

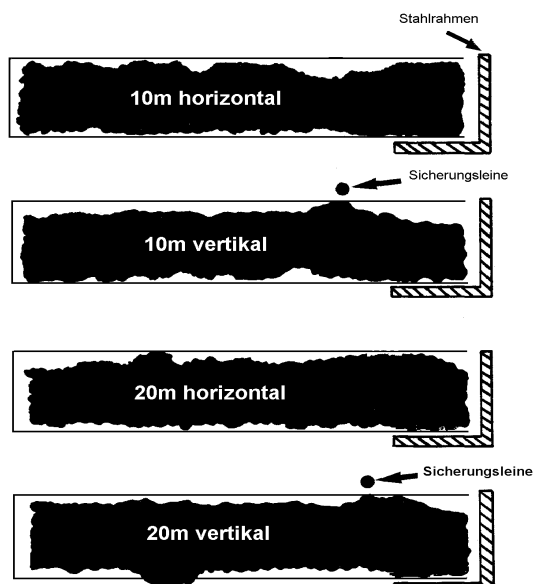
4.5. Bioerosion von Korallenskelettsubstraten durch Fische

Das Weidetätigkeit als Verhalten umfaßt nicht nur die bereits beschriebenen Aspekte der Steuerung von Neuansiedlungen benthischer Organismen, sondern leistet auch einen elementaren Beitrag zur Bioerosion und damit zur biogenen Gestaltung der Riffhabitate (KIENE & HUTCHINGS 1994). Bioerosion als antagonistischer Prozeß zum Aufbau von Gerüstwerk bedingt letztlich die Dynamik von Karbonatsubstraten und damit auch die der darauf siedelnden Lebensgemeinschaften (vgl. DAVIES & HUTCHINGS 1983; GLYNN 1996).

Obwohl eine Vielzahl von Bioerodierern dem Ernährungsformtyp des Weidegängers zugerechnet werden kann, galt die Aufmerksamkeit bislang vornehmlich „klassischen“ Erodierern wie Seeigeln und Papageifischen (z. B. OGDEN 1977; BAK 1990; GLYNN 1988, 1990). Wie bereits auf der Grundlage der Videoaufzeichnungen ausgeführt wurde, können auch die substratabbürstenden Weidegänger wie Doktorfische (Acanthuridae) und Demoisellen (Pomacentridae) in der Summe einen beachtlichen Beitrag zur Bioerosion liefern und damit das Karbonatbudget eines Riffes beeinflussen (vgl. BAK 1994).

4.5.1. Material

Die Platten aus dem Skelett der Steinkoralle *Favia fava* repräsentierten im Rahmen der Wiederbesiedlungsversuche den biogenen Substrattyp, der beispielhaft die Entwicklung natürlicher Riffflächen mit fortschreitender Expositionszeit belegen sollte. Besonders diese Platten zeigten deutliche Spuren von Bioerosion.



Die Graphik zeigt exemplarisch einen Querschnitt durch 4 halbe Platten, die 2 Jahre exponiert waren. Die Wirkung weidender Fische wird unterhalb von Sicherungseilen, die ein Herausfallen der Vertikalen Platten verhindern sollten besonders deutlich. Diese Bereiche wiesen deutlich geringere Bioerosionsraten auf, als die restlichen Bereiche der selben Platte (vgl. Abb. 61).

Abbildung 61: Querschnitt durch vier Plattenhälften nach 2 Jahren Expositionszeit. Die dünnen Linien markieren die ursprüngliche Materialstärke.

Aus 10 und 20 m Wassertiefe wurde jeweils ein Satz an Substratplatten (30 x 30 cm) mit 1,5, 2 und 3,5 jähriger Expositionszeit vermessen. Jeder Satz bestand aus einer horizontal (H) und einer vertikal (V) exponierten Platte.

Für jede Platte wurde der Abtrag von der dem Licht zugewandten Seite als auch von der beschatteten Seite gemessen. Da die Platten aus technischen Gründen aus zwei Teilen á 30x15 cm zusammengesetzt waren, diente die separate Messung der Teile der methodischen Kontrolle. Zur Messmethodik siehe Kapitel 2.3.2.

Die Abtragsraten jeder einzelnen Platte wurden durch den Mann-Whitney U - Wilcoxon Rank Sum W Test auf Gleichheit hin überprüft (vgl. Abb. 62).

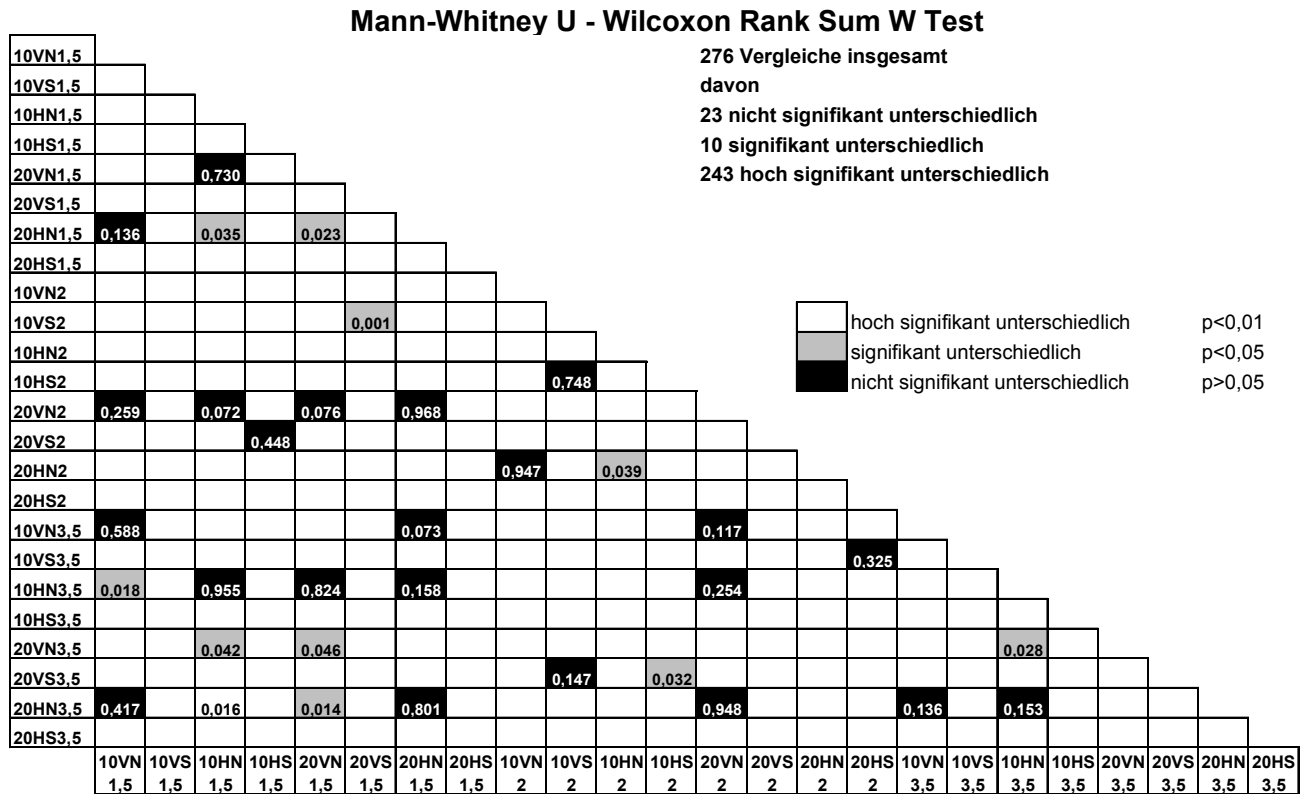


Abbildung 62: Matrix der Analyse auf Gleichheit nach dem Mann-Whitney U-Wilcoxon Rank Sum W-Test. Verglichen wurden die Abtragswerte aller Platten miteinander. Signifikanzwerte > 0,01 sind als Zahlenwert dargestellt.

Von 276 Vergleichen waren 243 hoch signifikant (p<0,01) und 10 signifikant unterschiedlich.

Die Datensätze von 23 Paarungen zeigten keine signifikanten Unterschiede. Auffällig war, dass es sich mit drei Ausnahmen jeweils um Vergleiche von Datensätzen von beschatteten Plattenseiten handelt. Die biogenen Abträge von den beschatteten Seiten waren, wie noch zu sehen sein wird, immer deutlich geringer als von den belichteten Seiten. Zudem siedelten deutlich mehr Aufwuchsorganismen auf den N Seiten, so daß der Abtrag zum Teil durch die Kalkgehäuse der Organismen wieder maskiert wurde. (Zur Berechnung des Abtrags siehe Kap. 2.3.2).

Zusammenfassend deuten die Befunde an, dass die beschatteten Seiten geringere Unterschiede der Bioerosionsraten aufwiesen, als die belichteten Seiten der

Korallensubstrate. Diese Unterschiede zeigten sich durchgehend, sowohl für beide untersuchten Tiefenstufen, wie für die verschiedenen Expositionszeiten.

4.5.2 Bioerosion von Korallenskelettsubstraten durch Fische

Die Bioerosion der Versuchssubstrate variierte je nach Ausrichtung (horizontal (H) bzw. vertikal (V)) und Exposition zum Licht (Norden (N) bzw. Süden (S)). Zudem zeigten sich Unterschiede in der Entwicklung der Bioerosion auf den betrachteten Tiefenstufen von 10 und 20 m Wassertiefe.

Abbildung 63 zeigt die gemessenen Abträge jeweils für beide Plattenhälften getrennt. Die Hälften zeigten weitgehend übereinstimmende Muster und werden daher im Folgenden gemeinsam betrachtet.

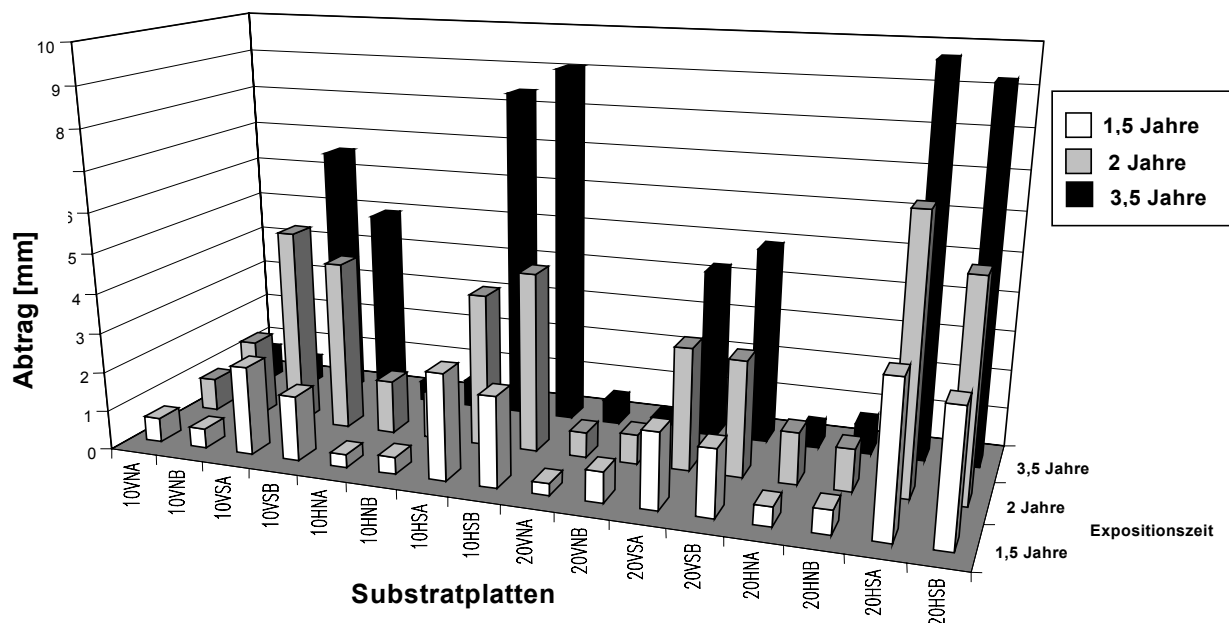


Abbildung 63: Materialabtrag von den Korallensubstratplatten in mm. Dargestellt sind die Messwerte nach 1,5, 2, und 3,5 Jahren Expositionszeit.

Die dem Licht zugewandten Oberflächen der Platten (S) waren durchgehend stärker erodiert als die dem Licht abgewandten Seiten (N), dieses Muster war unabhängig von der Expositionsdauer deutlich. Das größere Lichtangebot auf der Oberfläche der belichteten Plattenseiten (S) begünstigt die Produktivität der epilithischen und endolithischen Algen, so dass die Attraktivität für Weidegänger entsprechend steigt (vgl. GOLUBIC et al. 1975; RADTKE 1993; VOGEL et al. 1995).

Mit Ausnahme des Plattensatzes mit 2 jähriger Expositionszeit (10VS) und (10HS) war der Abtrag von den horizontalen Flächen (H) durchweg höher als von den vertikalen (V).

Die dem Licht abgewandten Flächen der horizontal exponierten Platten (HN) wiesen bei allen zeitlichen Stichproben den geringsten Abtrag auf.

Der Materialabtrag von dem Licht zugewandten Seiten (HS und VS) nahm mit der Expositionszeit zu (Abb. 64).

Die HN- und VN- Platten zeigten, wenn gleich auf niedrigeren Niveau, eine Zunahme des Materialabtrags bis zu einer Expositionsdauer von 2 Jahren. Die 3,5 jährigen Exponate zeigten jedoch einen geringeren Abtrag als die nur für zwei Jahre exponierten Platten. Ursache für diesen zunächst widersprüchlich erscheinenden Befund sind Aufwuchsorganismen, die nach zwei Jahren verstärkt speziell die beschatteten Flächen der Korallenplatten besiedeln. Neben Bryozoen siedelten besonders Bivalvia der Gattung *Spondylus* auf den Platten. Diese biogenen Strukturen wurden durch die Messung mit erfasst und gehen als „Abtrag 0“ in die Berechnung des durchschnittlichen Nettoabtrags mit ein (vgl. Kap. 2.3.2). Für beschattete Flächen in der betreffenden Orientierung (N) lag der biogene Abtrag nur unwesentlich über der biogenen Mineralakkretion.

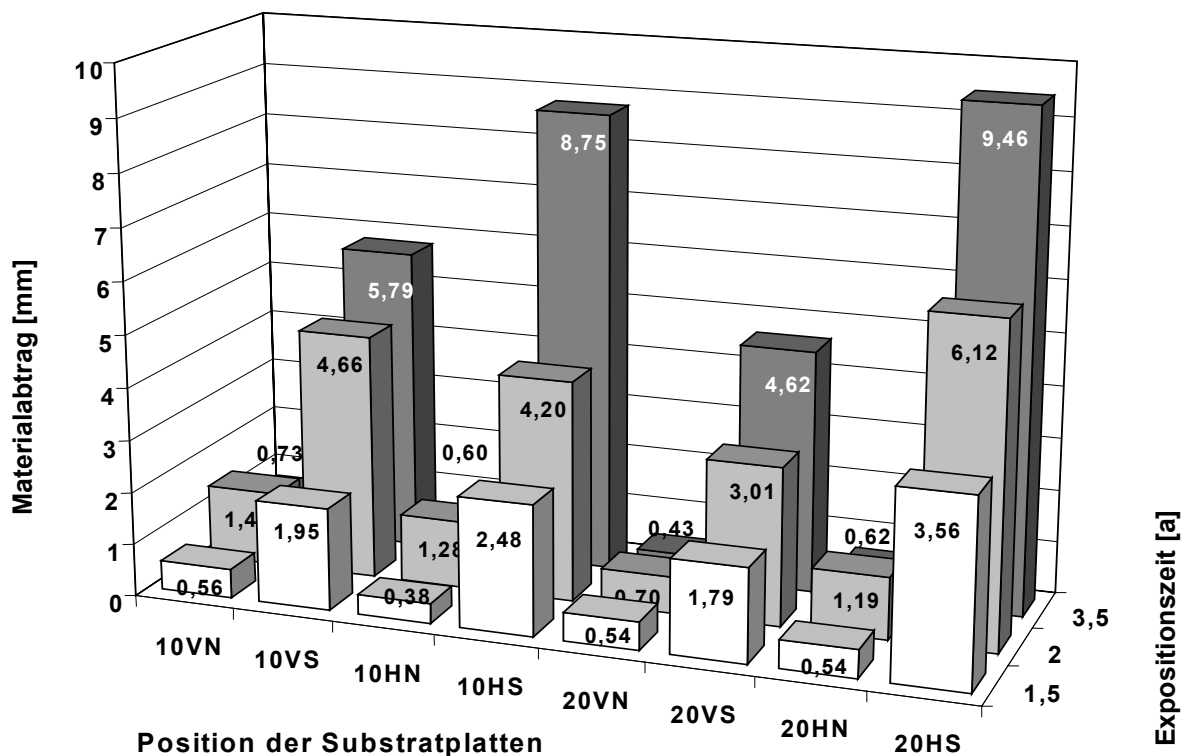


Abbildung 64: Materialabtrag in mm durch Fische über die Expositionszeit.

Maxima und Minima

Die höchsten Abtragsraten wurden auf in den horizontal exponierten Platten aus 20 m Tiefe gemessen (20HS). Innerhalb von 3,5 Jahren wurden von der belichteten Seite (S) durchschnittlich 9,46 mm des Korallenskelettes erodiert.

Der Abtrag von den vertikalen Flächen der gleichen Tiefenstufe war nur etwa halb so groß (Mittelwert Δ 20VS = 4,62mm). Der Vergleich des Abtrags von HS und VS in 20 m Tiefe zeigt, daß das Verhältnis zu allen Entnahmetermen in etwa 2:1 entspricht. Die beschatteten Flächen wurden nur gering erodiert (max. 1,19 mm). HN und VN zeigten keine nennenswerte Unterschiede.

Auch in 10m Tiefe wurde von den HS Platten die größte Materialmenge abgetragen (Mittelwert Δ für 10HS innerhalb von 3,5 Jahren = 8,75 mm). Der Vergleich von HS und VS ergibt jedoch ein Verhältnis von etwa 3:2 (8,75 mm zu 5,79 mm). Dieses Verhältnis verschob sich bei den nach zwei Jahren entnommenen Platten sogar zugunsten der vertikal exponierten (V) Proben, die einen höheren Abtrag aufwiesen als die horizontal ausgerichteten Pendants (H).

Nach 3,5 Jahren wurden für alle N Proben ähnliche Werte im Bereich von 0,73 bis 0,43mm ermittelt. Deutliche Unterschiede der beschatteten Proben (N) zwischen 10 und 20 m waren nicht erkennbar.

Die Unterschiede zwischen S und N waren bei allen Paarungen ausgeprägt. Von 20HS wurde innerhalb von 3,5 Jahren 15 mal mehr Material erodiert als von 20HN. Die entsprechenden Proben aus 10 m Tiefe (10HS und 10 HN) zeigten das gleiche Muster (14 :1).

Der Abtrag von den vertikalen Flächen war generell geringer und die Unterschiede zwischen S und N weniger deutlich. Nach 3,5 Jahren entsprach der Abtrag von 20VS und 20VN bzw. 10VS und 10VN dem Verhältnis von 10 : 1.

Die Bioerosion der angebotenen Substratplatten läßt sich möglicherweise als Funktion der PAR fassen. Das eingestrahlte Licht reguliert die Produktivität der epi- und endolithischen Primärproduzenten und die daraus resultierende Attraktivität für herbivore Weidegänger. Unter Annahme einer aktiven, d.h. nicht zufälligen Nahrungssuche ("*active foraging*" sensu BRUGGEMANN 1994) der Herbivoren ist zu erwarten, dass die Weideintensität und damit die Bioerosion die Aufstellung einer Rangfolge der unterschiedlichen Plattenorientierungen erlaubt.

Unter dieser Annahme ergäbe sich die aufsteigende Rangfolge:

20HN < 10HN < 20VN < 10VN < 20VS < 10VS < 20HS < 10HS

Die Rangfolge der gemessenen Bioerosion stellt sich dar als:

20VN < 10HN < 20HN < 10VN < 20VS < 10VS < 10HS < 20HS

Die gemessenen Erosionsraten folgen zum Teil der Annahme. Allerdings integriert die Messung trotz der Verwendung von „Nettowerten“ bis zu einem gewissen Grad die Mineralakkretion. Die gemessenen Werte beschreiben *sensu strictu* den resultierenden Materialabtrag abzüglich der Biomineralisation. Biomineralisation > Bioerosion geht mit dem Abtragswert 0 in die Rechnung ein, auch wenn der gemessene Wert negativ war

(Bruttowerte). Die Auflösung dieser simultanen gegenläufigen Prozesse war mit der verwendeten Versuchsanordnung nicht möglich. Diese Effekte wirken sich besonders bei der Messung von Platten aus, die geringem Weidedruck ausgesetzt waren und kalzifizierenden Organismen genügend große Zeitfenster boten, sich anzusiedeln und zur Mineralakkretion beizutragen (vgl. Kap. 4.4). Die Streuung der Werte war bei diesen Platten entsprechend hoch. Die Abweichende Reihenfolge von 20VN und 20HN läßt sich so erklären. Die abweichende Reihenfolge von 10HS und 20 HS wird durch diesen Ansatz nicht erklärt.

Anhand der ermittelten Ergebnisse lassen sich folgende Hypothesen über Wirkfaktoren, die den Weidedruck auf die Substrate determinieren ableiten:

- Weil Substratplatten aus 10 m Tiefe einer höheren PAR ausgesetzt als Platten aus 20 m Tiefe steigt die Produktivität der epi- und endolithischen Algen und damit das Nahrungsangebot für Weidegänger und damit potentiell auch die Bioerosion durch weidende Organismen.
- Gleiches sollte in Bezug auf Unterschiede durch horizontale (H) b.z.w. vertikale (V) Orientierung zutreffen.
- Weil PAR auf VN größer ist als PAR auf HN sollte die Erosion an VN- Platten größer sein als bei HN- Platten.
- HN- Orientierungen sollten die geringsten Abträge aufweisen da hier zusätzlich zum "Wirkfaktor Licht" die Kieformorphologie eine Rolle spielen kann.

Während der Kontrolltauchgänge in der Nähe der Versuchsanlagen wurden nie Acanthuridae beobachtet, die „über Kopf“ weideten. Inwieweit es sich hierbei um ein ethologisches Muster oder lediglich um die Folge des unterschiedlichen Nahrungsangebots handelt, bleibt Spekulation. Möglicherweise läßt Ihre Kieformorphologie mit endständigem bzw. eher unterständigem Maul die Überkopfbeweidung auch nur bedingt zu. Praktisch alle Arten der häufigsten Weidegänger unter den Fischen (*Scarus fuscopurpureus*, *S. niger*, *Ctenochaetus striatus*, *Acanthurus nigrofuscus*) verfügen über ein unterständiges Maul.

Die Ergebnisse der Messungen der N- Platten entsprachen in Bezug auf die Hierarchie zwar nicht völlig den skizzierten Hypothesen von *active foraging* bzw. morphologischen Zwängen, indizierten aber auch keine deutlich abweichenden Mechanismen (vgl. MONTGOMERY et al. 1989). Die Hierarchie der Messwerte für die S- Platten folgt für die Orientierung V dem Modell, entgegen der Annahme wurde jedoch von der 20HS Oberfläche mehr Material abgetragen als von 10HS (vgl. OHLHORST & LIDDLE 1988). Die geringeren Unterschiede im Abtrag beim Vergleich von VN und VS mit HN und HS können als Hinweis auf die höhere Verfügbarkeit von Streulicht auf den VN Platten als auf den HN- Platten gewertet werden. Die Differenzierung der Steuerfaktoren „Kieformorphologie“ und PAR kann ohne weitere Versuche nicht aufgelöst werden.

4.5.3 Hochrechnung des Materialabtrags durch Fische auf die Verhältnisse im Untersuchungsgebiet

Der Einfluß weidender Fische auf den Karbonatumsatz innerhalb des Untersuchungsgebietes kann anhand einer Hochrechnung der gemessenen Bioerosionsraten veranschaulicht werden. Zur Abschätzung des Weidedrucks auf die natürlichen Riffe im Untersuchungsgebiet wurden die gemessenen Werte unter Berücksichtigung folgender standortspezifischer Bedingungen im betreffenden Gebiet umgerechnet: Die Berechnung geht von 40 % beweidbarer Oberfläche aus, entsprechend dem Anteil an „unbesiedelter Rifffläche“ (vgl. MERGNER & SCHUHMACHER 1981, KROLL 1990). Die Streckung des dreidimensionalen Riffprofils in eine Ebene resultiert in einer Verdoppelung der Oberfläche, und 80 % dieser Fläche sind für Fische zugänglich (vgl. VAN TREECK et al. 1996). Aus diesen Annahmen ergibt sich ein Korrekturfaktor von 0,64 mit dem die gemessenen Erosionsraten der Versuchsubstrate multipliziert wurden.

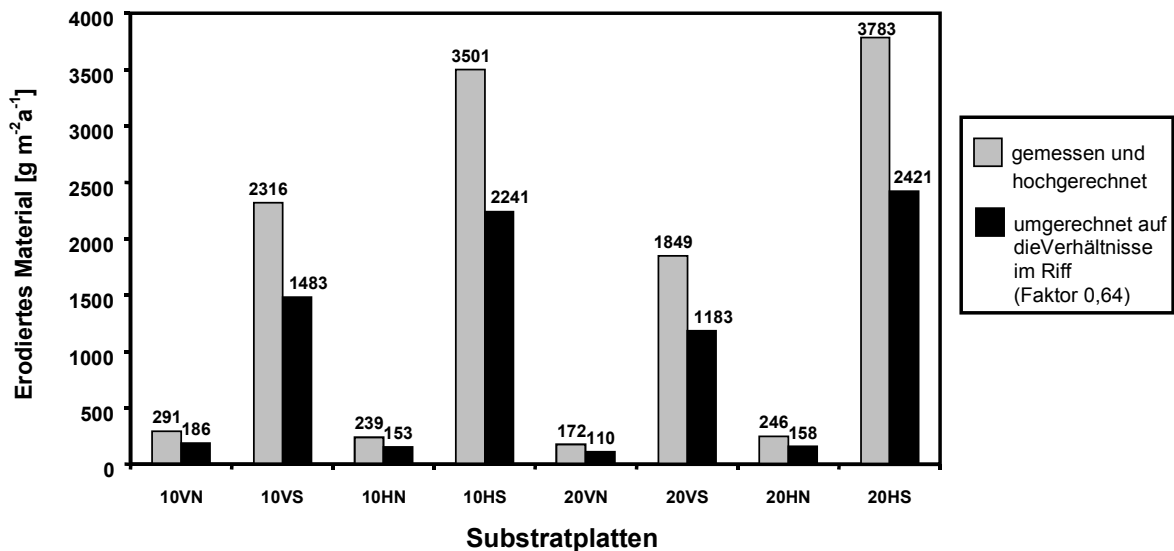


Abbildung 65: Hochgerechnete Bioerosionsraten durch Fische auf der Basis von 3.5 jährigen Nettowerten.

Die folgenden Überlegungen berücksichtigen ausschließlich die S-Werte. Entsprechend der Hochrechnung würden von einem m² des verwendeten Substrattyps innerhalb eines Jahres in 10 m Tiefe etwa 3,5 kg, in 20 m Tiefe fast 4 kg Karbonatmaterial durch Fische erodiert. Die vertikal orientierten Substrate unterliegen geringerer Erosion, zeigen aber immer noch Abtragsraten, die die Gesamtwerte von KROLL für die Bioerosion durch Seeigel der Gattung *Diadema* erreichen bzw. übersteigen (KROLL IN DULLO et al. 1995).

Bei der Interpretation der Erosionsraten muß berücksichtigt werden, daß die Skelettstruktur von *Favia fava* hohe Porositäten aufweist und daher als vergleichsweise „weich“ einzustufen ist. Skelette anderer massig wachsender Scleractinia, wie z. B. *Porites* oder *Goniopora*, sollten weniger leicht erodierbar sein und bei vergleichbaren Experimenten auch geringeren Bioerosionsraten unterliegen.

Dem gegenüber muss bei verzweigten Steinkorallen durchaus mit höheren Erosionsraten gerechnet werden, da zum einen die Oberfläche erheblich größere erodierbare Angriffsflächen bietet und zum anderen abgestorbene Kolonien biogen fragmentiert werden können. Untersuchungen, die ausschließlich massig wachsende Korallenarten mit harten Skeletten betrachten (HASSAN 1997), unterschätzen mit hoher Wahrscheinlichkeit die Gesamterosion in Gebieten mit hohen Anteilen an verzweigten Steinkorallen.

4.5.4 Niveau der Bioerosion durch Fische über den Untersuchungszeitraum

Die ermittelten Bioerosionsraten zeigten unterschiedliche Niveaus über den Untersuchungszeitraum, je nachdem welche Stichprobe zu Grunde gelegt wurde (1,5-, 2-, oder 3,5-jährigen Stichproben). Die Entwicklung der Erosionsniveaus mit der Expositionszeit sind in Abb. 66 dargestellt. Zu Beginn der Exposition unterliegen die Substrate zunächst einem Konditionierungsprozess, in dessen Folge sowohl epilithische Algen als auch Endolithen die Platten besiedeln. Besonders die Endolithen spielen eine wichtige Rolle bei der Prä-Erodierung der Oberfläche.¹ Die bohrenden Algen erhöhen zum Einen den Nährstoffgehalt des Karbonatmaterials, indem sie die selbstgeschaffenen Bohrgänge mit ihrem Biomaterial anreichern. Andererseits schwächen sie durch die Bohrtätigkeit die mechanische Festigkeit des Wirtsgesteins und leisten so der weiteren Bioerosion durch Weidegänger Vorschub (vgl. RÜTZELER 1975; HIGHSMITH 1980; SCOFFIN et al. 1980; KENDRIK et al. 1982; TUDHOPE & RISK 1985; VOGEL et al. 1995).

Der zeitliche Verlauf dieser „Substratalterung“ wird in der Graphik deutlich (Abb. 66). Das Niveau der Bioerosion steigt mit zunehmender Alterung der Substrate an, erreicht nach etwa 2 Jahren sein Maximum und pendelt sich dann auf einem etwas niedrigeren Niveau ein. Die Bioerosionsraten in 10 m und 20 m Tiefe nähern sich zum Ende der Untersuchungszeit etwa gleichen Werten von ungefähr 2,5 kg pro m² und Jahr.

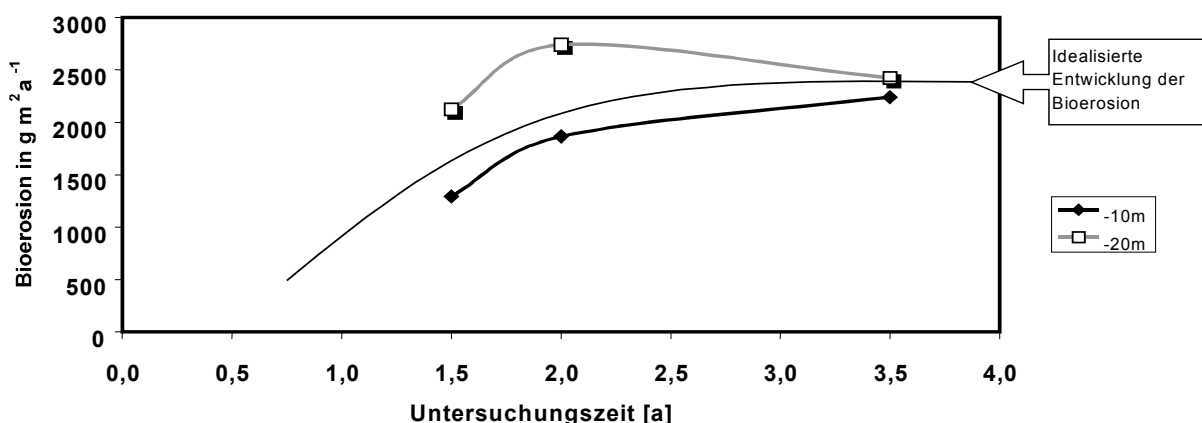


Abbildung 66: Entwicklung des jährlichen Materialabtrags (Niveau der Bioerosion) über den Untersuchungszeitraum.

¹ Die hier betrachtete „externe“ Bioerosion sensu GLYNN (1996) beinhaltet somit auch Aktivitäten interner Bioerodierer (vgl. VAN TREECK 1998)

4.5.5 Zum Einfluß der Bioerosion durch Fische auf das Karbonatbudget des Riffareals bei Aqaba

Bioerosion an sich wird als Kenngröße nur interpretierbar, wenn man sie dem Gerüstaufbau bzw. der Karbonatproduktion des jeweiligen Riffgebietes gegenüberstellt.

Bioerosionsraten in Gebieten intensiver Weidetätigkeit können die Kalkproduktion um ein Vielfaches übersteigen (BAK 1994). Deshalb muss die primäre Kalkproduktion nicht zwangsläufig gering sein (KIENE 1988). Entscheidend für die Persistenz von Korallenriffen ist somit nicht die absolute Höhe der Bioerosion sondern die Auswirkung auf die Kalkbilanz eines Riffkörpers und damit auf die Frage „wächst das Riff?“

Ein Vergleich mit den Karbonatproduktionsdaten der Arbeitsgruppe Schlichter (Universität zu Köln, KUHRAU pers. Mitt.) für das selbe Untersuchungsgebiet zeigt für die Tiefenstufe von 20 m, dass die Bioerosion durch Fische allein den Gerüstaufbau durch Steinkorallen fast vollständig wieder erodieren kann (vgl. Abb. 67). Integriert man in die Bilanzierung darüber hinaus experimentell ermittelte Bioerosionsraten durch Diademseeigel (*Diadema setosum*, KROLL in Dullo et al. 1995) ergibt sich für beide betrachteten Tiefenstufen eine negative Karbonatbilanz (vgl. KINSEY 1983).

Die Summierung experimentell getrennt ermittelter Erosionsraten muß jedoch unter Vorbehalt betrachtet werden, da beide Weidegänger-Gruppen die selbe Nahrungsresource nutzen. Entsprechend wird bei Zugänglichkeit des Substrates für beide Gruppen eine einfache Addition der Einzelwerte dem Sachverhalt nicht gerecht, sie überschätzt die Gesamterosion (vgl. HAY & TAYLOR 1985, CHAZOTTES et al. 1995).

Ungeachtet dessen belegen die dargestellten Ergebnisse, daß die Bewertung des Wachstumspotentials von Korallenriffen nicht allein auf der Basis der Lebendbedeckung mit Gerüst-bildenden Steinkorallen erfolgen kann. Untersuchungen von REINICKE (1994) im selben Untersuchungsgebiet konnten auch in 20 m Tiefe noch eine Steinkorallenbedeckung von 37% nachweisen. Sowohl Qualität und Quantität der Bioerosion als auch die „Anfälligkeit“ der dominierenden Korallenarten für Erosionsprozesse entscheiden über die Ausprägung des Karbonatbudgets.

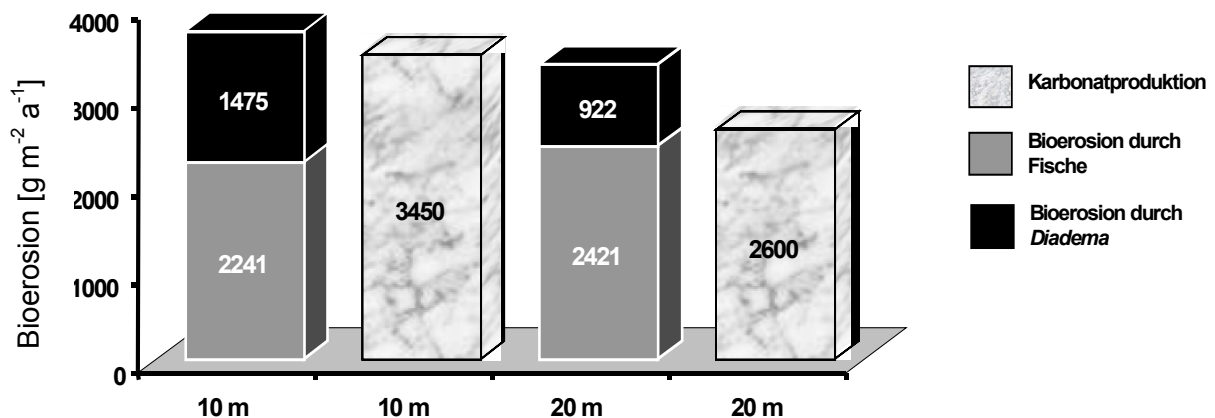


Abbildung 67: Karbonatbilanz für die Tiefenstufen 10 und 20 m im Riffareal des Untersuchungsgebietes. Produktionswerte nach KUHRAU (pers. Mittgl.), Diadema- Erosion nach KROLL (1995).