SCHELLMANN, Gerhard (Hrsg.): Von der Nordseeküste bis Neuseeland – Beiträge zur 19. Jahrestagung des Arbeitskreises „Geographie der Meere und Küsten" vom 24. – 27. Mai 2001 in Bamberg. (= Bamberger Geographische Schriften 20). Bamberg 2001, S. 201 - 224.

Neue Ergebnisse zur Verbreitung und Altersstellung gehobener Korallenriffterrassen im Süden von Barbados

von

GERHARD SCHELLMANN UND ULRICH RADTKE

KURZFASSUNG

Im Kontext einer Quantifizierung warmzeitlicher Meeresspiegelveränderungen im Jung- und Mittelpleistozän ist Barbados weltweite eine der wenigen Typlokalitäten, die hierzu Informationen aus dem litoralen Bereich liefern können. Seit Ende der sechziger Jahre des 20. Jahrhunderts wurden unter dem Schlagwort „das Barbados-Modell" wiederholt solche Berechnungen, häufig im Kontext globaler Korrelationen, publiziert. Fortschritte im Bereich der ESR-Datierung an fossilen Steinkorallen (höhere Datierungsgenauigkeiten), bei den Möglichkeiten von Luftbildauswertungen (höhere Auflösung) und durch das weitgehende Fehlen einer detaillierten geomorphologischen Geländekartierung der dort erhaltenen und über den heutigen Meeresspiegel herausgehobenen fossilen Strandformen und Riffterrassen motivierten uns, in den letzten 10 Jahren eine geomorphologische und geochronologische Neuaufnahme der Korallenriffterrassen von Barbados durchzuführen. Am Beispiel des südlichen Inselbereiches kann die Notwendigkeit einer grundlegenden Revision der bisherigen morpho- und chronostratigraphischen Vorstellungen über die dort erhaltenen jung- und mittelpleistozänen Riffterrassen am anschaulichsten demonstriert werden. Dort kann u. a. gezeigt werden, daß die morpho- und chronostratigraphische Abfolge wesentlich reichhaltiger ist, als dieses bisher angenommen wurde, und daß über eine detaillierte Morphostratigraphie mit differenzierter Erfassung von überwiegend bio-konstruktiv entstandenen Korallenriff-Terrassen (meist als Saumriffe), von abrasiven (Brandungsplattformen) und anderen erosiven Formen (Hohlkehlen, Kliffe) mehrere Indikatoren zur Berechnung von Paläo-Meeresspiegeln herangezogen werden können. Zudem können sie bei der Erkennung potentiell ungleichsinniger, zeitlich differenzierter tektonischer Hebungsraten helfen.

ABSTRACT

The coral reef terraces of Barbados belong to the few type localities worldwide that provide insight into interglacial sea level changes during the Young and Middle Pleistocene. Since the late 1960s, several of these sea level estimates contributed to the "Barbados model" and have been published in the context of global sea level correlations. This paper presents new

geomorphic and geochronologic mapping of coral reef terraces that was conducted over a time period of 10 years and motivated by advances in ESR-dating of fossil coral (higher dating accuracy), advances in interpretation of aerial imagery (higher resolution), and the large deficit in detailed geomorphic maps of preserved fossil beach formations and reef terraces uplifted above present sea level. The need of a complete revision of past published morpho- and chronostratigraphies, can be demonstrated best using the example of the southern part of the island. There, it can be illustrated, that the morpho- and chronostratigraphic sequence is both more complex and diverse than it had been assumed so far. The morphostratigraphy includes a differentiation of coral reef terraces whose formation was largely dominated by bio-constructive processes (mostly as fringing reefs), and of abrasive (wave cut platforms) and other erosive features (notches, cliffs). These indicators allow for both the estimate of tectonic uplift rates as well as the identification of areas with tectonic movements varying over time. Both are a requirement for more precise sea level reconstructions.

1. Einleitung

Barbados liegt in der östlichen Karibik auf einer geographischen Breite von 13°02' – 13°10'N und einer geographischen Länge von 59°25' – 59°39'W, rund 160 km östlich des Kleinen Antillenbogens (Abb. 1). Die Insel besitzt eine Nord-Süd-Erstreckung von etwa 32 km, eine West-Ost-Erstreckung von ca. 24 km, eine Küstenlänge von etwa 95 km und eine Fläche von ca. 430 qkm.

Geographisch gehört Barbados zwar zu den Kleinen Antillen, also zu den innerhalb der Passatzone gelegenen „Inseln über dem Winde", aber geologisch-tektonisch unterscheidet sie sich von allen anderen Antilleninseln auf besondere Weise. Sie gehört weder zu dem heute noch vulkanisch aktiven inneren Antillenbogen von Saba, St. Eustatius, St. Christopher und Nevis im Nordwesten über Basse Terre (Westhälfte von Guadeloupe), Les Saintes, Dominica, Martinique, Santa Lucia, St. Vincent, den Grenadinen und Grenada im Süden, noch zu den auf einem früheren, im Eozän und Oligozän aktiven vulkanischen Inselbogen gelegenen äußeren nordöstlichen Bogen der Kleinen Antillen, den sog. „Kalk-Antillen", der sich von Anguilla, St. Martin und St. Bartholemew im Nordwesten über Barbuda, Antigua, Grande Terre (Osthälfte von Guadeloupe), Désirade bis nach Marie-Galante erstreckte (Abb. 1).

Das geologisch Besondere von Barbados ist die Tatsache, daß die Insel östlich der von vulkanischen Gesteinen unterlagerten Kleinen Kalk-Antillen liegt, und zwar in einem Bereich, wo beim Subduktionsvorgang der Atlantischen unter die Karibische Platte seit dem späten Eozän mächtige ozeanische Sedimentstapel vom Ozeanboden abgeschert werden und bis heute zu einem ca. 20 km dicken Sedimentpaket wulstartig aufgeschoben wurden (Abb. 2).

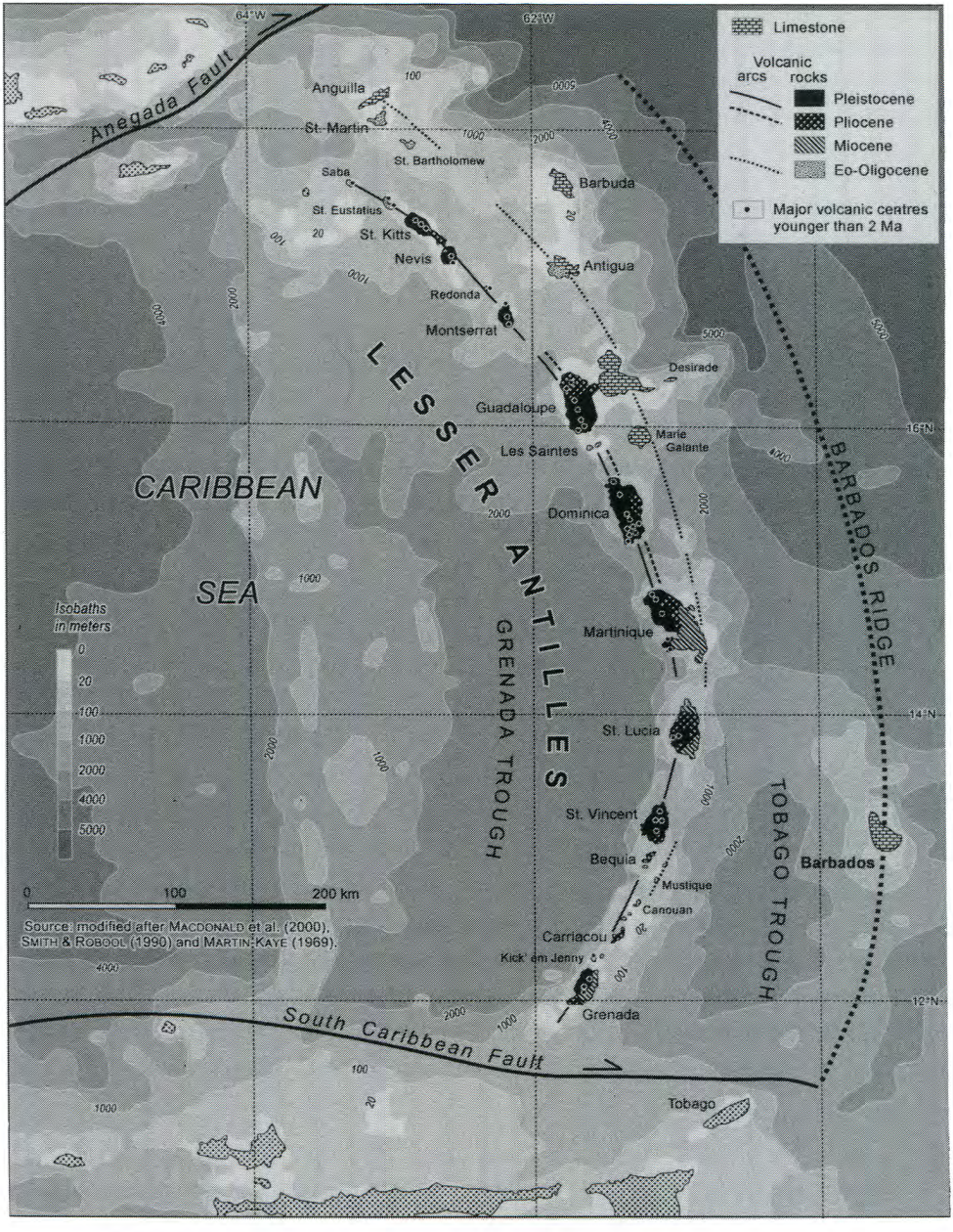

Abb. 1: Die geographische Lage von Barbados in der Karibik

Dadurch entstand ein in seiner Längserstreckung der Subduktionszone folgender bis in die Nähe des 17. Breitengrades gut ausgeprägter submariner Rücken, der sog. „Barbados-Rücken", wobei die Insel Barbados die einzige über den heutigen Meeresspiegel herausragende Erhebung auf diesem Rücken darstellt.

Die Heraushebung zur heutigen Insel Barbados geschah wahrscheinlich erst seit dem ausgehenden Altpleistozän, seit etwa 1 Mio. Jahren. Dabei wurden Saumriffe, die den aus marinen Sedimentgesteinen bestehenden Inselkern umgaben, sukzessive mit gehoben. Freigelegt durch Erosion stehen heute nur im östlichen Teil der Insel, im sog. „Scotland District", auf ca. 15 % der Inseloberfläche tertiäre Sedimentgesteine an (Abb. 2).

Ungefähr 85 % der Insel bestehen dagegen aus flachlagernden, bis zu 130 m mächtigen pleistozänen Korallenkalken, die diskordant dem tertiären Sockel aufliegen (Abb. 2). Diese pleistozäne Korallenkalkdecke ist ein Komplex aus verschieden alten Saumriff-Generationen, die sich um diesen einzigen subärischen Teil und bis heute heraushebenden Barbados-Rücken unter dem Einfluß von Schwankungen des Paläo-Meeresspiegels entwickelten. Sie wurden bei ihrer Heraushebung teilweise anti- oder auch synklinal verbogen, manchmal auch zerbrochen (u. a. TAYLOR & MANN 1991).

Entsprechend den unterschiedlichen Hebungsraten im Bereich der tektonischen Mulden- und Sattelstrukturen erreichen die Korallenriffterrassen heute im zentralen Bereich der Nordinsel am Hackletons Kliff, einer markanten Schichtstufe zum nordöstlich sich erstreckenden Scotland District, mit über 330 m Meereshöhe ihre größte Höhenlage. Von dort steigen sie in mehreren größeren und kleineren Terrassenstufen nach Norden, Westen und Süden zum Karibischen Meer bzw. zum St. George Valley hin ab und sind im einzelnen durch ehemalige Kliffe deutlich voneinander abgesetzt.

Die beiden mächtigsten Riffstufen auf Barbados sind das sog. „First High Cliff" und das sog. „Second High Cliff" (Abb. 2). Das „First High Cliff" ist küstennah verbreitet und markiert den ersten bedeutenden Anstieg der Korallenriffterrassen auf mehrere Dekameter Höhe (zwischen ca. 20 – 61 m) über dem heutigen Meeresspiegel (Photo 1). Die ältesten und zugleich am höchsten gelegenen Riffkomplexe erstrecken sich am weitesten im Landesinneren und zwar in der westlichen Umrahmung des Scotland Distrikts. Sie sind markant durch das ca. 130 – 200 m ü. M. gelegene „Second High Cliff" von den niedrigeren und weiter west-, nord- und südöstlich verbreiteten Riffstufen abgesetzt (Photo 2).

Noch bis zum vorletzten Interglazial trennte eine Meeresstraße im Bereich des St. George Valley die Hauptinsel im Norden von der Südinsel. Letztere ist erst in den letzten 400.000 Jahren entstanden und damit deutlich jünger als die wahrscheinlich über 1 Mio. Jahre alte Nordinsel (RADTKE 1989).

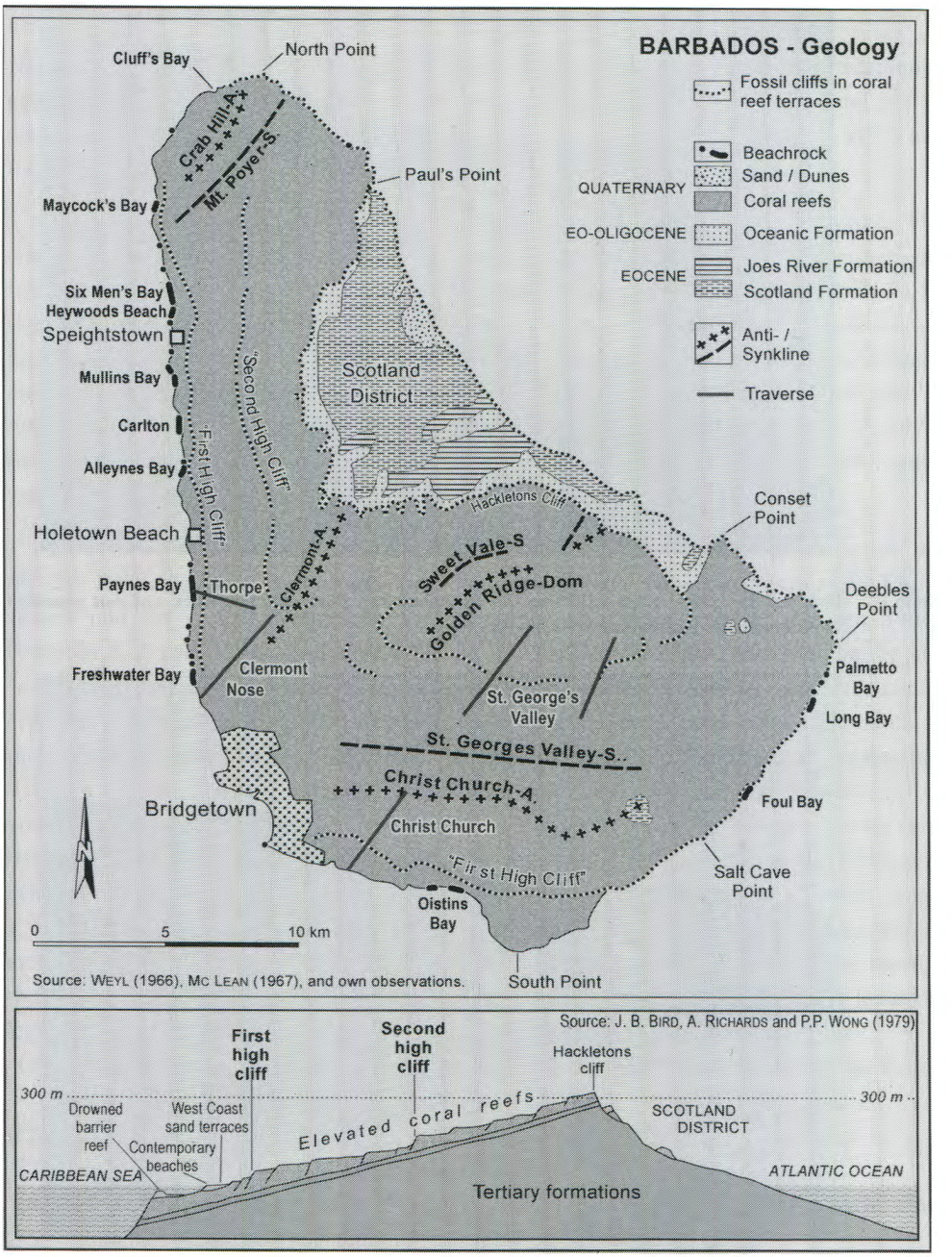

Abb. 2: **Geologische Übersichtskarte von Barbados**

Photo 1: **Blick auf das „First High Cliff" an der Südküste von Barbados mit Blick auf den bebauten Rendezvous Hill (Aufnahme 1994, II-38)**

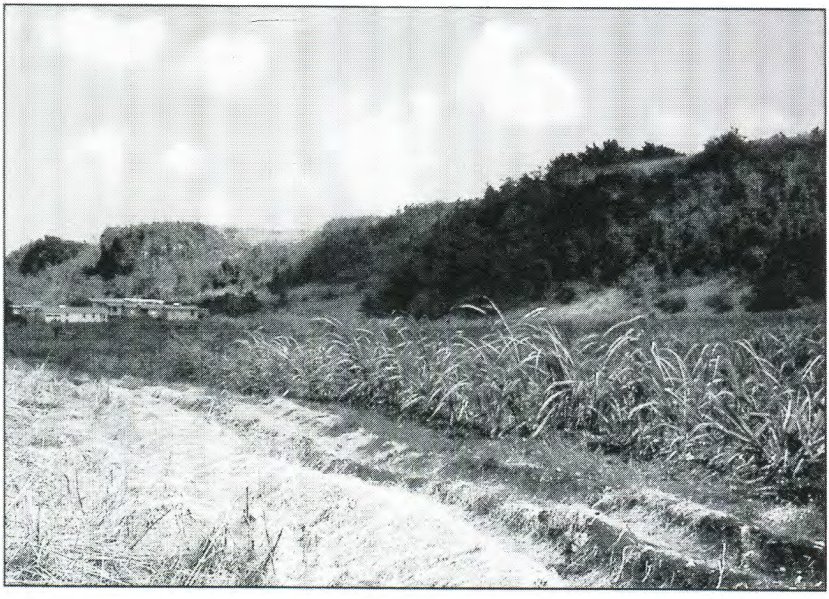

Photo 2: **Blick auf die äußerst markante Klifflinie des „Second High Cliff" an der Westküste von Barbados östlich von Speightstown (Aufnahme 1999, II-31)**

2. FORSCHUNGSSTAND

Die moderne Erforschung der gehobenen Korallenriffe auf Barbados mit ersten fundierten geochronologischen Einstufungen und Rekonstruktionen der Höhenlage jung- und mittelpleistozäner Paläomeeresspiegel begann mit den Arbeiten von MESOLELLA (u. a. 1968) und BROECKER et al. (1968).

Zahlreiche Arbeiten folgten, die sich aber im wesentlichen auf geochronologische Untersuchungen entlang von fünf sog. „Standardtraversen" durch die Riffterrassen beschränkten und zwar an der Westküste auf die Traversen Thorpe und Clermont Nose, im St. George Valley auf Traversen im Bereich Windsor bis Drax Hall sowie an der Südküste auf die Christ Church Traverse. (Abb. 2). Als Datierungsmethoden benutzte man überwiegend die Uran/Thorium (U/Th) - Altersbestimmungsmethode (u. v. a. jüngstens BLANCHON & EISENHAUER 2001), daneben die Helium/Uran (He/U) - Methode (BENDER et al. 1979) sowie die auf Barbados erstmalig von RADTKE (1989) und RADTKE & GRÜN (1990) angewandte Elektronen-Spin-Resonanz - Methode (ESR-Methode).

Auf diesen an Standardtraversen angelehnten geochronologischen Arbeiten beruht das für die Rekonstruktion des mittel- und jungpleistozänen Paläo-Meeresspiegels häufig zitierte und für globale Vergleiche herangezogene „Barbados-Modell" mit den Stufen Barbados I, II und III als Äquivalente für die Tiefsee-Sauerstoffisotopenstufen 5a, 5c und 5e des letzten Interglazials. Dabei setzte man voraus, daß die vor allem von MESOLELLA (1968) und BENDER et al. (1979) mittels topographischer Karten und Luftbildern durchgeführten Kartierungen fossiler Riffkronen weitgehend zutreffen. Sofern lokal gegenteilige Befunde erkannt wurden, beschränkte man sich auf mehr oder minder kleinräumig begrenzte morphostratigraphische Revisionen, wie sie für den südlichen Bereich von Barbados vor allem von BENDER et al. (1979), RADTKE (1989) und KU et al. (1990) vorgenommen wurden. Auch BLANCHON & EISENHAUER (2001) verfolgen in ihrem jüngst erschienenen Artikel zur letztinterglazialen Riffentwicklung auf Barbados wiederum keinen morphostratigraphischen Ansatz. Bei ihren Meeresspiegelrekonstruktionen stützen sie sich weitgehend auf zwei als korrekt angesehene U/Th-Datierungen sowie auf allein lokal belegte, dann aber großräumig extrapolierte Beschreibungen und Interpretationen von:

(1) vermeintlich exakten Meeresspiegelindikatoren wie Faziesveränderungen im Korallenriffkörper,
(2) Kalkalgenumkrustungen auf den Korallen,
(3) die Höhenlage einer Brandungshöhle,
(4) die heutige morphologische Form der Riffkronen als syngenetische Form eines fallenden Meeresspiegels und nicht als nachträgliche Erosionsform,
(5) eine als submarines Vorriff gedeutete Korallenriffterrasse und zwar die Maxwell Terrasse (s. u.), die morphologisch zweifelsfrei eine gehobene Saumriff-Terrasse mit Riffkronen- und Lagunenarealen ist, sowie von

(6) fossilen Kliffschuttkörpern bzw. Kliffuß-Strandlinien, die sie ohne absolute Datierung mutmaßlich als Bildungen am Ausgang des letztinterglazialen Transgressionsmaximums (Isotopenstufe 5e) ansehen.

Wiederum wurde keine Neukartierung durchgeführt, bei der eindeutige morphologische Abgrenzungskriterien verwendet wurden (s. u.). Eine morphostratigraphische Kartierung ist aber der einzige Weg, damit weitere zur Rekonstruktion von Meeresspiegelveränderungen bzw. von tektonischen Bewegungen notwendige Informationen stratigraphisch korrekt eingebunden und interpretiert werden können. Darunter fallen vor allem Daten zur heutigen Höhenlage ehemaliger Klifflinien, Riffkronen, Abrasionsplattformen und Hohlkehlen, das Auslaufen von Brandungsgassen und Trockentälern auf das nächsttiefere Niveau sowie die fazielle und riffzonale Zusammensetzung der Riffterrassenkörper (Vorriff-, Riffkronen-, Rückriff-, Lagunen-, Riffschutt- und Strandfazies).

3. Methodik

Ausgangspunkt unserer Neuuntersuchungen der Korallenriffterrassen auf Barbados im Jahre 1990 war der Eindruck, daß alle bisherigen vereinfachten Darstellungsformen der Morphologie und Stratigraphie der Insel der komplexen Entstehungsgeschichte der Riffterrassen nicht gerecht wurden und mit zahlreichen Fehlinterpretationen behaftet waren. Es fehlten morphostratigraphische Detailuntersuchungen, die, statt der bisher bevorzugten lokalen Beschreibung und Datierung von Riffstufen entlang von Traversen, über großräumige flächenhafte Geländeaufnahmen die Verbreitung, Höhenlage, den morphologischen Baustil und die fazielle Zusammensetzung dieser Terrassenstufen erfaßten, diese über eine die Terrassenflächen abdeckenden Altersdatierungen geochronologisch einstuften und in diesem gut abgesicherten morpho- und chronostratigraphischen Kontext weitere bisher nicht konsequent zur Interpretation herangezogene Meeresspiegelanzeiger wie Abrasionsplattformen, fossile Hohlkehlen und Strandablagerungen berücksichtigten.

Wichtige morphologische Kriterien zur räumlichen Abgrenzung eigenständiger Korallenriffterrassen sind:

(1) die Verbreitung von ehemaligen Klifflinien als klare morphologische Trennlinien zwischen unterschiedlich alten Riffstufen und Abrasionsflächen;
(2) das interne Relief, der morphologische Baustil eines Korallensaumriffes mit wenigen Metern höhergelegenen Riffkronenarealen, evtl. durchzogen von Riffkanälen, und landwärts sich erstreckender Rifflagune;
(3) das landwärtige Ansteigen einer Korallenriffterrasse ohne weitere Differenzierung durch Kanäle oder eine Lagune, welches ein klarer Hinweis für eine erosiv in einem älteren Riffkörper angelegte Abrasionsplattform ist.

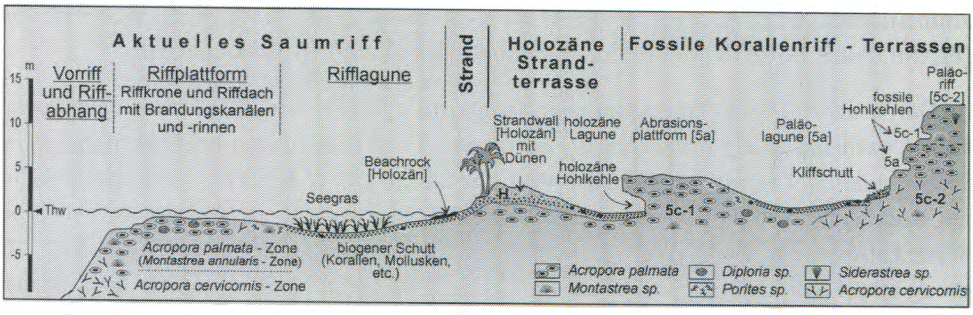

Abb. 3: Schema zur Morphologie und Fazies rezenter und fossiler Küstenformen an der heutigen Küste von Barbados

Im Idealfall besitzen die auf Barbados erhaltenen fossilen Korallenriffterrassen die in Abbildung 3 schematisch dargestellten morphostratigraphischen und faziellen Einheiten, wie sie auch im heutigen morphologischen Küstenformenschatz bis zum vorgelagerten Korallensaumriff vorkommen. Neben Hohlkehlen und sandigen Strandablagerungen bilden die bis maximal zum Tidenniedrigwasserspiegel reichenden Riffkronen bzw. Riffplattformen die wichtigsten Indikatoren zur Rekonstruktion von pleistozänen Meeresspiegelveränderungen. Im Bereich der Riffkrone ist die überwiegend im wellenbewegten Flachwasser bis maximal 5 m Wassertiefe in dichten Kolonien verbreitete Koralle *Acropora palmata* der dominierende Riffbauer. Nur bei extremer Wellenexposition können auch Kalkalgen im oberen Bereich der ehemaligen Riffkrone lokal vorkommen. Zahlreiche Beispiele zur Verbreitung von Kalkalgenkrusten im Bereich karibischer Riffkronen beschreibt u. a. GEISTER (1983). An der Süd- und Westküste von Barbados, die im Lee des ganzjährig vorherrschenden NE-Passates liegt, sind kompakte Kalkalgen-Umkrustungen heute und auch bei den fossilen Korallenstöcken wegen der zu geringen Brandungsenergien eher selten, entgegen der Auffassung von BLANCHON & EISENHAUER (2001), die bei ihren Untersuchungen auf Barbados Kalkalgen-Umkrustungen als ein wichtiges Charakteristikum für alle ehemals bis zum Tidenniedrigwasserspiegel reichenden Riffkronen ansehen. Insofern sind an der karibischen Seite von Barbados fossile, mehrere Meter mächtige, kompakte *Acropora palmata* – Stöcke, auch wenn sie keine kräftigen Kalkkrusten tragen, ein klarer Indikator für wellenexponierte Flachwasserbedingungen bis zum Niedrigwasserspiegel, wie dieses schon von MESOLELLA (u. a. 1968) zutreffend erkannt wurde. Denselben Interpretationswert hat das morphologische Erscheinungsbild der Riffstufen und zwar als gehobene fossile Saumriffterrassen mit ehemaligen Riffkronen- bzw. Riffplattform-Arealen.

Bei den Geländeaufnahmen wurden die Höhenlagen der Korallenriffterrassen und Abrasionsplattformen mit Hilfe eines großen Thommen-Höhenmessers mit einer gerätespezifischen Auflösung von einem Meter eingemessen und anschließend die morphologischen und

altimetrischen Geländeaufnahmen zusätzlich über manuelle und digitale Auswertungen (PLANICOMP P33) von Farbluftbildern im Maßstab von ca. 1 : 10000 überprüft.

Durch methodische Verbesserungen konnte die Qualität der ESR-Datierungen soweit erhöht werden, daß sie massenspektrometrischen Th/U-Datierungen bei letztinterglazialen Proben qualitativ zumindest gleichzusetzen (SCHELLMANN & RADTKE 2001) und bei älteren Korallenproben weit überlegen ist. Die ESR-Altersdatierungen wurden nach dem bei SCHELLMANN & RADTKE (2001) beschriebenen Verfahren durchgeführt. Eine Veröffentlichung aller ESR-Datierungen und der Details der Geländeaufnahmen ist für das kommende Jahr geplant. Bei Anwendung dieses Verfahrens und von Mehrfachdatierungen ist eine Unterscheidung der Isotopenstufen 5a, 5c und 5e sowie 7, 9 und 11 möglich. Auch Einzelproben, deren stratigraphischer Kontext unbekannt ist, können nicht nur den Haupt-Isotopenstufen zugeordnet werden, sondern zumindest bei den letztinterglazialen Proben auch deren Unterstufen. Schwierig ist weiterhin eine korrekte Trennung der Isotopenstufen 11 und 13, bei denen in hohem Maße bereits Umkristallisationen stattgefunden haben. Bei diesen älteren mittelpleistozänen Proben ist zusätzlich das Problem der natürlichen „ESR-Verjüngung" zu berücksichtigen, d. h. der Rekombination der Elektronen, die bis zu einem natürlichen Gleichgewichtszustand zunimmt. Diese Grenze stellt das obere Datierungslimit dar, aber auch vor Erreichen dieses Limits kommt es dadurch progressiv zu einer Altersunterbestimmung. Trotzdem kann ein sehr differenziertes Bild der jung- und mittelpleistozänen Riffgenese auf Barbados gezeichnet werden (s. u.), was natürlich zu einer Revision bisheriger Chronostratigraphien, die sich allein auf die Th/U-Methode gegründet haben, führt. Bedeutende und bis heute ungelöste Probleme massenspektrometrischer U/Th-Datierungen an pleistozänen Korallen sind Isotopenwanderungen und zudem variierende $^{234}U/^{238}U$-Verhältnisse im Meerwasser (u. a. BARD et al. 1992).

4. MORPHOLOGISCHE DIFFERENZIERUNG FOSSILER KORALLENRIFFTERRASSEN AUF BARBADOS

Morphologisch besitzen die gehobenen Korallenriffterrassen von Barbados bei guter Erhaltung einen meerwärts steil abfallenden Riffhang. Landwärts folgen dann die wenig reliefierte Riffplattform mit Riffkrone und Rückriffplatte, manchmal durchzogen von Riffkanälen (Photo 3), die in eine Lagune i. w. S. einmünden (Photo 1). Letztere grenzt entweder an einen sandigen Strand oder an eine felsige Abrasionsplattform oder an ein Kliff (Photo 1).

Die aktuellen, aber auch manche fossilen Kliffe besitzen zum Teil mehr oder minder markante Hohlkehlen überwiegend bio-erosiver Genese. An aktuellen Kliffen ist die holozäne Hohlkehle im Bereich des heutigen Mittelwasserniveaus im allgemeinen ein bis zwei Meter tief in den anstehenden Korallenkalkstein eingefräst (Photo 4). Darüber, oder auch am Fuße älterer Paläokliffe, sind vor allem in brandungsgeschützter Lage Relikte fossiler Hohlkehlen erhalten (Abb. 3, Photo 5).

Photo 3: **Blick über die T-3 Korallenriffterrasse an der Südküste von Barbados: im Vordergrund ein interner T-3 Riffkanal und im Hintergrund die bebaute T-3 Riffkrone (Aufnahme 1997, IV-12)**

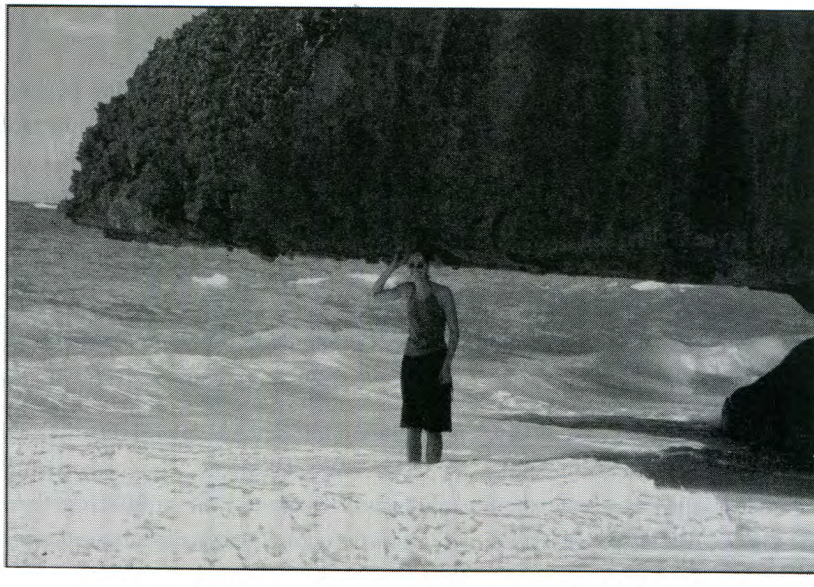

Photo 4: **Aktuelle, bio-erosiv entstandene Hohlkehle (Aufnahme 2000, III-37)**

Sie dokumentieren ältere Meeresspiegelniveaus, in brandungsgeschützter Lage mit einer Genauigkeit von wenigen Dezimetern in Bezug auf die ehemalige Höhenlage des zugehörigen Paläo-Mittelwasserspiegels. Da sie erosive Formen sind, ist eine sichere geochronologische Einstufung nur dann möglich, wenn im Vorland als Bio-Konstruktionsform ein zeit-

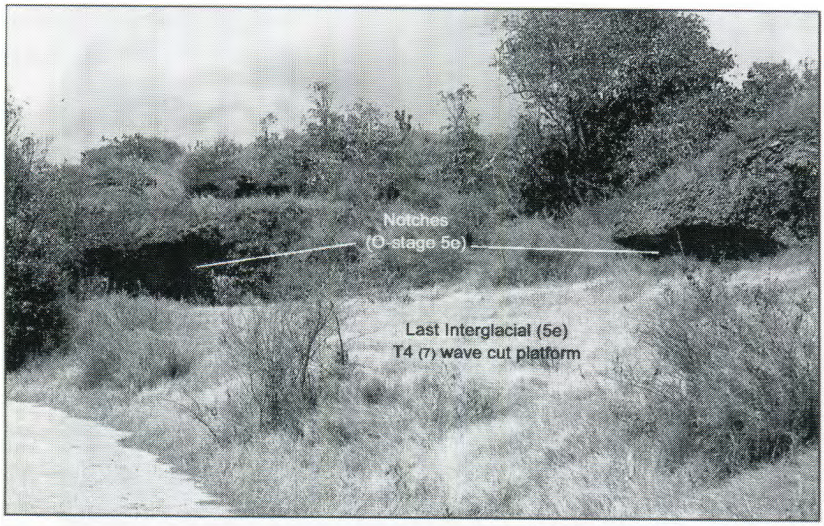

Photo 5: Fossile Hohlkehlen aus dem ausgehenden letzten Interglazial (Aufnahme 1999, VII-9)

lich zugehöriger Korallenriffkörper erhalten ist, dessen Korallen mit verschiedenen Methoden absolut datiert werden können.

Unsicher ist eine Altersbestimmung fossiler Hohlkehlen, die wesentlich höher liegen als im Kliff-Vorland erhaltene Korallenriffterrassen oder denen eine Abrasionsplattform vorgelagert ist. Höhenvergleiche mit im weiteren Umland erhaltenen Korallenriffkronen ermöglichen häufig nur eine grobe Alterseinstufung. Dabei ist zu berücksichtigen, daß entlang der gezeitenschwachen Küste von Barbados Hohlkehlen bei schwacher Brandung die Lage des Tidenmittelwassers markieren und dann etwa 0,5 – 1 m höher liegen als die höchsten Riffkronenareale vorgelagerter Saumriffe. Bei starker Brandungsexposition kann der Höhenabstand zwischen beiden morphologischen Formen aber durchaus 2 m und mehr betragen.

In ähnlicher Weise, über eine altimetrische Korrelation mit benachbarten konstruktiv gewachsenen Korallenriffterrassen, können auch die ebenfalls erosiv in ältere Korallenriffe angelegten Abrasionsplattformen altersmäßig eingestuft werden. Bei großflächiger Ausbildung, wie dieses bei der an der Südküste zwischen der Lokalität Paragon und dem Salt Cave Point weitflächig ausgebildeten T-$4_{(7)}$ Terrasse der Fall ist (Photo 6), können sie Ausdehnungen von 100 – 400 m Breite erreichen. Abrasionsplattformen dieser Größenordnung entstehen bei langsamer Meeresregression, was durch das Abdachen ihrer Oberflächen um einige Meter von der ehemaligen Klifflinie in Richtung Meer auch morphologisch belegt wird.

Photo 6: Im T-4 Niveau gelegene Abrasionsplattform westlich vom Salt Cave Point. Die Plattform entstand am Ausgang des letztinterglazialen Transgressionsmaximums vor etwa 117 ka und kappt einen etwa 200 ka alten Korallenriffkörper, der auch das Paläo-Kliff und die höhere Terrasse im Hintergrund des Bildes aufbaut (Aufnahme 2000, IV-13).

5. Verbreitung und Altersstellung fossiler Korallenriffterrassen im Bereich und östlich der Christ Church Traverse (Südküste von Barbados)

Auf dieser methodischen Basis konnten wir inzwischen weite Bereiche der Südinsel neu kartieren, die dort erhaltenen Korallenriffterrassen höhenmäßig einmessen und über 200 ESR-Datierungen vor allem an Proben aus fossilen *Acropora palmata* – Riffkronenfazien vornehmen (Abb. 4 u. 5).

Hier im Südbereich der Insel Barbados sind die ältesten Korallenriffe bis auf ca. 120 m über dem heutigen Meeresspiegel herausgehoben. Zwischen der heutigen Küste und dem Inneren der Südinsel im Bereich Wasserturm - St. Davids sind bis zu 13 deutliche Korallenriffniveaus erhalten, wenn auch nicht alle in direkter räumlicher Konkordanz. Da es nicht möglich ist, diese neuen morpho- und chronostratigraphischen Einheiten mit den bisherigen Bezeichnungen der Riffstufen in diesem Raum, wie die „Worthing oder Ventnor Terrasse", eindeutig zu korrelieren, wählten wir neue Bezeichnungen bestehend aus einfachen Buchstaben-Zahlen-Kombinationen (Tab. 1). So trägt das niedrigste und jüngste Hauptniveau in nur wenigen Metern über dem heutigen Meer die Bezeichnung T-1 Niveau (T = Terrasse), und die älteste und höchste Terrassenfläche die Bezeichnung T-13. An der

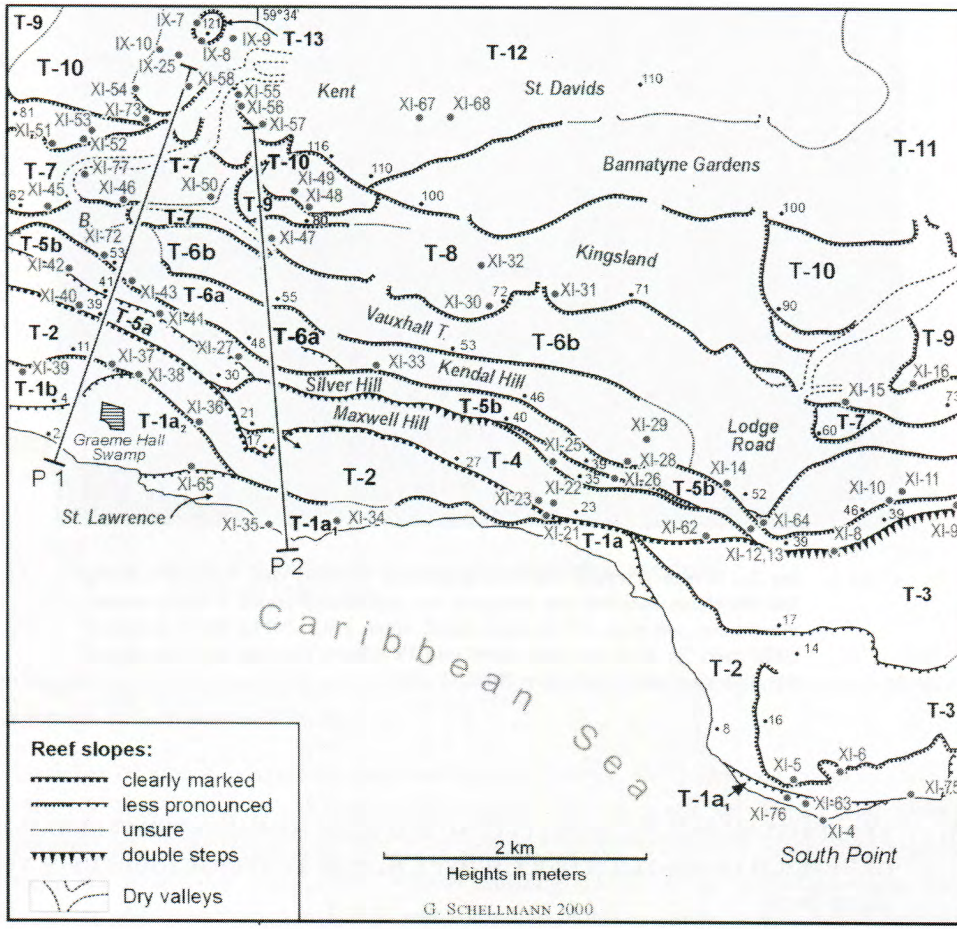

Abb. 4: Übersichtskarte der Verbreitung jung- und mittelpleistozäner Korallenriffterrassen im Süden von Barbados mit Lage der beiden Profilschnitte und der datierten Lokalitäten

dominanten Klifflinie des „First High Cliff" stehen unterschiedlich alte Korallenriffe an (Abb. 4 u. 6). Im Bereich der Christ Church Traverse ist es der T-5a Riffkörper, weiter östlich der T-3, dann der T-4 und auf der Höhe des South Points der T-5b Riffkörper. Das Kliff selber ist also in weiten Bereichen jünger als die zurückverlegten T-4, T-5a und T-5b-Riffkörper aus dem letztinterglazialen Transgressionsmaximum (Isotopenstufe 5e) und datiert auf etwa 100 ka (Isotopenstufe 5c) in die Zeit der T-2, teilweise der T-3 Terrassenbildung.

Diese Hauptniveaus können häufiger in weitere, zwar durch fossile Kliffe abgesetzte, aber höhenmäßig verwandte Subniveaus unterteilt werden, was durch den Zusatz von Kleinbuchstaben, wie das T-5a und das T-5b Terrassenniveau, gekennzeichnet wird. Ledig-

lich die Unterscheidung einer T-1a$_1$ und einer T-1a$_2$ Terrasse stützt sich nicht auf altimetrische oder eindeutige morphologische Abgrenzungskriterien, sondern auf geochronologische Aspekte. Die Riffkronen beider Terrassen liegen in ähnlicher Höhenlage bei 2 m bzw. 3 m über dem Meer (Tab. 1). Die Typlokalität beider Terrassen liegt nahe der Küste im Raum und östlich von Worthing (Abb. 4 u. 6), wo beide durch einen schmalen Paläokanal bzw. durch eine breite Paläolagune morphologisch voneinander abgesetzt sind. Daher könnten sie auch altersmäßig sehr verwandte Bildungen sein, von der Genese her etwa als annähernd zeitgleich küstenparallel entstandene doppelte Saumriffterrassen. Die bisher vorliegenden Datierungen belegen aber unterschiedliche Bildungszeiten: für die T-1a$_1$ Terrasse ein Alter von ca. 85 ka (ka = 1000 Jahre) und für die vorgelagerte T-1a$_2$ Terrasse ein Alter von ca. 72 ka (Tab. 1).

Typisch für eine sich langsam heraushebende Koralleninsel ist eine positive Höhenlage/Alter - Korrelation der Riffstufen. Die am tiefsten gelegenen küstennahen Riffterrassen sind die jüngsten und die am höchsten gelegenen und in der Regel auch weitesten von der heutigen Küste entfernten Riffstufen die ältesten Formen. Wegen der relativ langsamen Hebungsrate im südlichen Bereich von Barbados stammt dort die jüngste oberhalb des Meeresspiegels gelegene Riffterrasse T-1a$_1$ bereits aus dem ausgehenden letzten Interglazial vor ca. 72 ka. Auch die älteren, stärker herausgehobenen Riffstufen stammen aus interglazialen Meeresspiegelhochständen bis vor ca. 386 ka (Tab. 1), also etwa aus der Sauerstoff-Isotopenstufe 11.

Bei einem Vergleich der auf dieser methodischen Basis durchgeführten morpho- und chronostratigraphischen Untersuchungen vorgenommen Differenzierungen fossiler Korallenriffe im Südbereich der Insel Barbados mit bisherigen Kartierungen zeigen sich teilweise beträchtliche Unterschiede. Das betrifft sowohl deren räumliche Verbreitung als auch die Anzahl der kartierten Terrassenflächen. Abbildung 6 verdeutlicht diese Unterschiede in einem direkten Vergleich mit der Kartierung der Riffstufen im Bereich der Christ Church Traverse nach BENDER et al. (1979). Diese gravierenden Unterschiede sind eigentlich nicht verwunderlich, da auch bei dominanten Riffstufen eine Kartierung über Luftbilder, die ja die wesentliche Grundlage bisheriger Kartierungen waren, nur über kurze Entfernungen möglich ist.

Für den Südbereich der Insel verdeutlicht Tabelle 1 die Unterschiede zwischen den bisherigen stratigraphischen Gliederungen und Alterseinstufungen der dort verbreiteten Riffstufen und unseren Neubearbeitungen. Bei den in Tabelle 1 aufgeführten ESR-Altern handelt es sich um Mittelwerte, die aus dem oberen Quartil aller aus einer Terrassenstufe stammenden ESR-Datierungen an Korallen berechnet wurden. Eine auf das obere Quartil bezogene Mittelwert-Berechnung ist bei der Auswertung von ESR-Datierungen natürlich nur sinnvoll, wenn aus einer Riffstufe mehrere Alterswerte vorliegen. Dann ist der Mittelwert des oberen Quartils für eine geochronologische Einstufung wahrscheinlich zutreffender als die Verwendung von Mittelwerten auf der Grundlage aller vorliegenden ESR-Datie-

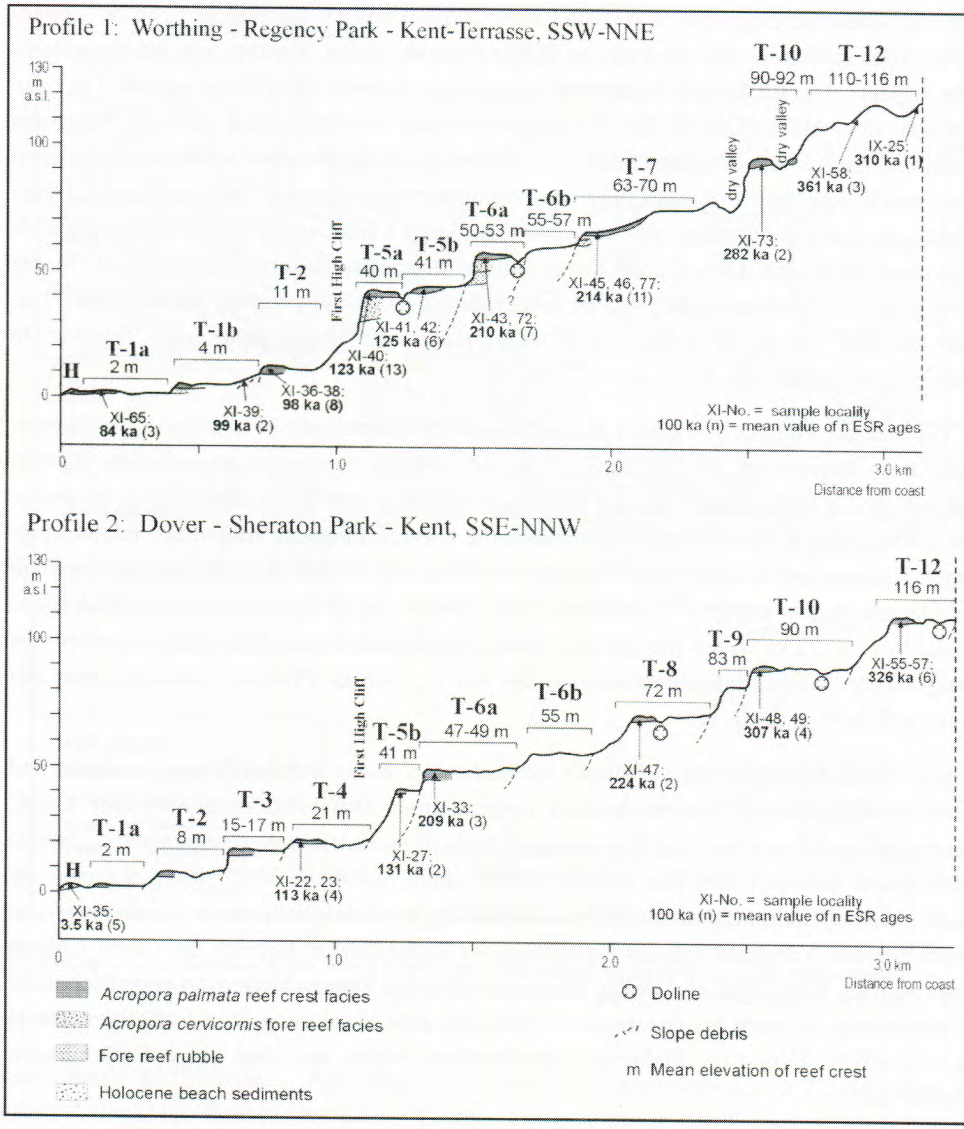

Abb. 5: Morphologisch-geologische Profile mit ESR-Altersdatierungen der Korallenriffterrassen im Süden von Barbados und zwar im Bereich und östlich der Christ Church Traverse. Die Lage der Profile ist in Abb. 4 dargestellt.

rungen. Denn, als Folge von Verwitterung und diagenetischen Prozessen kann die aragonitische Struktur der Korallen sukzessive zu Kalzit umgewandelt werden. Schon ESR-Datierungen an leicht rekristallisierten Korallenproben können zu jung ausfallen. Eine solche Altersunterbestimmung ist insbesondere bei der ESR-Datierung an Korallen aus älteren Terrassen der Fall, bei denen diagenetische Veränderungen und Umkristallisationen häufig weiter fortgeschritten sind, oder bei denen bereits stärkere Elektronen-Rekombinationen (s. o.) stattgefunden haben.

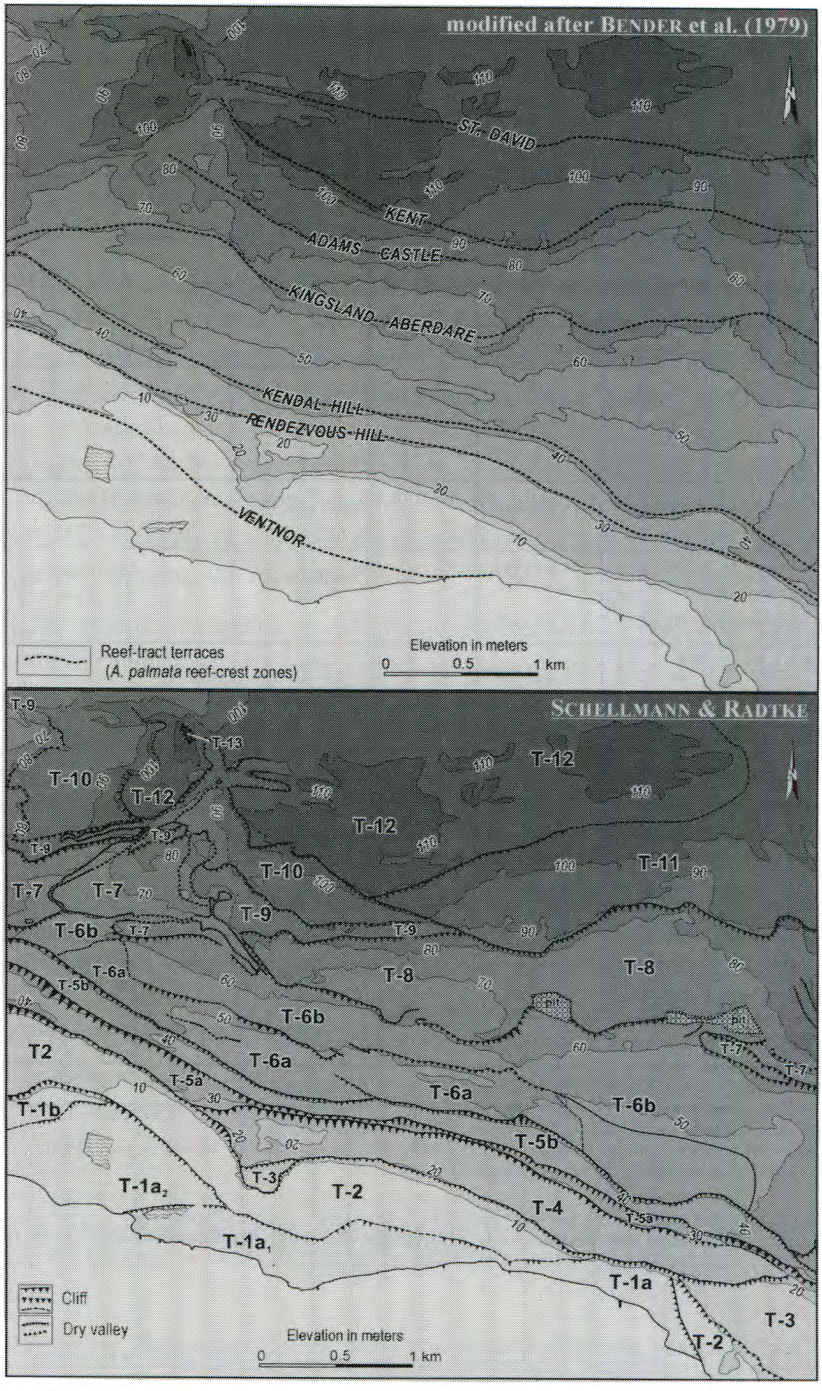

Abb. 6: **Verbreitung der Korallenriffterrassen im Bereich und östlich der Christ Church Traverse (Südküste von Barbados): oben nach BENDER et al. (1979), unten nach eigenen Aufnahmen**

Coral reef terraces T = Terrace	$^{18}O/^{16}O$-stage	Elevation of reef crest (Christ Church area)	Average ages (ky) (n = number of datings) ESR ages (mean of upper Quartile)	mass-sp. $^{230}Th/^{234}U$ ages	Reef terraces after BENDER et al. (1979) $^{230}Th/^{234}U$ ages (ky) after * (n = number of datings)
H (Holocene)	1	-1 m	3.5 (5)		Holocene
T-1a$_1$	5a	2 m	72 ± 6 (18)	73 ± 0 (1)	Worthing (1 - 4 m)
T-1a$_2$	5a	3 m	84 ± 8 (3)		
T-1b	5c-1	4 - 5 m	99 ± 11 (2)	102 ± 2 (1)	
T-2	5c-2	8 - 10 m	104 ± 11 (8)	108 ± 2 (1)	Ventnor (5 - 11 m) MS**** 101 ± 1 (1)
T-3	5c-3	15 - 17 m	102 ± 8 (43)	101 ± 2 (2)	
T-4	5e-1	21 - 23 m	117 ± 12 (5)		Maxwell*** AS*** 114 - 129 (7)
T-5a	5e-2	35 - 40 m	128 ± 11 (13)		Rendezvous Hill (35 - 39 m) AS*** 121 - 124 (3) MS** 122 - 126 (3) MS***** 129 (1)
T-5b	5e-3	40 - 43 m	133 ± 13 (15)		
T-6a	7-1	46 - 52 m	216 ± 25 (24)		Kendal Hill (47 - 52 m) MS***** 215 (1) AS* 154 - 310 (4)
T-6b	7-2	52 - 57 m	200 ± 22 (6)		
T-7	7-3	60 - 63 m	222 ± 25 (12)		Aberdare (65 - 70 m) AS* 215 - 230 (2)
T-8	7-4	72 - 74 m	226 ± 27 (13)		Kingsland (77 - 82 m) AS* 180 - 280 (5)
T-9	9-1	81 - 83 m	294 ± 39 (17)		
T-10	9-2	90 - 92 m	334 ± 37 (6)	264 ± 6 (1)	Adams Castle (90 - 94 m) AS* 180 - >320 (4)
T-11	9 or 11	99 -101 m			Kent, St. Davids (108 - 113 m) AS* >350 (1)
T-12	11	108 - 112 m	361 ± 46 (27)		
T-13	11	120 - 122 m	386 ± 46 (2)		Unnamed (120 - 122 m)

\+ MS = mass-spectr. $^{230}Th/^{234}U$-ages, AS = α-spectr. $^{230}Th/^{234}U$-ages.
Source: * BENDER et al. (1979), ** EDWARDS et al. (1987), *** KU et al. (1990), **** BARD et al. (1990), ***** BLANCHON & EISENHAUER (2001)

Tab. 1: Revision der Terminologie, Höhenlage und Alter der Korallenriffterrassen im Süden von Barbados

Eine Mittelwert-Berechnung beschränkt auf das obere Quartil aller Alterswerte in einem Probenkollektiv ermöglicht letztlich eine stärkere Gewichtung der ältesten Alter, da sie wahrscheinlich am geringsten von solchen Altersverjüngungen betroffen sind.

Wie in Tabelle 1 zusammengestellt, entsprechen die jüngstens vier T-1a bis T-3 Riffterrassen annähernd den beiden bisher bekannten „Worthing“ und „Ventnor“ Stufen. Dabei besteht die jüngste T-1a Terrasse geochronologisch aus wahrscheinlich zwei unterschiedlich alten Riffkörpern: (1) der näher zur heutigen Küste sich erstreckenden (Abb. 6) und nur etwa 72 ka alte T-1a$_1$ Terrasse und (2) der in ähnlicher Höhenlage über dem heutigen Meeresspiegel gelegenen etwa 85 ka alte T-1a$_2$ Riffstufe. Zuvor, im Zeitraum zwischen ca. 100 – 110 ka, entstanden die drei Riffkörper der T-1b bis T-3 Riffterrassen.

Die T-4 Terrasse entspricht der von KU et al. (1990) beschriebenen Maxwell – Terrasse. Nach BLANCHON & EISENHAUER (2000) soll sie eine submarine Vorriffterrasse sein, die während des letztinterglazialen Transgressionsmaximums vor ca. 129 ka entstand. Tatsächlich ist sie aber die jüngste von drei biokonstruktiven Riffterrassen, die alle während des maximalen letztinterglazialen Meeresspiegel-Hochstandes entstanden. Dabei bildete sich die T-4 vor etwa 117 ka bei einem bereits einige Meter tiefer als heute gelegenen Meeresspiegel (Tab. 2). Die beiden älteren T-5a und T-5b Korallenriffe datieren dagegen auf etwa 128 ka bzw. 133 ka (Tab. 1) und bildeten sich während des höchsten letztinterglazialen Meeresniveaus (Tab. 2).

Aus dem vorletzt-interglazialen Meeresspiegel-Hochstand vor etwa 200 – 226 ka stammen die im Südbereich der Insel Barbados heute in 46 – 74 m Höhe über Meer erhaltenen vier T-6a bis T-8 Korallenriffterrassen. Die beiden jüngeren T-6a und T-6b Riffterrassen entsprechen weitgehend der „Kendal Hill“ - Terrasse. Dagegen sind in der „Aberdare – Kingsland“ - Stufe Korallenriffe aus unterschiedlichen Interglazialen zusammengefaßt und zwar die ca. 222 ka bzw. ca 226 ka alten T-7 und T-8 Riffstufen sowie die ca. 294 ka alte T-9 Riffterrasse.

Eine Korrelation der älteren mittelpleistozänen Korallenriffterrassen ist eigentlich nur über die reduzierte Betrachtung ihrer heutigen Höhenlagen möglich. Bei Berücksichtigung ihrer räumlichen Verbreitung bestehen zwischen den Kartierungen zum Teil gravierende Unterschiede (Abb. 6). Von der Höhenlage her entspricht die „Adams Castle“ Stufe weitgehend der T-10. Die T-11 Terrasse wurde zuvor nicht auskartiert. Die im Südbereich am höchsten gelegenen „Kent“ bzw. „St. Davids“ Stufen sowie das sog. „Unnamed“ Niveau werden in der revidierten Gliederung als T-12 bis T-13 bezeichnet (Tab. 1).

6. SCHLUSSFOLGERUNGEN FÜR DIE REKONSTRUKTION VON MEERESSPIEGELHÖHEN WÄHREND WARMZEITLICHER HOCHSTÄNDE IN DEN LETZTEN 400.000 JAHREN

In dem klassischen „Barbados-Modell“ wird von allen Bearbeitern postuliert, daß im letzten Interglazial vor etwa 130 ka (Sauerstoff-Isotopenstufe 5e) der Meeresspiegel 6 ± 5 m höher war als heute (RADTKE 1989). Während nachfolgender Submaxima vor ca. 80 ka

(Sauerstoff-Isotopenstufe 5a) und vor ca. 100 ka (Sauerstoff-Isotopenstufe 5c) soll er dann um 10 – 20 m unter dem heutigen Meeresniveau geschwankt haben. Diese Paläomeeresspiegelberechnungen gehen von zwei Grundannahmen aus und zwar:

(1) von einer kontinuierlichen Hebungsrate der Küstenterrassen und
(2) von einer Höhenlage des letztinterglazialen Meeresspiegelhochstandes bei +6 m ±5 m.

Generell ist natürlich die Annahme kontinuierlicher Hebungsraten a priori sehr kritisch zu betrachten, aber nur mit dieser Hilfskonstruktion ist es überhaupt möglich entsprechende Abschätzungen vorzunehmen.

Wie bereits ausgeführt, ist Barbados eine Typusregion für derartige Berechnungen von Paläomeeresspiegeln. Da sich die Riffstufen des letztinterglazialen Transgressionsmaximums (5e) auf Barbados aktuell in Höhenlagen zwischen ca. 20 m bis 50 m befinden, war es schon frühzeitig klar, daß von einer zumindest räumlich differenzierten Neotektonik ausgegangen werden muß. Prekär ist, daß die Riffterrassen im Bereich einer der Standardtraversen, die maßgeblich für solche Berechnungen im Südbereich der Insel verwendet wurde gemeint ist die „Christ Church Traverse", unterschiedlich antiklinal aufgewölbt sind, und damit am wenigsten für solche Meeresspiegelberechnungen benutzt werden sollten. Erst östlich der Traverse sind die dort erhaltenen Riffterrassen von dieser Aufwölbung nicht mehr betroffen und besitzen bis etwa zur Linie International Airport – South Point annähernd eine Höhenkonstanz, was die Lage ihrer Riffkronenareale über dem heutigen Meeresspiegel angeht. Von daher dürfte für dieses Gebiet eine kontinuierliche Hebung noch am wahrscheinlichsten sein. Das östlich des Flughafens gelegene Gebiet ist dann erneut nicht für die Berechnung von Paläo-Meeresspiegelhöhen geeignet. Dieser Raum besitzt eine differenzierte neotektonische Hebungsgeschichte und zwar in der Weise, daß vor allem die Oberflächen einzelner älterer Riffterrassen in Richtung St. George Valley-Synklinale (Abb. 2) abtauchen.

In Tabelle 2 sind für das Gebiet östlich der Christ Church Traverse und westlich des Flughafens Berechnungen von Paläo-Meeresspiegelhöhen unter Annahme verschieden hoher Lagen des letztinterglazialen Meeresspiegelhochstandes und zwar bei +6 m, +2 m und im Bereich des heutigen Meeresniveaus zusammengestellt. Aufgrund ähnlicher Sauerstoff-Isotopengehalte in Foraminiferenschalen der Tiefsee kann man davon ausgehen, daß auch in den vorhergehenden mittelpleistozänen Interglazialen der Meeresspiegel während der Transgressionsmaxima ähnlich hoch wie im Holozän und in der letzten Warmzeit war. Dieser Befund ist in den Resultaten der modellierten Meeresspiegellagen nur wiederzufinden, wenn man voraussetzt, daß der letztinterglaziale Meeresspiegel im heutigen Niveau oder maximal 2 m höher war (Tab. 2). Die Annahme einer im letzten Interglazial um 6 m höheren Lage des Meeresspiegels, wie sie wohl am häufigsten geäußert wird, würde für das dritt- und viertletzte Interglazial extrem hohe Meeresspiegelmaxima von 17 m bzw. über 20 m verlangen.

Period	Terrace	Elevation	Age	$^{18}O/^{16}O$-	Sea level (0)	Sea level (+2)	Sea level (+6)
		m	ka	stage	m	m	m
Last Interglacial	T-1a$_1$	2	72	5a	-19	-18	-16
	T-1a$_2$	3	85	5a	-22	-21	-18
	T-1b	4	99	5c-1	-25	-24	-21
	T-2	9	104	5c-2	-21	-20	-17
	T-3	16	102	5c-3	-14	-12	-9
	T-4	22	117	5e-1	-12	-11	-7
	T-5a	36	128	5e-2	-2	0	4
	T-5b	39	133	5e-3	0	**2**	**6**
Penultimate Interglacial	T-6a	46	216	7-1	-17	-14	-8
	T-6b	52	200	7-2	-7	-4	2
	T-7	60	222	7-3	-5	-2	5
	T-8	73	226	7-4	7	10	17
3rd Interglacial	T-9	82	294	9-1	-4	0	9
	T-10	91	334	9-2	-7	-2	8
	T-11	100	-	9 or 11			
4th Interglacial	T-12	110	361	11	4	10	20
	T-13	120	386	11	7	13	24

* sea level (m) = Last Interglacial sea level in meter used for estimations

Tab. 2: Warmzeitliche Paläo-Meeresspiegelhöhen der letzten 400 ka berechnet auf der Grundlage der Korallenriffstufen im Süden von Barbados

Insgesamt ergibt sich das Bild eines in den letzten 400 ka sehr viel stärker oszillierenden Meeresspiegels, wie es bisher in dieser Eindeutigkeit selbst von den Sauerstoff-Isotopenkurven der Tiefsee unbekannt war. So sind im südlichen Inselbereich von Barbados von den beiden letzten warmzeitlichen Meeresspiegel-Hochständen nicht nur mehrere Submaxima mit einer Lage des Meeresspiegels um mehr als 10 m bis 25 m unter dem heutigen Niveau erhalten (Tab. 2: die Submaxima 5a$_1$ und 5a$_2$, 5c-1, 5c-2, 5c-3, 7-1), auch der beginnende Meeresspiegelabfall von den relativ kurzen, wahrscheinlich nur wenige Jahrtausende andauernden letzt- und vorletztinterglazialen Transgressionsmaxima (Tab. 2: 5e-3 und 7-4) ist noch im Bau eigenständiger Korallensaumriffe dokumentiert (Tab. 2: 5e-2, 5e-1, 7-1, 7-2, 7-3). Bei dem von KU et al. (1990) für das letzte Interglazial auf Barbados postulierten doppelten Hochstand, der morphologisch in den Riffstufen der T-5a (die „Rendezvous Hill Terrace" nach KU et al. 1990) und T-4 (die „Maxwell Terrace" nach KU et al. 1990) erhalten sei, handelt es sich in beiden Fällen um zwei jüngere Stillstandsphasen während der bereits eingesetzten Meeresregression nach Erreichen des Transgressionsmaximums und nach Ausbildung des T-5b Riffes.

Trotz überaus detaillierter Morphostratigraphie scheitern exakte Aussagen mit einer zeitlichen Auflösung von wenigen Jahrhunderten, was den Zeitpunkt und die Dauer der in den zahlreichen Riffstufen erhaltenen Veränderungen des Paläomeeresspiegels angeht,

immer noch an der unzureichenden Auflösung der zur Verfügung stehenden Datierungsmethoden. Selbst bei den letztinterglazialen Haupt- und Unterstufen ist die vorhandene morphostratigraphische Feingliederung altersmäßig nicht immer nachvollziehbar. Vor allem das offene Problem der Erkennung von schwachen diagenetischen Veränderungen und einhergehenden Uran-/Thorium-Migrationen an den für Datierungen benutzten Korallenproben schränkt das Potential insbesondere das der Th/U-Altersbestimmungen stark ein, teilweise aber auch das der ESR-Datierungen. Zwar konnten wir über ein ESR screening der Proben und den dadurch möglichen Nachweis von Mn^{2+}-Linien, die bei der Umkristallisation von Aragonit zu Kalzit als paramagnetische Zentren freigesetzt werden, ein weiteres Hilfsmittel zur Erkennung schwacher diagenetischer Veränderungen mit relativ guten Erfolgen einsetzen, aber Uran- und andere Element-Migrationen können dadurch nicht erkannt werden. Das tatsächliche Datierungspotential der ESR- und Th/U-Methode bleibt also weiterhin offen.

DANK

Besonderen Dank gebührt der Deutschen Forschungsgemeinschaft, ohne deren großzügigen finanziellen Unterstützungen (Projekt Ra 383/6-1, 6-2 und 6-3) unsere Arbeiten auf Barbados und im Labor der Universität zu Köln nicht in diesem Umfange möglich gewesen wären. Frau Dipl.-Ing. Gudrun REICHERT (Geographisches Institut, Universität Essen) danken wir sehr für die digitale Erstellung einzelner Abbildungen.

LITERATUR

BARD, E., HAMELIN, B. & FAIRBANKS, R. G. (1990): U-Th-ages obtained by mass spectrometry in corals from Barbados: sea-level during the past 130,000 years. – Nature, 346: 456-458; London.

BARD, E., FAIRBANKS, R. G., & HAMELIN, B. (1992): How accurate are the U-Th ages obtained by mass spectrometry on coral terraces. – In: KUKLA, B. J. & WENT, E. (eds.): Start of a Glacial: 15-22; Berlin (Springer Verlag).

BENDER, M. L., TAYLOR, F. W., MATTHEWS, R. K., GODDARD, J. G. & BROECKER, W. S (1979): Uranium-series dating of the Pleistocene reefs tracts of Barbados, West Indies. – Quaternary Research, 9: 139-167; New York.

BIRD, J. B., RICHARDS, A. & WONG, P. P. (1979): Coastal subsystems of Western Barbados, West Indies. – Geografiska Annaler, 61A (3-4): 221-236.

BLANCHON, P. & EISENHAUER, A. (2001): Multi-stage reef development on Barbados during the Last Interglacial. – Quaternary Science Reviews, 20: 1093-1112; Amsterdam.

BROECKER, W. S, THURBER, D. L., GODDARD, J., KU., T. L., MATTHEWS, K. L. & MESOLELLA, K. J. (1968): Milankovitch Hypothesis supported by Precise Dating of coral reefs and Deep-Sea sediments. – Science, 159: 297-300; Washington.

EDWARDS, R. L., CHENG, J. H., MURRELL, M. T. & GOLDSTEIN, S. J. (1997): Protactinium –231 Dating of Carbonates by Thermal Ionization Mass Spectrometry: Implications for Quaternary Climate Change. – Science, 276: 782-786.

EDWARDS, R. L., CHEN, J. H., KU, T. U. & WASSERBURG, G. J. (1987): Precise Timing of the Last Interglacial Period form Mass Spectrometric Determination of Thorium-230 in Corals. – Science, 236; 1547-1553; Washington.

GEISTER, J. (1983): Holozäne westindische Korallenriffe: Geomorphologie, Ökologie und Fazies. – Facies, 9: 173-284; Erlangen.

KU, T. L., IVANOVICH, M. & LUO, S. (1990): U-series dating of last interglacial high sea stands: Barbados revisited. – Quaternary Research, 33: 129-147.

MACDONALD, R., HAWKESWORTH, C. J. & HEATH, E. (2000): The Lesser Antilles volcanic chain: a study in arc magmatism. – Earth Science Reviews, 49: 1-76.

MARTIN-KAYE, R. H. A. (1969): A summary of the Geology of the Lesser Antilles. – Overseas Geology and Mineral Resources, 10 (2).

MC LEAN, R. F. (1967): Origin and development of ridge furrow systems in beach rock in Barbados, West Indies. – Marine Geology, 5 (3): 181-193.

MESOLELLA, K. J. (1968): The uplifted reefs of Barbados: Physical stratigraphy, facies relationship and absolute chronology. – Diss., Brown Univ., Part 1 & 2; Philadelphia.

MESOLELLA, K. J., MATTHEWS, R. K., BROECKER, W. S. & THURBER, D. L. (1969): The astronomical theory of climatic change: Barbados data. – Journal of Geology, 77: 250-274; Chicago.

RADTKE, U. (1989): Marine Terrassen und Korallenriffe - Das Problem der quartären Meeresspiegelschwankungen erläutert an Fallstudien aus Chile, Argentinien und Barbados. – Düsseldorfer Geographische Schr., 27: 245 S.; Düsseldorf.

RADTKE, U. & GRÜN, R. (1990): Revised reconstruction of middle and late Pleistocene sea-level changes based on new chronologic and morphologic investigations in Barbados, West Indies. – Journal of Coastal Research, 6 (3): 699-708.

SCHELLMANN, G. & RADTKE, U. (2001): Progress in ESR dating of Young and Middle Quaternary corals – a new approach of D_E determination. – Quaternary Science Reviews, 20: 1015-1020.

SMITH, A. L. & ROBOOL, M. J. (1990): A study of an Active-Island-Arc Volcano. – Geological Society of America, Memoir 175; Boulder.

TAYLOR, F. W. & MANN, P. (1991): Late Quaternary folding of coral reef terraces, Barbados. – Geology, 19: 103-106.

WEYL, R. (1966): Geologie der Antillen. – Beiträge zur regionalen Geologie der Erde; Berlin.

ADRESSEN DER AUTOREN:

Prof. Dr. Gerhard SCHELLMANN
Universität Bamberg
Lehrstuhl Geographie II
Am Kranen 1
D – 96045 Bamberg
e-mail: gerhard.schellmann@ggeo.uni-bamberg.de

Prof. Dr. Ulrich RADTKE
Universität zu Köln
Geographisches Institut
Albertus-Magnus-Platz
D – 50923 Köln
e-mail: u.radtke@uni-koeln.de