar (MIS-Alter nach Bassinot et al. 1994) (Quelle: Eigener Entwurf).

Alle der auf der Insel Qeshm beprobten Korallen aus einer Höhenlage > 30 m ü.M. zeigen eine so starke Rekristallisation, dass keine Datierung möglich war. Für die übrigen Proben (+3 m bis +30 m ü.M.) liegen die ESR-Alter im Bereich des MIS 5e (Abb. 3) und bestätigen damit frühere U/Th-Datierungen von Reyss et al. (1998).

4. Schlussfolgerungen

Aus den erzielten Datierungsergebnissen lassen sich bei Berücksichtigung der Höhenlage und der Höhe des Meeresspiegels zur Ablagerungszeit mittlere Hebungsraten kalkulieren. Diese wurden jeweils für die Zeit seit dem letzten Interglazial (ca. 125.000 Jahre) berechnet, da für die Insel Kish eine eindeutige Zuordnung zu den Unterstadien des MIS 7 nicht möglich ist. Es wurde von einem mittleren Meeresspiegel von +4 m für das Maximum des letzten Interglazials ausge-

gangen (Stirling et al. 1995, 1998). Für das Korallenwachstum wurde eine Mindestwassertiefe von 2 m angenommen. Wegen der Unsicherheit hinsichtlich einer möglichen anthropogenen Umlagerung des Korallenmaterials von der höchsten Erhebung auf der Insel Kish werden zwei alternative Ergebnisse diskutiert. Geht man von einer in-situ Position aller Korallenproben aus (Szenario 1), ergäbe sich eine mittlere Hebungsrate seit dem letzten Interglazial von ~ 0,24 mm a^{-1}. Alternativ, wenn man die Korallenfunde bei +18 m als Riffkrone des MIS 5e interpretieren würde (Szenario 2), entspräche das einer mittleren Hebungsrate von ~ 0,13 mm a^{-1}. Für die Insel Qeshm ist demgegenüber der Sachverhalt eindeutiger. Die mittlere Hebungsrate beträgt für die Proben, die +30 m ü.M. entnommen wurden, ~ 0,22 mm a^{-1}. Wendet man diese mittlere Hebungsrate von 0,22 mm a^{-1} auf die höchstgelegenen Korallen von Qeshm (+ 220 m ü.M.) an, so ergibt sich für diese ein Alter von ca. 1 Millionen Jahre. Bei dieser Extrapolation wird aber von einer Konstanz der Hebung ausgegangen, die bis dato aber nicht belegbar ist.

Auch wenn man alle mit den hier vorgestellten Untersuchungen verknüpften Unsicherheiten berücksichtigt, zeigt sich eindeutig, dass die Hebungsraten in den beiden untersuchten Gebieten um eine Potenz kleiner sind, als Vorstellungen, die ausschließlich auf ^{14}C-Datierungen > 20.000 Jahre beruhen. Wie bereits Page et al. (1979) und Radtke (1988) zeigten, sind derartige Ergebnisse für Korallenmaterial oft als Minimalalter zu interpretieren. Ein weiteres Argument gegen ein Korallenwachstum im Persischen Golf im Zeitraum 50.000 – 20.000 Jahre vor heute, wie wiederholt propagiert, ist die Höhenlage des globalen Meeresspiegels während des letzten Glazials. Zwischen 50.000 und 30.000 Jahre war der Meeresspiegel im Durchschnitt mindestens 60 m, zwischen 30.000 – 20.000 Jahre sogar über 100 m niedriger als heute (Lambeck u Chappell 2001). Demzufolge waren sowohl der Persische Golf als auch die Straße von Hormuz zu dieser Zeit festländisch (Uchupi et al. 1999), und ein Wachstum von Korallen war in dieser Region prinzipiell nicht möglich.

Als Fazit ergibt sich, dass das Untersuchungsgebiet eine deutlich niedrigere Hebungsrate und damit wahrscheinlich auch eine niedrigere potenzielle Erdbebengefährdung aufweist als bisher wiederholt konstatiert worden ist. Außerdem muss berücksichtigt werden, dass die verschiedenen Salzschichten im Untergrund als Gleitbahnen dienen und so tektonischen Stress kompensieren können. Demnach ist für die untersuchte Region von einer insgesamt eher niedrigen Erdbebengefährdung auszugehen.

Literatur

Bassinot FC, Labeyrie LD, Vincent E, Quidelleur X, Shackleton NJ, Lancelot Y (1994) The astronomical theory of climate and the age of the Brunhes-Matuyama magnetic reversal. Earth and Planetary Science Letters 12: 91-108

Blanford WT (1872) A note on the geological formations seen along the coast of Baluchistan and Persia from Karachi to the head of the Persian Gulf, and some of the Gulfs Islands. Records of the Geological Survey of India 4: 41-45

Falcon NL (1947) Raised beaches and terraces of the Iranian Makran coast. Geographical Journal 109: 149-151

Fontugne M, Reyss JL, Hatte C, Pirazzoli PA, Haghipour A (1997) Global sea level changes as indicated by ^{14}C and $^{230}Th/^{234}U$ dating of marine terraces in the Persian Gulf and along the Makran Coast (Iran). In: Earth Processes in Global Change – Climate of the Past. Proceedings of the Lanzarote-Fuerteventura UNESCO-IUGS Meeting, 1-6 June 1995, Universidad de Gran Canaria, Las Palmas, pp 81-88

Grün R (1989) Die ESR–Altersbestimmungsmethode. Berlin

Haghipour A, Fontugne M (1993) Quaternary uplift of Qeshm Island (Iran). Comptes Rendus de l'Académie des Sciences, Paris, 317 (II): 419-424

Lambeck K, Chappell J (2001) Sea level change through the Last Glacial Cycle. Science 292: 679-686

Little RD (1970) Terraces of the Makran coast of Iran. In: Snead R (ed) Physical Geography of the Makran Coastal Plain of Iran. Albuquerque, University of New Mexico, pp 318-372

Page WD, Alt JN, Cluff LS, Plafker G (1979) Evidence for the recurrence of large-magnitude earthquakes along the Makran coast of Iran and Pakistan. Tectonophysics 52: 533-547

Pilgrim GE (1908) The geology of the Persian Gulf and the adjoining portions of Persia and Arabia. Memoirs of the Geological Survey of India 34: 1-177

Radtke U (1988) How to avoid 'useless' radiocarbon dating. Nature 333: 307-308

Radtke U (1989) Marine Terrassen und Korallenriffe – Das Problem quartärer Meeresspiegelschwankungen erläutert an Fallstudien aus Chile, Argentinien und Barbados. Düsseldorf (Düsseldorfer Geographische Schriften 27)

Reyss JL, Pirazzoli PA, Haghipour A, Hatte C, Fontugne M (1998) Quaternary marine terraces and tectonic uplift rates on the south coast of Iran. In: Stewart IS, Vita-Finzi C (eds.) Coastal Tectonics. London (Geological Society, Special Publication 146), pp 225-237

Schellmann G, Radtke U (2001) Progress in ESR dating of Pleistocene corals – a new approach for D_E determination. Quaternary Science Reviews 20: 1015-1020

Snead RJ (1993) Uplifted marine terraces along the Makran coast of Pakistan and Iran. In: Shroder JF Jr. (ed) Himalaya to the Sea, London, pp 327-362

Stirling CH, Esat M, McCulloch MT, Lambeck K (1995) High-precision U-series dating of corals from Western Australia and implications for the timing and duration of the Last Interglacial. Earth and Planetary Science Letters 135: 115-130

Stirling CH, Esat M, McCulloch MT, Lambeck K (1998) Timing and duration of the Last Interglacial: evidence for a restricted interval of widespread coral reef growth. Earth and Planetary Science Letters 160: 754-762

Uchupi E, Swift SA, Ross DA (1999) Late Quaternary stratigraphy, paleoclimate and neotectonism of the Persian (Arabian) Gulf region. Marine Geology 160: 1-23

Vita-Finzi C (1979) Rates of Holocene folding in the coastal Zagros near Bandar Abbas, Iran. Nature 278: 632-633

Vita-Finzi C (1980) ^{14}C dating of recent crustal movements in the Persian Gulf and Iranian Makran. Radiocarbon 22: 763-773

Vita-Finzi C (1981) Late Quaternary deformation on the Makran coast of Iran. Zeitschrift für Geomorphologie, Supplementband 40: 213-226