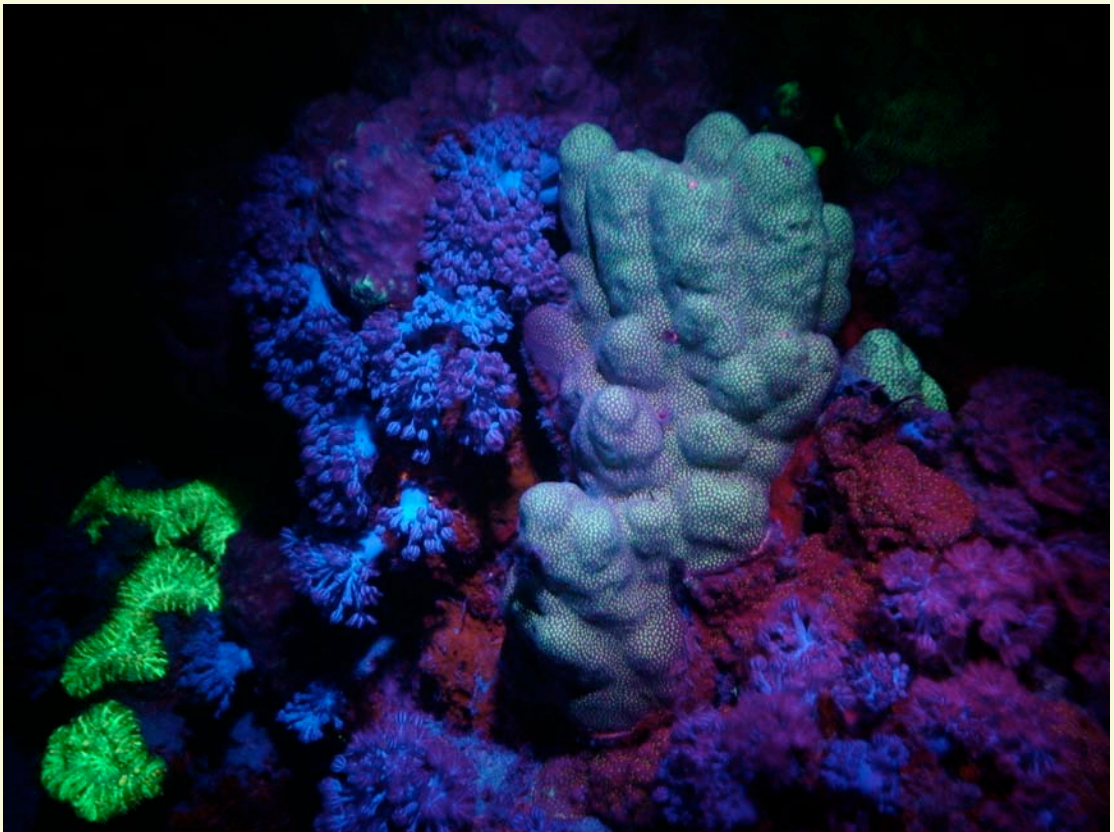


# Korallenriffe

Welterbe der Menschheit

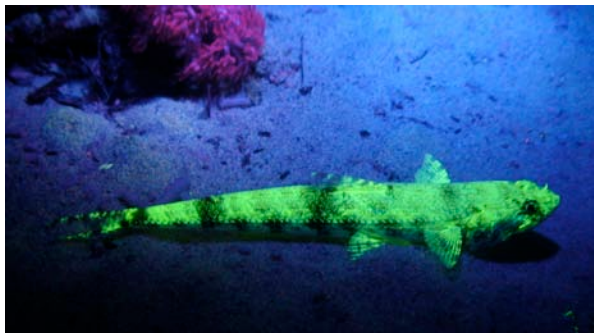
Eintauchen in eine Zauberwelt mit Hilfe  
von HiTec Fluoreszenz bei  
Nachttauchgängen - Technik zur  
Erkundung eines gefährdeten  
Ökosystems



Horst Grunz 2011

# Prolog

Korallenriffe sind weltweit bedroht durch natürliche und menschen-verursachte (anthropogene) Faktoren. Es besteht ein ständiger Konflikt zwischen Ökologie und Ökonomie. Da Korallenriffe eine zentrale Rolle für die biologische Vielfalt (Biodiversität) des Meeres-Ökosystems und für den Küstenschutz darstellen, müssen wir uns alle (vor allem aber die Tauchergemeinde) für ihren Schutz verantwortungsbewusst und nachhaltig einsetzen. Strenge Regeln und Gesetze, deren Befolgung auch strikt überwacht werden, müssen Überfischung und Umweltsünden (Umweltverschmutzung, illegale und zerstörerische („legale“) Errichtung von Hotel- und Industriebauten) verhindern. Ähnlich wie die tropischen Regenwälder sind Korallenriffe durch kommerzielle Interessen der Industrie und unkontrollierten Tourismus ernsthaft gefährdet. Treibhausgase (Wasserdampf, Kohlendioxid, Methan, Stickoxid und Ozon) sind verantwortlich für fundamentale chemische und physikalische Veränderungen der Ozeane. Die Durchschnittstemperatur des Oberflächenwassers der Ozeane hat sich im Laufe des letzten Jahrhunderts um 0,6 Grad Celsius erhöht und der pH-Wert um 0.4 Einheiten verringert (Verstärkung des Säuregrades, Versauerung der Ozeane). Solche Veränderungen sind besonders kritisch für sensible Biotope wie Mangrovenwälder, Seegraswiesen und Korallenbänke. Besonders für die riffbildenden Korallen ist das Gefährdungspotential besonders hoch, weil die Meeresversauerung die Geschwindigkeit des Kalkskelettaufbaus deutlich herabsetzen kann, welches für den Aufbau und Erhalt des Riffes lebensnotwendig ist. Die Korallen sind als Schlüsselorganismen des Ozeans ebenso wie die tropischen Regenwälder entscheidende Faktoren im Gleichgewicht sämtlicher Ökosysteme des gesamten Planeten. Die Zerstörung des Gleichgewichts durch Erderwärmung und Umweltschäden führt zur Ausbreitung der Wüsten auf Land und im Ozean und somit zur Gefährdung der menschlichen Existenz. Daher sollte der Wille zur Nachhaltigkeit nicht auf Diskussionspodien beschränkt bleiben.



## Zusammenfassung

Mit speziellen HiTec Fluoreszenzleuchten taucht der Sporttaucher bei Nachttauchgängen in eine bisher nicht gekannte magische Welt. Das Fluoreszenzlicht läßt die Korallen in zauberhaften Farben aufleuchten, so wie man es bei Tauchgängen mit normalem weißen Licht oder am Tage nicht erleben kann.

Das Leuchten der Korallen in Regenbogenfarben (unterschiedlich je nach Art) geht auf Pigmente zurück, die eng mit dem **Grün Fluoreszierenden Protein** [Eiweiß] (**GFP**) verwandt sind. Für seine Entdeckung und Analyse in der Qualle *Aequorea victoria* erhielten 2008 3 Wissenschaftler den Nobelpreis für Chemie. GFP ist mittlerweile ein schlagkräftiges Werkzeug in der Molekularbiologie und Molekulargenetik, um in lebenden Embryos und Zellkulturen komplizierte Vorgänge zu studieren, die bei normalen aber auch bei pathologischen Prozessen einschließlich Krebs ablaufen.

Der professionelle Taucher (Meeresbiologen und professionelle Fotografen) können die Fluoreszenztechnik in großem Maßstab für Riffuntersuchungen (Reef-Check) einsetzen und die Farbenpracht von Korallen, Fischen und „niederen“ Tieren (Nicht-Wirbeltiere) dokumentieren. Mit dieser Methode ist es möglich, winzige Korallen-Neusiedler (1 mm groß) aus größerer Entfernung (3-4 Meter) zu entdecken, wesentlich einfacher und besser als mit Normallicht oder bei Tauchgängen am Tage.

Gerade diese Analyse ist besonders wertvoll für den Nachweis, ob sich ein Riff nach natürlichen (z.B. Tsunami oder ElNino) oder menschlichen Eingriffen in einer Phase der Regeneration befindet.

**es lohnt sich auch, einen Blick auf meine YouTube Filme zu werfen**

<http://www.youtube.com/watch?v=ZGWcoM7Apyc>

<http://www.youtube.com/watch?v=nLMAyYHNeeQ>

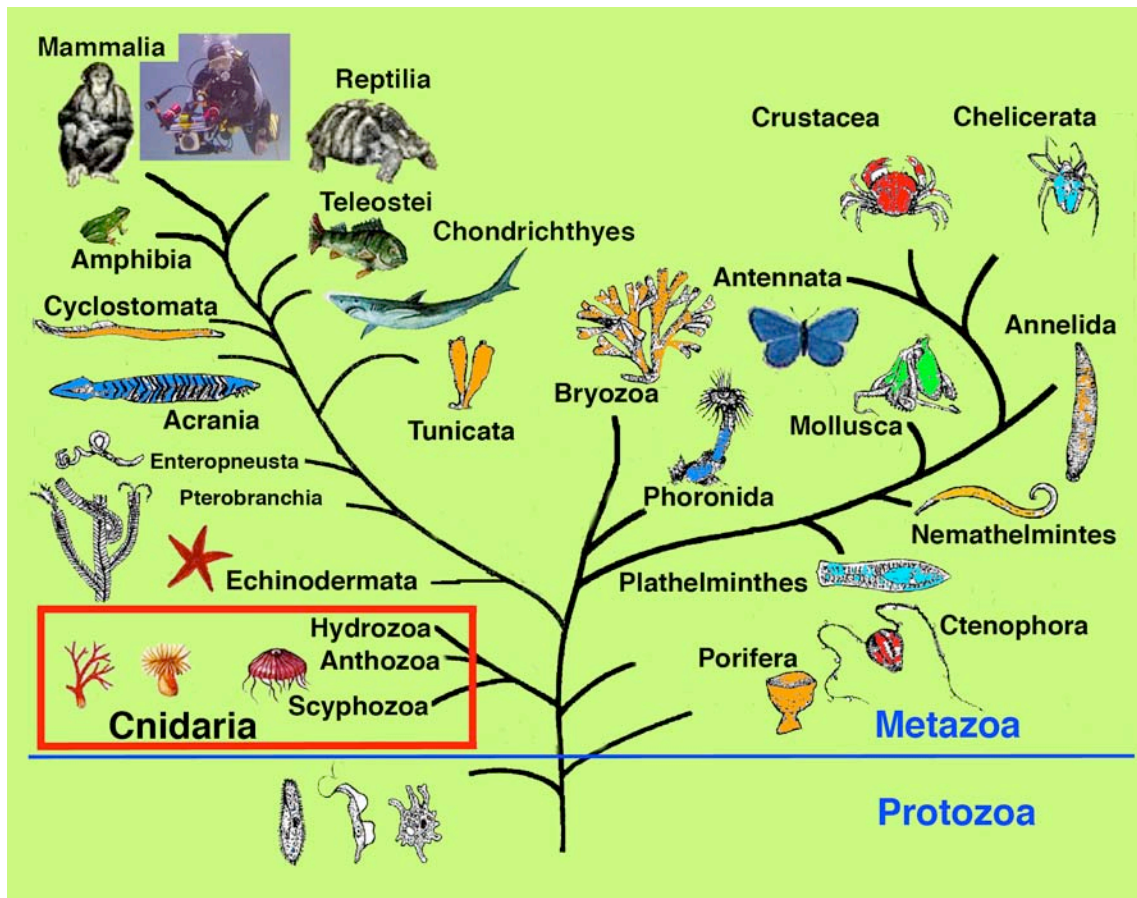
## **Einführung**

Korallenriffe sind wie die tropischen Regenwälder die artenreichsten Ökosysteme auf unserem Planeten. Aufgrund einer Vielzahl von Tier- und Pflanzenarten spricht man von einer besonders ausgeprägten Biodiversität. Beide Ökosysteme sind besonderen Stressfaktoren sowohl natürlichen als auch menschenverursachten (anthropogene) ausgesetzt. Daher ist jeder von uns gefordert, sich für den Schutz dieser einmaligen Ökosysteme einzusetzen.

Fluoreszenzanwendung während Nachttauchgängen ist eine wertvolle Methode, um den Zustand von Korallenriffen zu überprüfen, weil man sehr leicht lebende von toten Korallen unterscheiden kann. Lebende Korallen weisen artspezifisch Farben des Regenbogens auf, während tote Korallen ein grau/weißes Aussehen haben wie Zement oder Kalk. Die Farbenpracht ist ein magisches Erlebnis sowohl für den Hobbytaucher als auch für professionelle Taucher wie Meeresbiologen und engagierte Unterwasser-Fotografen. Nicht umsonst hat man die Korallen wegen ihrer Form und Farbe auch Blumentiere genannt. In diesem Artikel wird über Ergebnisse berichtet, die während der Untersuchungen im Januar 2009 und 2011 in der El Quadim-Bucht, El Quseir, Ägypten durchgeführt wurden. Ausführlich wird die Theorie und Anwendung der Fluoreszenz, sowie der Bau der HiTec-Leuchten geschildert. Weiterhin wird die Morphologie und der Lebenszyklus der Korallen dargestellt. Weiterhin verweise ich auf die Bedeutung der Korallenriffe im Hinblick auf die Erhaltung der Biodiversität im Meer (Lebensraum und Kinderstube vieler Organismen) und als Küstenschutz vor allem niedriger Archipele bei Sturm und Tsunamis. Die Gesamtproblematik sollte von generellem Interesse für eine breite Öffentlichkeit sein und eine wichtige Rolle bei Diskussionen über die Erderwärmung und Versauerung der Ozean spielen, die letztendlich zur irreversiblen Vernichtung der Korallenriffe führen, allgemein als Korallenbleiche (coral bleaching) bekannt.



## Biologie der Korallen



**Abb. 1 Phylogenetischer Stammbaum des Tierreichs**

Das Diagramm zeigt in vereinfachter Form die Position der Korallen (*Anthozoa*) in der Hierarchie des Tierreichs (roter Rahmen). Cnidarier (Nesseltiere) bestehen aus zwei Keimschichten, die durch eine Membran (Mesogloea) getrennt sind. Ähnlich wie Schwämme (*Porifera*) sind sie die ersten Organismen (im Gegensatz zu den Protozoa), die während der Evolution eine multizelluläre Organisation entwickelt haben.

Korallen gehören wie die Quallen zu den Nesseltieren. Die Steinkorallen (*Anthozoa*) spielen eine wesentliche Rolle bei der Riffbildung. Das Korallenriff ist eine essentielle Voraussetzung für den Aufbau und Erhalt einer ausgeprägten Biodiversität. Die Zerstörung dieser Biotope vor allem durch Menschenhand (Klimaerwärmung, Umweltverschmutzung, Überfischung, Fischen mit Dynamit und Zyanid, unkontrollierter Tourismus) hat weitreichende Folgen für die gesamte Menschheit.

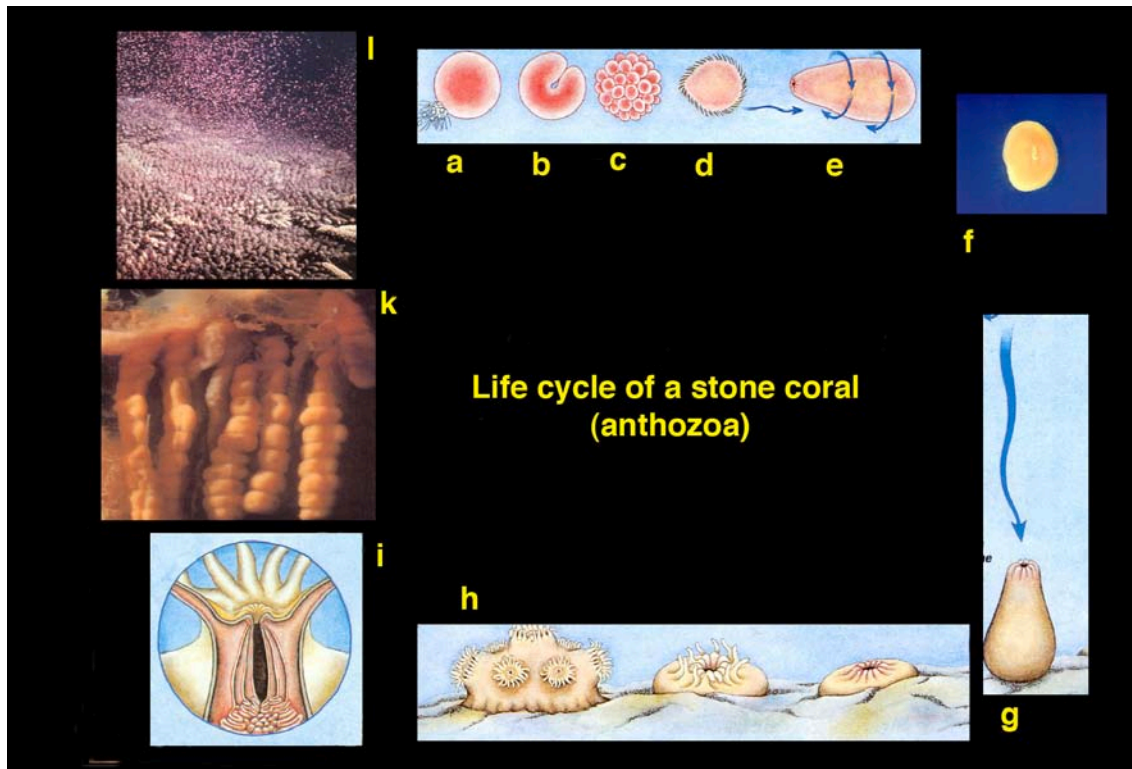
## Biologie der Korallen (Morphologie und Embryogene)



**Abb. 2 Schematische Darstellung eines einzelnen Polypen**

Die Vergrößerung zeigt die zwei Keimschichten eines Tentakels. Die äußere Schicht (Epidermis *grün*) enthält die Nesselzellen (Nematocysten), welche diesem Tierstamm auch den Namen geben (Nesseltiere = Cnidaria). In dieser Schicht befinden sich auch die Chromatophoren (Farbträger, Chromoproteine), die für die verschiedenen Farben der einzelnen Arten verantwortlich sind. Die innere Schicht (rot) ist von der äußeren durch eine membranartige Struktur (Mesogloea *blau*) getrennt. Sie enthält die algenartigen Symbionten (hier als Ellipsen dargestellt). Unter dem Polypen sieht man einen Teil des Kalkskeletts (rosa).

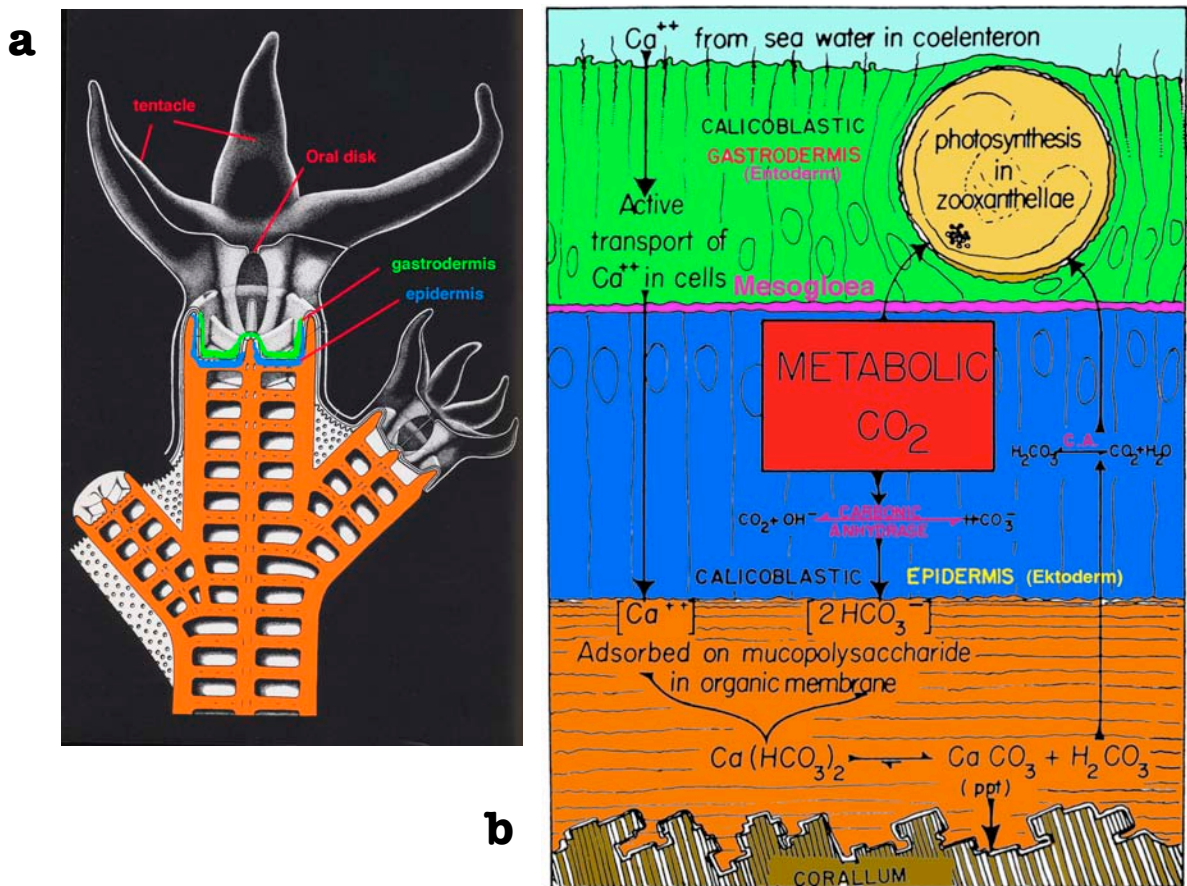
verändert nach Jen Veron: *Corals of the World* (2000)



### Abb. 3 Frühentwicklung (Embryogenese) der Korallen

- a) die Embryogenese beginnt mit der Besamung reifer Oozyten im Freiwasser
- b) das befruchtete Ei (Zygote) beginnt sofort mit der Teilung zu 2-, 4-, 8-Zellstadien
- c) 32-64-Zellstadium
- d) junge Planula-Larve mit Cilien
- e) frei schwimmende Planula-Larve mit rotierender Fortbewegung
- f) junger Polyp kurz vor dem Absetzen auf das Substrat (Fels, etc.)
- g) gerade angesiedelter Polyp mit der Fußseite zum Substrat und Mundseite zum offenen Wasser
- h) junger Korallenstock mit vegetativer (ungeschlechtlicher) Vermehrung
- i) einzelner Polyp mit Gonaden (Oozyten oder Spermien)
- k) Gonaden (hier Oozyten)
- l) Abblühen (auch Korallenblüte genannt). Viele Korallenstöcke stoßen zur gleichen Zeit (also synchron) Oozyten und Spermien ab ins freie Wasser und zwar zu einer ganz bestimmten Jahreszeit





**Abb. 4 Schematische Darstellung der Calciumskelett-Bildung von Steinkorallen (Anthozoa)**

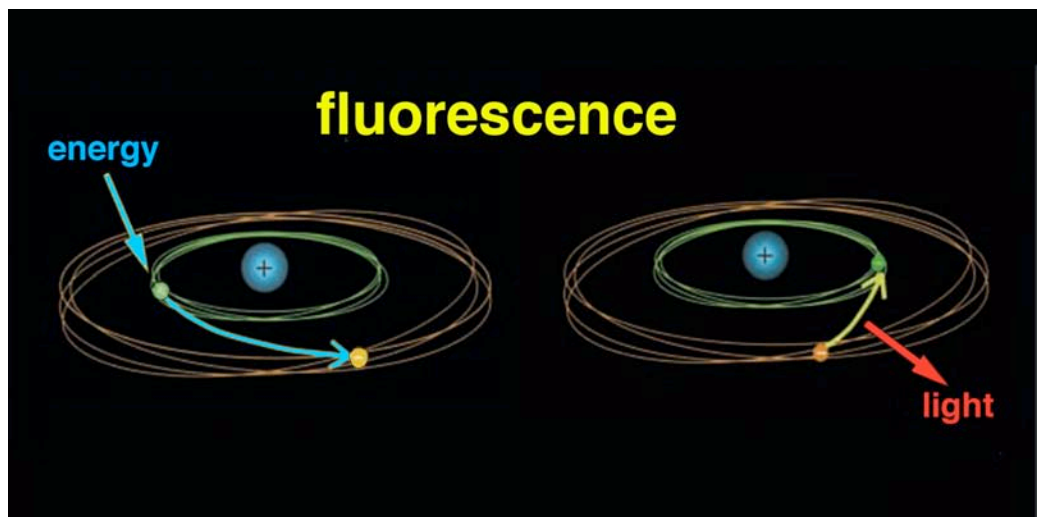
**a)** Polyp mit den beiden Keimschichten Gastrodermis (grün) und Epidermis (blau); vergleiche mit Abbildung **b)**

**b)** in der Gastrodermis (grün) sind die Zooxanthellen (symbiontische Algen) lokalisiert. Sie versorgen die Korallenpolypen mit Sauerstoff, Kohlenhydraten und Fetten (Lipide). Weiterhin verwenden sie das von den Korallen produzierte Kohlendioxid für ihre Photosynthese. Carboanhydrase, ein wichtiges Enzym bei diesen Prozessen, beschleunigt diese Stoffwechselprozesse um ein Vielfaches und sorgt für eine effektive Kalkskelettbildung (braun). Es gibt gewichtige Hinweise dafür, dass durch die Hemmung der Carboanhydrase durch erniedrigten pH-Wert (zunehmende Versauerung des Meerwassers) die Geschwindigkeit der Kalkskelettbildung herabgesetzt wird und somit die Bildung und Erhaltung von Korallenriffen gefährdet ist.



## Was versteht man unter Fluoreszenz?

Die Bezeichnung Fluoreszenz leitet sich von dem Mineral Fluorit (Calciumfluorit, CaF) ab. Dieses Mineral leuchtet im UV-Licht gelblich-grün. Die Bestrahlung bestimmter Objekte mit kurzwelligem Licht führt zur Abstrahlung von langwelligerem, sichtbarem Licht. Manchmal wird UV-Licht (Wellenlänge unter 280 nm) verwendet, das dann als „Schwarzlicht“ bezeichnet wird, weil es für das menschliche Auge unsichtbar ist. Solches Licht wird häufig in der Fluoreszenzmikroskopie verwendet. Unter diesen Bedingungen leuchten bestimmte Farbstoffe im Zellgewebe (auch experimentell an Zellstrukturen gebunden) in bestimmten Farben. Jedoch



**Abb. 5 Fluoreszenz ist ein Phänomen, bei dem kurzwelliges Licht von bestimmten Objekten absorbiert wird und als langwelligeres Licht zurückgeworfen wird**

1. Energie (hier blau) wird von Elektronen eines Fluoreszenzmoleküls absorbiert
2. Die Photonen springen auf ein höheres Energieniveau
3. Sofort fällt das Elektron zurück auf ein niedrigeres Energieniveau, wobei langwelligeres Licht (hier rot) abgegeben wird

für die Fluoreszenz bei Korallen und anderen Tieren oder Pflanzen wie Algen, Fische oder Nichtwirbeltieren (Invertebrata) wie Schwämme, Schnecken, Krebse. etc. ist extremes kurzwelliges Licht nicht geeignet. Es zeigte sich, dass blaues Licht (450-470 nm) die besseren Ergebnisse lieferte. Viele Bewohner der Riffe „glühen“ in verschiedenen Farben des Regenbogens in Abhängigkeit der artspezifischen GFP-verwandten Eiweiße.

Fluoreszenz sollte nicht mit Phosphoreszenz verwechselt werden. Phosphoreszenz ist eine besondere Form von Lumineszenz. Während Fluoreszenz sofort endet, wenn die Beleuchtung abgeschaltet wird, leuchten phosphoreszierende Objekte Sekunden bis Stunden nach.

### **Fluoreszenz-Technik Voraussetzungen**

Für die Erzeugung und Dokumentation fluoreszierender Objekte sind spezielle technische Voraussetzungen erforderlich. Ähnlich wie bei Untersuchungen mit dem Fluoreszenzmikroskop in der Zellbiologie sind folgende technische Ausstattungen notwendig:

1. energiereiche HiTec Fluoreszenzquelle (Emission)
2. Fluoreszierendes Objekt (Target)
3. Spezialfilter für die Analyse (Sperrfilter)

zu 1. kurzwelliges Licht (hier 450 - 470 nm) wird auf die Objekte gerichtet (Korallen, Fische und Nicht-Wirbeltiere („niedere“ Tiere)

zu 2. das fluoreszierende Objekt wirft längerwelliges Licht zurück (gelb, grün,rot)

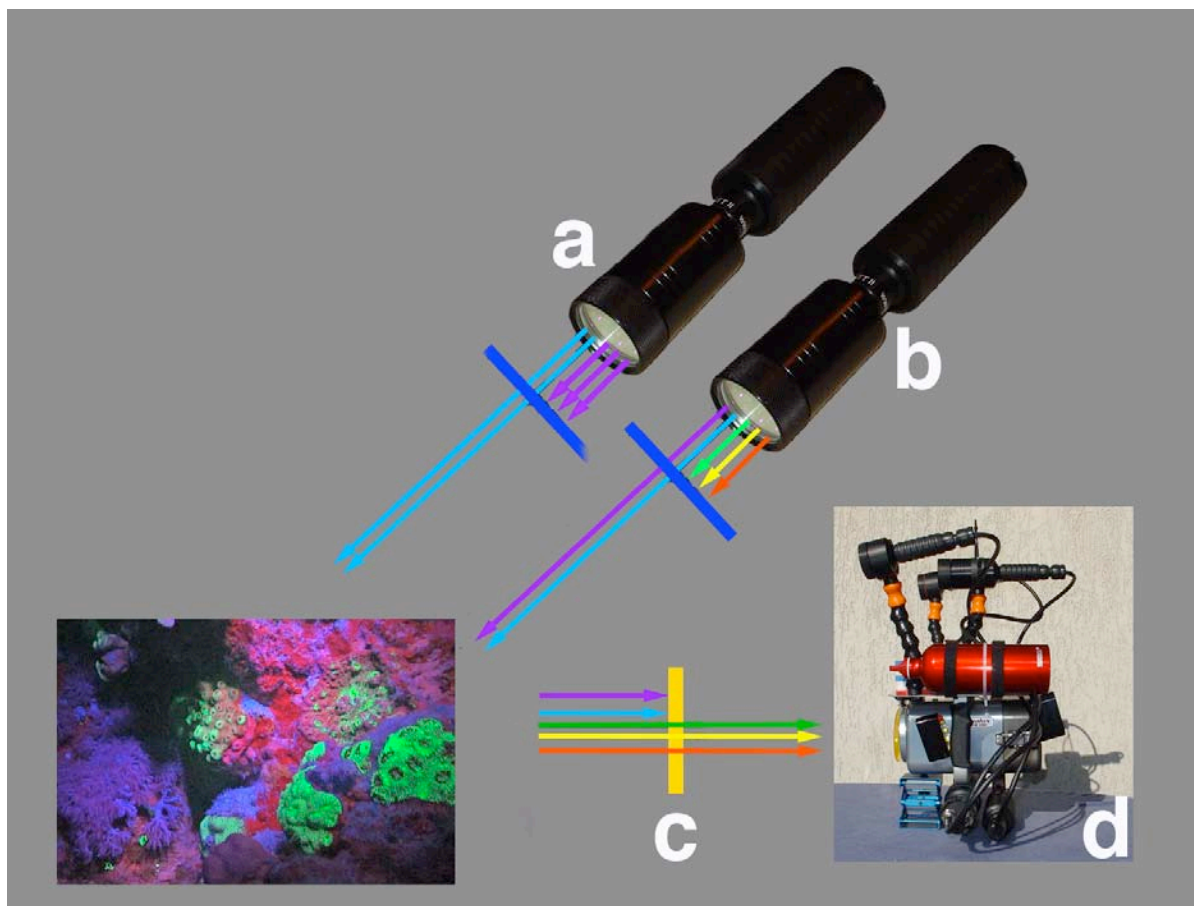
zu 3. damit sich das blaue Licht nicht mit den Regenbogenfarben vermischt, wird ein Gelbfilter (Sperrfilter) vor die Maske und die Kamera plaziert, der nur Licht mit einer Wellenlänge größer als 500 nm passieren lässt.

## Abb. 6 Ausstattung für Fluoreszenz-Tauchgänge

**a, b** Fluoreszenzleuchten

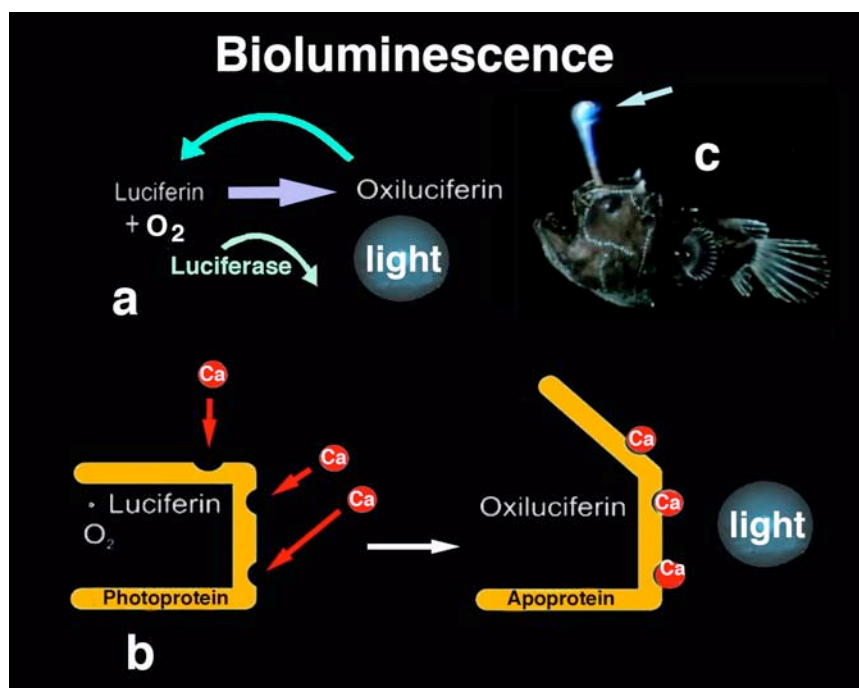
**a** ausgestattet mit blauen HiTec LEDs und zusätzlichen Sperrfilter **b** arbeitet mit weißen LEDs. Ein Spezialfilter blockiert nicht alle Wellenlängen unterhalb von 500 nm

**c** gelbe Sperrfilter, die sowohl vor der Maske als auch vor der Fotoapparatur (Camcorder oder Stillkamera) plziert werden.



## Was versteht man unter Biolumineszenz?

Bei Biolumineszenz handelt es sich um ein Phänomen, das durch chemische Prozesse innerhalb eines Organismus hervorgerufen wird. Es wird auch als kaltes Licht bezeichnet. Man findet es in Dinoflagellaten, in bestimmten Bakterien und Glühwürmchen (in Wirklichkeit ein Käfer mit einem Leuchtorgan am Hinterleib). Mindestens zwei wichtige chemische Substanzen spielen bei der Lichterzeugung eine Rolle, das Luziferin und das Enzym Luciferase. Durch die Katalyse mit Luciferase kommt es zur Umwandlung von Luziferin in Oxiluziferin. Dabei wird grün-gelbes Licht freigesetzt. Bakterien mit dem Luziferin-Luziferase-System finden sich auch in der Laterne des Tiefseeanglerfisches (*Melanocetus johnsonii*), der so seine Lieblingsspeise Tiefseetintenfische anlockt.



**Abb. 7 Bei Biolumineszenz handelt es sich um kaltes Licht, das innerhalb eines Organismus (bestimmte Bakterien, Flagellaten und Leuchtkäfer) durch biochemische Prozesse hervorgerufen wird**

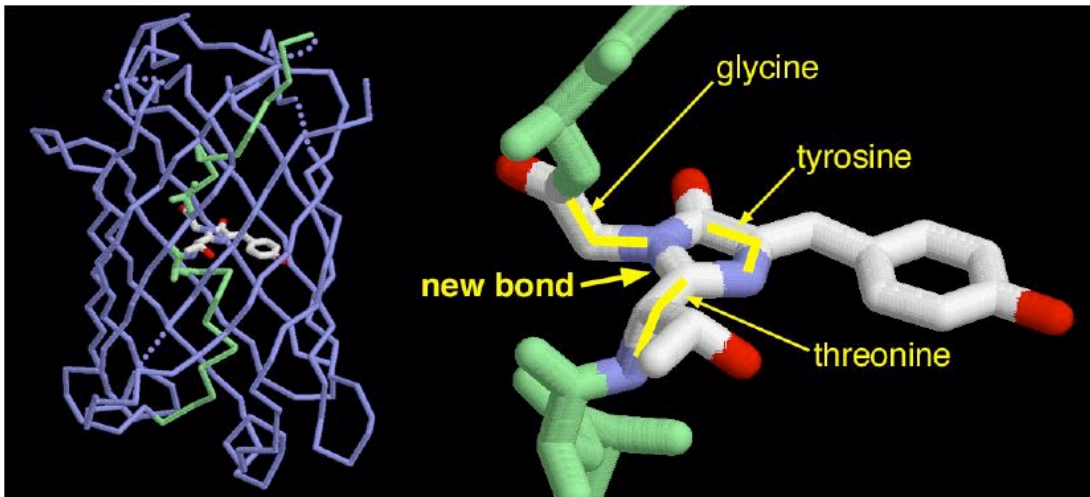
- Mindestens zwei chemische Substanzen sind erforderlich, Luziferin und Luziferase. Das Enzym Luziferase katalysiert die Oxidation von Luziferin. Dadurch kommt es zur Bildung von inaktivem Oxiluziferin und der Freisetzung von kaltem Licht. Für die Wiederholung der Prozesse und erneutes Leuchten ist die Zuführung von frischem Luziferin erforderlich, das durch interne Stoffwechselprozesse oder durch die Nahrung erneuert wird.
- in einigen Fällen bildet Luziferin zusammen mit einem Protein (äquivalent zu Luciferase) ein Photoprotein. Der Lichteffekt wird dann durch Calciumionen ausgelöst.
- Tiefseeanglerfische *Melanocetus johnsonii* besitzen eine bewegliche „Laterne“, mit der sie Beutetiere anlocken. Diese Biolumineszenz stammt von der Symbiose mit Bakterien, die das Luziferin/Luziferase-System besitzen.



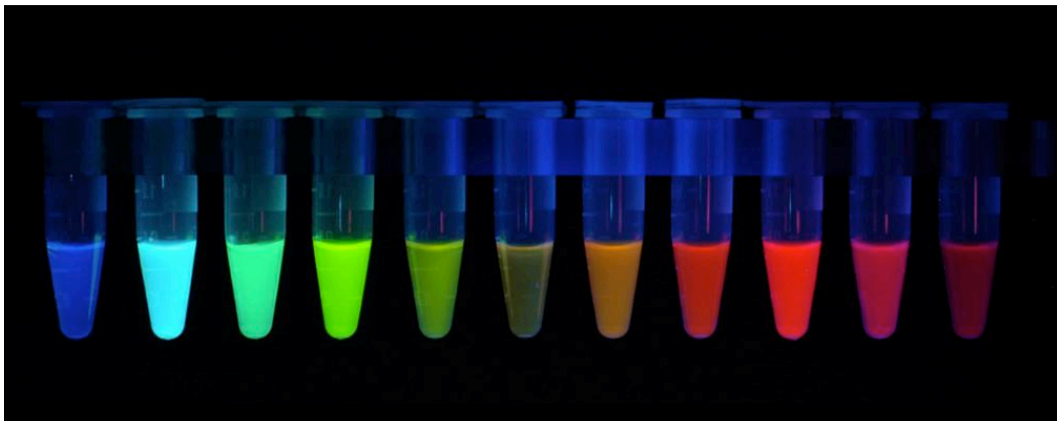
## **Bedeutung von GFP (Grün Fluoreszierendes Protein) und seiner Derivate**

Erstmals wurde das GFP in der Meduse *Aequorea victoria* identifiziert. Im blauen Licht zeigt die Qualle grün-gelbe Fluoreszenz. In der Molekularbiologie, Zellbiologie und medizinischen Grundlagenforschung kann das Gen für GFP an andere Gene gekoppelt werden, die für Eiweiße codieren, deren Funktion im **lebenden** Organismus (ganzes Tier oder Zellkulturen) studiert werden sollen. So ist es z.B. möglich die Wanderung und die Position von bestimmten Zellen innerhalb eines lebenden Embryos zu verfolgen. Daher ist diese Technik ein Meilenstein der modernen Zellbiologie einschließlich Krebsforschung. Sehr spektakulär (aber vom wissenschaftlichen Standpunkt weniger bedeutsam) war die „Erleuchtung“ ganzer Tiere wie Fliegen, Fische, Frösche (Axolotl *Ambystoma mexicanum*, mexikanische neotene Molche), Mäuse, Ratten, Kaninchen und Schweine unter Fluoreszenzanregung. Das „klassische“ GFP fluoresziert bei einer Wellenlänge von 509 nm. Roger Tsien, einer der 3 Nobelpreisträger, hat das GFP in der Weise modifiziert, daß die Derivate in allen Farben des Regenbogen leuchteten (Abb. 9). Die verschiedenen Farben gehen auf Modifikationen der Aminosäure-Konfiguration im Inneren der faßähnlichen  $\beta$ -Struktur des Proteins zurück (Abb. 8).

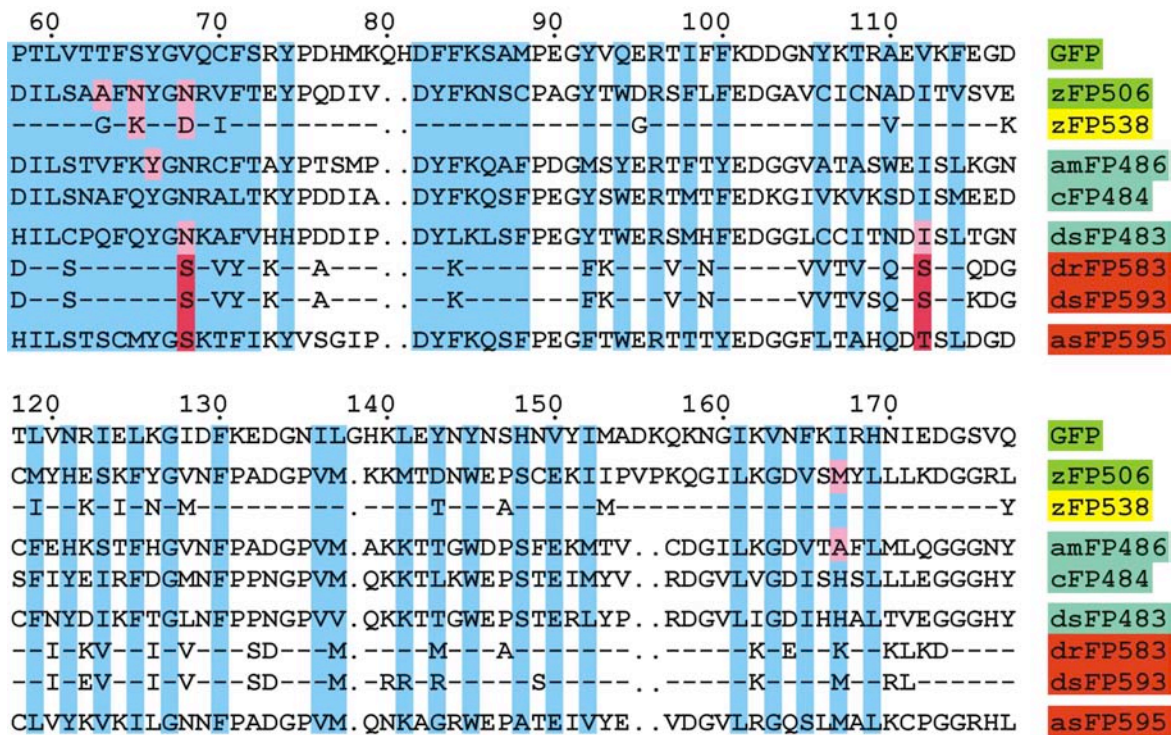
Solche GFP-ähnlichen Eiweiße findet man in artspezifischer Weise in den verschiedenen Korallenarten. Das ist der Grund dafür, dass kurzwelliges Licht (bevorzugt blau) diese Tiere in magischem Licht erstrahlen lassen. Das Emissionsspektrum ist ganz unterschiedlich in den verschiedenen Korallenarten (Abb. 11).



**Abb. 8 Struktur des Grün-fluoreszierenden Proteins (GFP)** Es wurde erstmals in einer Quale identifiziert. Das Molekül im Zentrum (rechts vergrößert dargestellt) des korbartigen Proteins (violett) ist verantwortlich für die grüne Fluoreszenz bei Bestrahlung mit kurzwelligem Licht



**Abb.9 Modifiziertes GFP vergleichbar mit den verschiedenen Chromophoren in den Korallen** Monomere oder Tandem-dimerische Proteine abgeleitet von *Aequorea* GFP or *Discosoma* RFP, wurden in Bakterien exprimiert und gereinigt (angereichert). Das Foto zeigt die Fluoreszenz, angeregt durch verschiedene Wellenlängen und betrachtet mittels verschiedener Sperrfilter (modified after Tsien, 2009 Nobel Prize lecture)



**Abb. 10 Sequenzalignment von GFP und Anthozoa FPs.** Die Bezeichnung der Aminosäureabkürzungen (Buchstaben) orientiert sich am GFP. Die N- und G-terminalen Bereiche sind nicht gezeigt. Korallen FPs sind mit kleinen Buchstaben gekennzeichnet, die die Art (sp. Species) andeuten (i.e. „z“ für *Zoanthus* sp., „am“ für *Anemonia majano*, „c“ für *Clavularia* sp., „dz“ für *Discosoma* sp., „rd“ für *Discosoma* sp. **red**, „as“ für *Anemonia sulcata*). Dargestellt ist die Sequenz der Proteine, die für die Fluoreszenz verantwortlich ist, i.e. gelb, gelb-grün, grün, rot. Identische Aminosäuren sind mit waagerechten Strichen gekennzeichnet.

aus: Nadya G Gurskaya, Alexander P Savitsky, Yurii G Yanushevich, Sergey A Lukyanov and Konstantin A Lukyanov *Color transitions in coral's fluorescent proteins by site-directed mutagenesis; BMC Biochemistry (2001) 2:6*

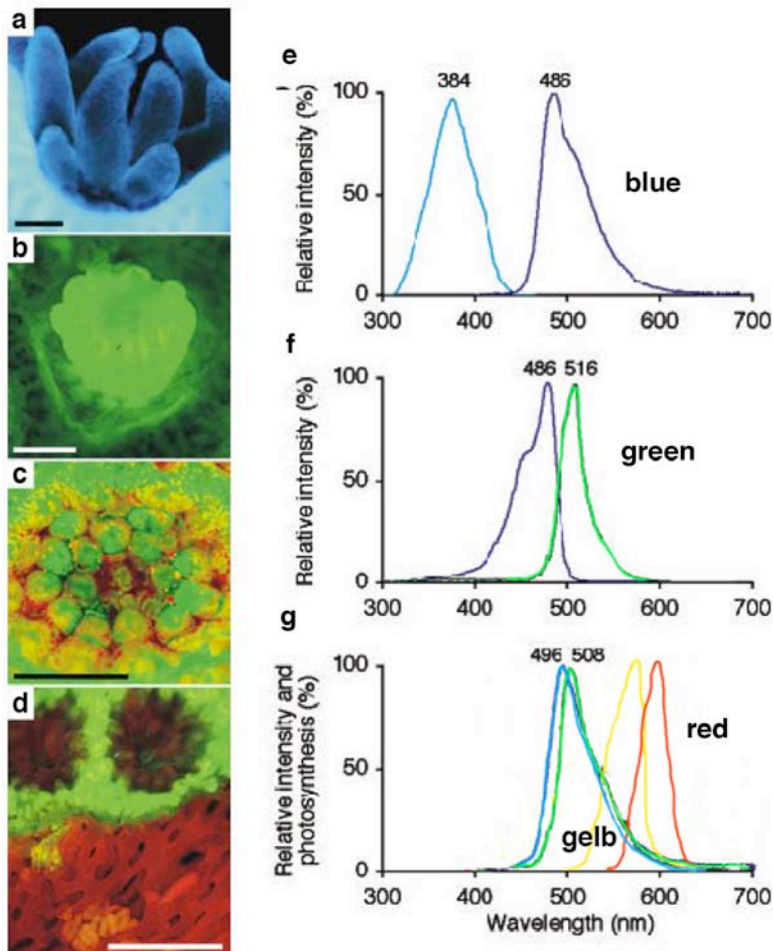
## **Mögliche Bedeutung der GFP-ähnlichen Proteine der Korallen**

Korallen (Anthozoa) gehören wie die die Medusen (Scyphozoa) und Hydropolyten (Hydrozoa) zu den Nesseltieren (Cnidaria). Ihr Aufbau besteht aus zwei Zellschichten (Epidermis und Gastrodermis, getrennt durch eine Membran (Mesogloea), die auf zwei embryonale Keimblätter, dem Entoderm und dem Ektoderm, zurückgehen. Das Gastroderm verantwortlich für die Verdauung, enthält die Symbionten (Algen, die zu den Dinoflagellaten - Zooxanthellen gehören). Sie sind Mitbewohner der Korallen und keinesfalls parasitisch. Im Gegenteil, sie sind lebensnotwendig für die Korallen, weil sie wichtige Stoffwechselprodukte mit Ihren Wirten austauschen. Sie verleihen den verschiedenen Korallen in unterschiedlicher Stärke eine braune Farbe. Die symbiontischen Algen versorgen die Korallenpolypen mit Kohlehydraten, Sauerstoff und Lipiden, die sie mittels Photosynthese produziert haben. In verschiedenen Publikationen wird irrtümlich behauptet, die Farbenpracht vieler Korallen stamme von den Symbionten. Es ist aber so, daß die GFP-verwandten Chromproteine für die wunderbare gelbe, grüne und rote Farbgebung verantwortlich sind. Sie befinden sich in der äußeren Zellschicht der Polypen, der Epidermis (Abb. 2). Sie könnten bei der Umwandlung von kurzwelligem Licht in das für die Photosynthese der Algen notwendige langwelligere Licht eine wesentliche Rolle spielen. Das könnte für Korallen bedeutsam sein, die tiefer als 5 Meter angesiedelt sind, wo nur noch die Blauanteile des Sonnenlichts vorhanden sind. Andere Wissenschaftler geben zu bedenken, dass Chromproteine bei Korallen Schutzfunktion gegen das UV-reiche Sonnenlicht ausüben, wenn sie nahe der Wasseroberfläche wachsen.

Nicht völlig geklärt ist die Fähigkeit von Fischen, die die rote Autofluoreszenz von Artgenossen oder Fraßfeinden noch in Tiefen ab 15 Meter erkennen können. Das unbewaffnete menschliche Auge kann dagegen außer grün und blau keine anderen Farben mehr registrieren. Offensichtlich sind bei (bestimmten) Fischen die Kopf- oder/und Seitenlinien als Signale zum Erkennen von Feinden und für das Revier- und Brutverhalten von zentraler Bedeutung.



**Abb. 11 Haupttypen fluoreszierender Pigmente (FPs) in Korallenpolypen** Diese Pigmente werden in blauen, grünen, gelben und roten Kombinationen gefunden (**a, b, c, d**) mit überlappenden Excitations- und Emissionsspektren(**e, f, g**). **a,e**, Hauptsächlich Blau, in *Acropora nobilis*. **b, f**, Hauptsächlich Grün, in *Pocillopora damicornis*. **c,g**, Emissionen von überlagernden Blau/Grün und unterlagerndem Gelb FPs in der 'Sonne' *Porites cylindrica*. Korallen Photosynthese Aktions-Spectrum (rote Kurve) bezeichnet die Energie mit einer Wellenlänge, die nicht für die Photosynthese verwendet werden kann. **d**, Tiefere Zonen - FPs bei green *Montipora digitata*.



modified after Anya Salih, Anthony Larku, Guy Cox, Michael Kühl & Ove Hoegh-Guldberg; NATURE | VOL 408 | 2000

## **Welchen Sinn haben Nachttauchgänge mit Fluoreszenz-Licht?**

Die Beleuchtung mit Fluoreszleuchten verwandelt das Riff in eine magische Welt. Man fühlt sich versetzt in einen artenreichen Blumengarten. Der Hobby-Taucher wird überwältigt sein von diesem neuen Erlebnis. Nicht umsonst werden die Korallen auch als Blumentiere bezeichnet. Unsere HiTec Fluoreszenzleuchten sind in der Lage, eine Region von 20 - 30 qm auszuleuchten. Bislang konnten kommerziell erhältliche Leuchten lediglich eine Fläche von 50 x 50 cm erhellen.

Dem Wissenschaftler (Meeresbiologen) und professionellen Unterwasser-Fotografen wird mit der Fluoreszenztechnik eine Methode in die Hand gegeben, die es erlaubt, Aussagen über den Zustand der Riffe zu machen. Wie bereits erwähnt leuchten lebende Korallenblöcke in brillianten blauen, gelben, grün-gelben und roten Farben. Dagegen erscheinen tote Korallen in grauem oder kalkweißem Licht (vergleichbar mit Beton), bzw. sie reflektieren überhaupt kein Licht. Der Tod von einzelnen Korallenpolypen oder sogar des ganzen Riffs kann auf verschiedene natürliche und menschenverursachte Faktoren zurückgeführt werden. Aufgrund der Ozeanerwärmung (Erderwärmung, aber auch ElNino) besteht die Gefahr, dass die symbiontischen Algen aus den Polypen ausgestoßen werden. Das hat den Tod der Korallen zur Folge und es bleibt nur das weiße Kalkskelett zurück. Dieses Phänomen wird auch als Korallenbleiche (coral bleaching) bezeichnet. Die Farben, basierend auf GFP-ähnliche Proteine (auch weniger spektakulär bei normalen Licht sichtbar), ist für immer verloren. Unter bestimmten günstigen Bedingungen (Unterbindung negativer Umweltfaktoren) kann sich ein Riff regenerieren. Dafür brauchen Korallenriffe oft eine sehr lange Zeit. Für die Riff-Check (Reef-Check) Untersuchungen über den Zustand der Riffe ist die HiTec Fluoreszenz mit sehr intensiven Leuchten äußerst wertvoll, weil so große Bereiche in kurzer Zeit gescannt werden können. Mit dieser Methode können gerade winzige Korallen-Neusiedler (um 1 mm, Abb. 3 g, Abb .19 ) schnell in der dunklen Umgebung erkannt werden.

## Beschreibung der Fluoreszenzeinrichtung

Als Fluoreszenzquelle verwendeten wir eine Leuchte mit HiTec LEDs. Dabei handelt es sich um 4 blaue intensive OSTAR SMT LEDs in Multichip-Technologie (4 x 9 MegaDd/qm), i.e. 16 HiTec LEDs (Abb. 16). Bei unserer neuesten Konstruktion verwendeten wir 3 blaue LUMINUS HiTec LEDs mit 1200 Lumen. Die ersten kommerziell erhältlichen Leuchten enthielten lediglich 1 einzige 3 Watt LED.

Vor die Tauchmaske wird ein spezieller Gelbfilter (Sperrfilter) der Fa. night.sea gesetzt. Ein ähnlicher Filter wird vor die Kamera oder in Filterhalter im Kameragehäuse platziert.



**Fig. 12 Sealux® Gehäuse** a normale (weiße) LEDs  
b und c Fluoreszenzleuchten d Sperrfilter e Auf-  
triebskörper f 2 Akkus (Fa. TillyTec)

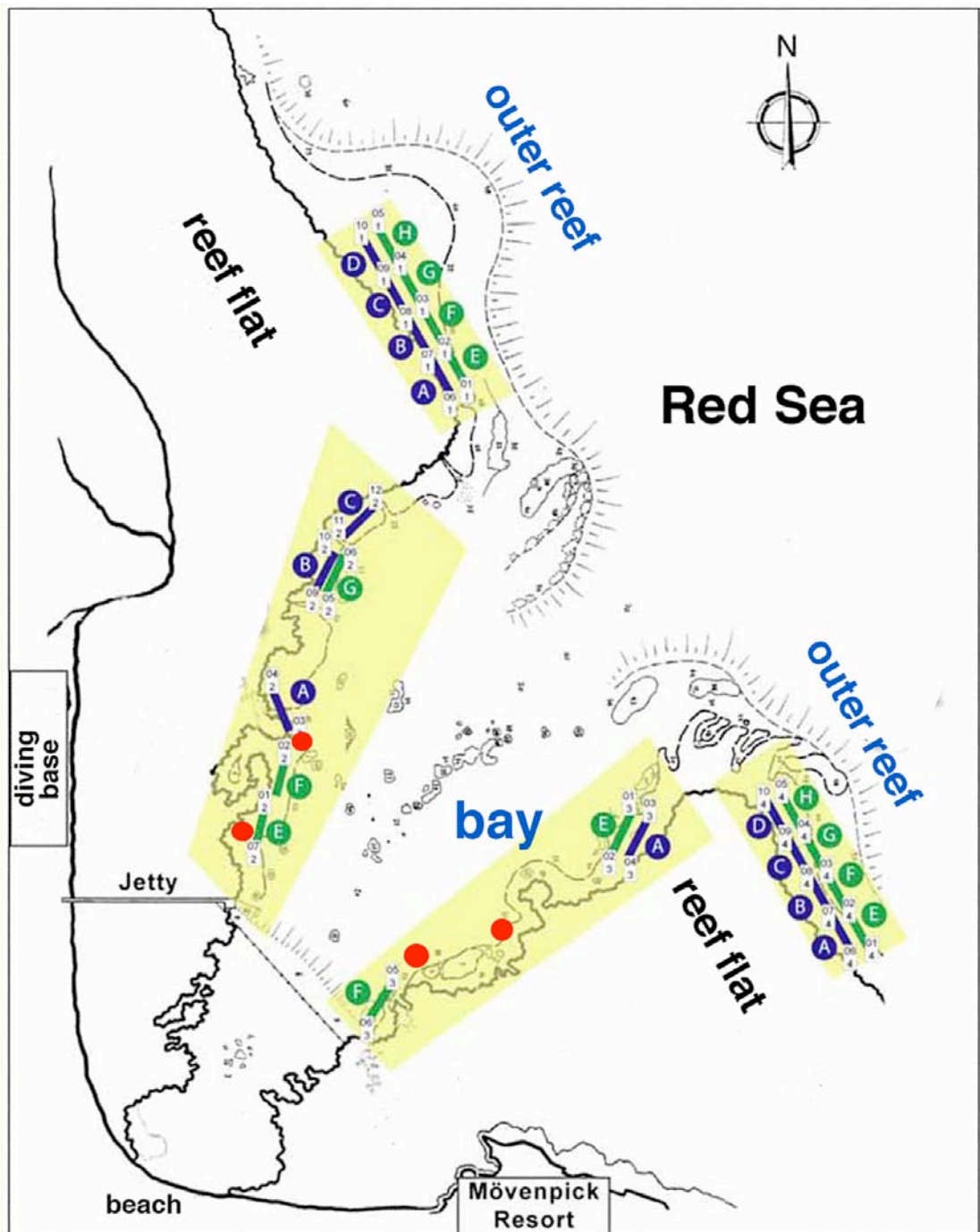


**Abb. 13** Der Autor nahe am Korallenriff in der El Quadim Bucht, El Quseir, Egypt



**Abb . 14** Tauchgang am Tag in einer Tiefe von 20 Meter

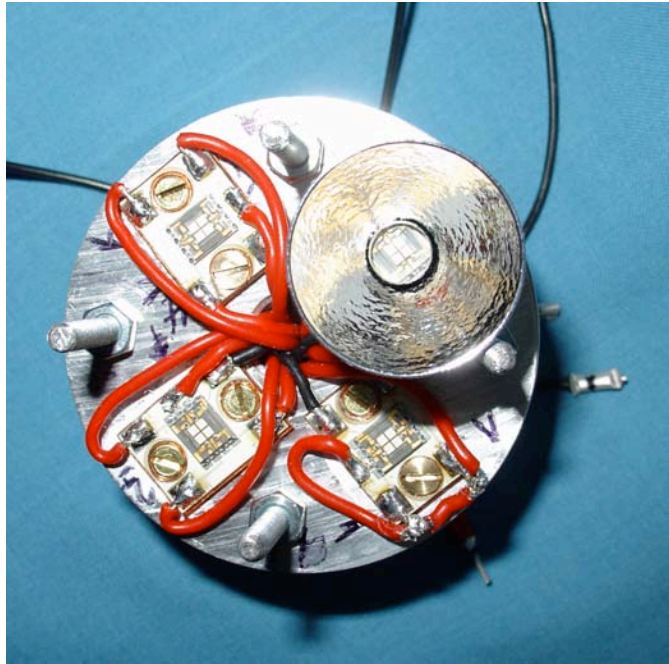




**Abb. 15 Die El Quadim - Bucht, El Quseir, Egypt**

Das Saumriff (**outer reef**, typisch für das Rote Meer) wird unterbrochen durch die Bucht, die zur Römerzeit als Hafen genutzt wurde. Die roten Punkte bezeichnen die Zonen, in denen wir unsere Fluoreszenz-Untersuchungen in einer Tiefe von 15 - 25 Meter durchgeführt haben.

*Abb. modifiziert nach H. Heiss et al. (2005)*



**Abb. 16** Aufsicht auf 4 Module OSRAM SMTs, jedes mit 4 LEDs (zusammen 16 LEDs). Auch 1 ALU - Reflector ist zu sehen



**Abb. 17** Explosionsdiagramm der Fluoreszenzleuchte. Das schwarze Gehäuse stammt von einer HID-Leuchte (Fa. TillyTec - Modular Power Lichtsystem)



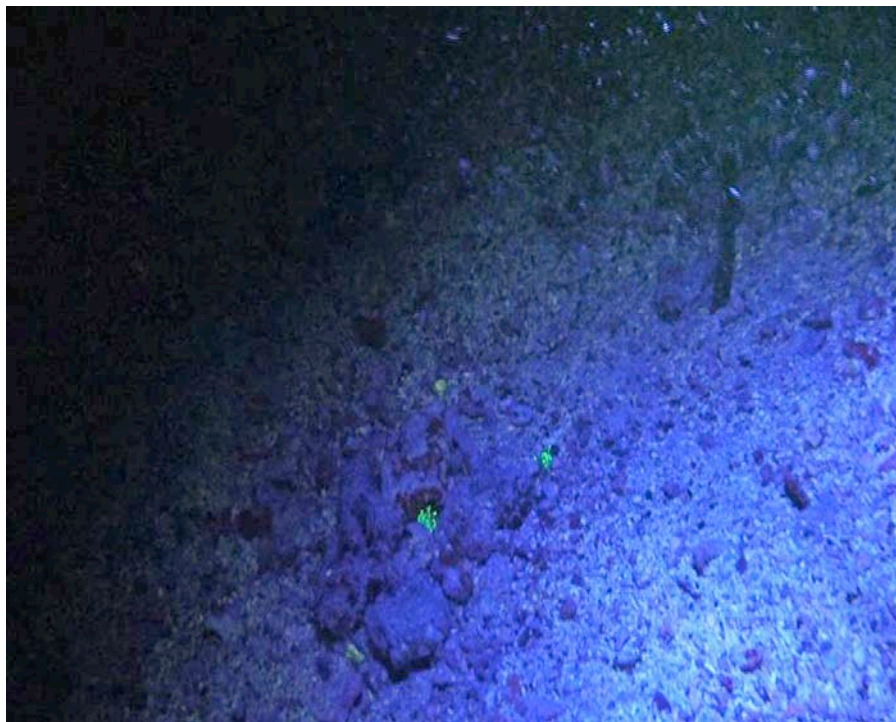
**Abb. 18 HiTec Fluoreszenzleuchte mit 3 blauen LUMINUS LEDs**

- a) Aufsicht auf 3 HiTec LEDs
- b) Aufsicht auf die 3 HiTec LEDs mit montierten Reflektoren
- c) Explosionsdiagramm. Das schwarze Gehäuse stammt von einer früheren HID Leuchte (TillyTec® - Modular Power Lichtsystem)



## **Ausblick**

Fluoreszenz während Nachttauchgängen ist eine faszinierende Alternative und Ergänzung zu Tauchgängen mit weißem Licht und Tauchgängen am Tage vor allem für ambitionierte Taucher und Unterwasserfotografen. Der Meeresbiologe kann den Zustand des Riffs kartieren und erhält somit Informationen über den Zustand der Korallenstöcke. Schnell wird sichtbar, ob das Riff intakt, stark geschädigt oder völlig zerstört ist (z.B. durch Umwelteinflüsse, Fischen mit Dynamit oder Zyanid, etc.). Berichte darüber sind von generellem Interesse für die breite Öffentlichkeit, Tauchbasen, Journalisten und Politiker, um Maßnahmen für eine effektive Nachhaltigkeit zu ergreifen.



**Abb.19** Beleuchtung einer Zone von of 4 x 5 Meter mit einer HiTec Fluoreszenzleuchte

Winzige Korallen-Neusiedler können mit dieser Technik aus größerer Entfernung erkannt werden. Während des Tages ist es schwer in grauen Substratzonen diese Hoffnungsträger (gelb-grün) zu identifizieren.



## Danksagung

Die Ergebnisse wurden während meiner Nachttauchgänge im Jahr 2009 und 2011 in der El Quadim Bucht , El Quseir, Ägypten, erzielt.

Ich danke speziell Johann Vifian, Direktor der SUBEX Tauchbasen (Headquarter Hurghada), für seine großzügige ideelle und finanzielle Unterstützung des Projektes. Besonders hervorzuheben ist sein ständiges Interesse an unseren Arbeiten. Bemerkenswert ist seine außergewöhnliche Professionalität als Taucher und sein langjähriges herausragendes Engagement für den Umweltschutz. Weiterhin bedanke ich mich bei dem Basenmanager Stefan Piesker und dem gesamten Team für die exzellente logistische Planung und Durchführung der Tauchgänge bei Tag und bei Nacht.

watch also the YouTube movies:

<http://www.youtube.com/watch?v=ZGWcoM7Apyc>

<http://www.youtube.com/watch?v=nLMAyYHNeeQ>

<http://www.youtube.com/watch?v=O9GfctqCGKE>

<http://www.youtube.com/watch?v=COmbc4kLbwU>

## Einige Daten zum Autor

Horst Artur Grunz, born 15. Sept. 1938 in Cologne, married with Ursula Grunz, 2 daughters, Abitur Math.-Naturw. Gymnasium Köln-Mülheim 1960, Study of Biology and Pharmacology University Cologne, 1964-1968 Thesis, Supervisor Prof.Dr.Dr.Engländer, 1968 PHD (Dr. rer. nat.), Postdoc in the group of Prof.Dr.Dr.Heinz Tiedemann, Institute of Molecularbiology und Biochemistry, Free University Berlin, 1979 Habilitation (qualification as university lecturer), 1980-2003 Professor of Zoophysiology and Developmental Biology, University Essen (now University Duisburg-Essen) **Sabbaticals** 1970 -1971 Oak Ridge National Lab, Tennessee, USA, operated by the Atomic Energy Commission, group Prof.Dr.Tuneo Yamada, 1987/1988 National Institutes of Health (NIH), group Prof.Dr.Igor Dawid National Institutes of Health (NIH), 1990 Shanghai Institute of Cell Biology invitation of Prof.Dr.Hui Chuang and the Max Planck- Society, 1997/1998 UCLA University of California, Los Angeles, group Prof.Dr.Eddy DeRobertis UCLA University of California, Los Angeles.

In his special research field (developmental genetics) the author focussed his interest on the gene regulation and pattern formation during early embryonic development.

Für weitere Informationen siehe auch meine Homepage <http://www.uni-due.de/zoophysiologie/>

Für weiterführende Diskussionen kann man mich kontaktieren unter: [horst.grunz@uni-due.de](mailto:horst.grunz@uni-due.de)

## Literatur

Aglyamova GV, Hunt ME, Modi CK, Matz MV. (2011) Multi-colored homologs of the green fluorescent protein from hydromedusa *Obelia sp.* Photochem Photobiol Sci. 2011 Aug 27;10(8):1303-9.

Anthony K. R. N, D. I. Kline, G. Diaz-Pulido, S. Dove, and O. Hoegh-Guldberg (2008) Ocean acidification causes bleaching and productivity loss in coral reef builders PNAS vol. 105 no. 45, 17442–17446

D'Angelo, C., A. Denzel, A. Vogt, M. V. Matz, F. Oswald, A. Salih, G. U. Nienhaus, and J. Wiedenmann, 2008. Blue light regulation of host pigment in reef-building corals. Mar. Ecol. Prog. Ser., 364:97-106.

Dove, S. G., O. Hoegh-Guldberg, and S. Ranganathan, 2001. Major colour patterns of reef-building corals are due to a family of GFP-like proteins. Coral Reefs, 19:197-204.

Baird, A. H., A. Salih, and A. Trevor-Jones, 2006. Fluorescence census techniques for the early detection of coral recruits. Coral Reefs, 25:73-76.

Baird, G. S., Zacharias, D. A. & Tsien, R. Y., "Biochemistry, mutagenesis, and oligomerization of dsRed, a red fluorescent protein from coral," Proc. Natl. Acad. Sci. U.S.A. 97, 11984–11989 (2000).

Carilli Jessica E., Richard D. Norris, Bryan A. Black, Sheila M. Walsh, Melanie McField (2009) Local Stressors Reduce Coral Resilience to Bleaching PLoS Volume 4 | Issue 7 | e6324

Grunz H (2010) Korallenriffe in neuem Licht. DIVEMASTER , Volume 64, 17-22

Grunz H (2011) Zauberwelt Korallenriff DIVEINSIDE Onlinemagazin bei Taucher.net Volume 3, 36 - 43

Grunz H (2011) Zauberwelt Korallenriff 2 Hightech-Fluoreszenz bei Nachttauchgängen – Technische Voraussetzungen DIVEINSIDE Onlinemagazin bei Taucher.net Volume 4, 45 - 51

Diaz-Pulido G, McCook L J, Dove S, Berkelmans R, Roff G, Kline D I, Weeks S, Evans R D , Williamson D H , Hoegh-Guldberg O (2009) Doom and Boom on a Resilient Reef: Climate Change, Algal Overgrowth and Coral Recovery PLoS | Volume 4 | Issue 4

Heim, R. & Tsien, R. Y., "Engineering green fluorescent protein for improved brightness, longer wavelengths and fluorescence energy transfer," *Curr. Biol.* 6, 178–182 (1996).

Heiss G, Kochzius M, Alter A, Roder R (2005) Studie zum Zustand der Riffe in der El Quadium-Bucht, El Quseir. Ägypten; Reef Check e.V., Bremen

Hoegh-Guldberg O (1999)

Climate change, coral bleaching and the future of the world's coral reefs  
*Mar. Freshwater Res.*, **50**, 839–866

Hoegh-Guldberg O, Bruno JF. (2010) The impact of climate change on the world's marine ecosystem *Science*. 2010 Jun 18;328(5985):1523-8. Review.

Hoegh-Guldberg O. (2010) Dangerous shifts in ocean ecosystems function? *ISME J.* 2010 Sep;4(9):1090-2.

Vidal-Dupiol J, Adjeroud M, Roger E, Foure L, Duval D, Mone Y, Ferrier-Pages C, Tambutte E, Tambutte S, Zoccola D, Allemand D, and Mitta G (2009) Coral bleaching under thermal stress: putative involvement of host/symbiont recognition mechanisms *BMC Physiology* 2009, **9**:14

Kahng, S. E., and A. Salih, 2005. Localization of fluorescent pigments in a nonbioluminescent, azooxanthellate octocoral suggests a photoprotective function. *Coral Reefs*, 24:435-436.

Kelmanson, I. V., and M. V. Matz, 2003. Molecular basis and evolutionary origins of color diversity in great star coral *Montastraea cavernosa* (Scleractinia: Faviida). *Mol. Biol. Evol.*, 20:1125-1133.

Kenkel CD, Traylor MR, Wiedenmann J, Salih A, Matz MV. (2011) Fluorescence of coral larvae predicts their settlement response to crustose coralline algae and reflects stress *Proc Biol Sci.* 2011 Sep 7;278(1718):2691-7.

Leutenegger, A., C. D'Angelo, M. V. Matz, A. Denzel, F. Oswald, A. Salih, G. U. Nienhaus, and J. Wiedenmann, 2007. It's cheap to be colorful: Anthozoans show a slow turnover of GFP-like proteins. *FEBS Journal*, 274: 2496-2505.

Mazel, C. H., 1997. Coral fluorescence characteristics: excitation - emission spectra, fluorescence efficiencies, and contribution to apparent reflectance. *Ocean Optics XIII*, 2963:240-245.

Mazel, C. H., 2005. Underwater fluorescence photography in the presence of ambient light. *Limnol. Oceanogr. Methods*, 3:499-510.

Middlebrook\* Rachael, Ove Hoegh-Guldberg and William Leggat (2008) The effect of thermal history on the susceptibility of reef-building corals to thermal stress  
*The Journal of Experimental Biology* 211, 1050-1056

- Oswald, F., F. Schmitt, A. Leutenegger, S. Ivanchenko, C. D'Angelo, A. Salih, S. Maslakova, M. Bulina, R. Schirmbeck, G. U. Nienhaus, M. V. Matz, and J. Piniak, G. A., N. D. Fogarty, C. M. Addison, and J. Kenworthy, 2005. Fluorescence census techniques for coral recruits. *Coral Reefs*, 24:496-500
- Remington SJ. (2011) Green fluorescent protein: A perspective . *Protein Sci.* 2011 Sep; 20(9):1509-19.
- Salih, A., O. Hoegh-Guldberg and G. Cox, 1997. Photoprotection of symbiotic dinoflagellates by fluorescent pigments in reef corals. *Proceedings of Australian Coral Reef Society 75th Anniversary Conference*, pp. 217-230
- Salih Anya, Anthony Larkum, Guy Cox, Michael Kühl ( 2000) Fluorescent pigments in corals are photoprotective *NATURE | VOL 408 850, 853*
- Sampayo E. M., T. Ridgway, P. Bongaerts, and O. Hoegh-Guldberg (2008) Bleaching susceptibility and mortality of corals are determined by fine-scale differences in symbiont type *PNAS July 29, 2008 vol. 105 , 10444–10449*
- Schmidt-Roach, S., A. Kunzmann and P. Martinez Abrizu, 2008. In situ observation of coral recruitment using fluorescence census techniques. *JEMBE*, 367:37-40.
- Schumacher, H. 2010 *Korallen: Baumeister am Meeresgrund Blv Buchverlag*
- Sheppard C. R C, Davy S K, Pilling G M (2010) *The Biology of Coral Reefs. Oxford University Press.*
- Tsien, R Y (2008) Construction and exploiting the fluorescent Nobel Lecture
- Vernon J (Author) and Mary Stafford Smith (Editor) *Corals of the world (2000) Australian Institute of Marine Sciences and CRR Qld Pty Ltd: 3 Volumes*
- Vogt, A., C. D'Angelo, F. Oswald, A. Denzel, C. H. Mazel, M. V. Matz, S. Ivanchenko, G. Nienhaus U and J. Wiedenmann, 2008. A green fluorescent protein with photoswitchable emission from the deep sea. *PLoS ONE*, 3.
- Weis Virginia M., Simon K. Davy, Ove Hoegh-Guldberg (2008) Mauricio Rodriguez-Lanetty<sup>4</sup> and John R. Pringle *Cell biology in model systems as the key to understanding corals Trends Ecol Evol 2008 Jul;23(7):369-76. Epub 2008 May 22*
- Wiedenmann, 2007. Contributions of host and symbiont pigments to the coloration of reef corals. *FEBS Journal* 274: 1102-1109.

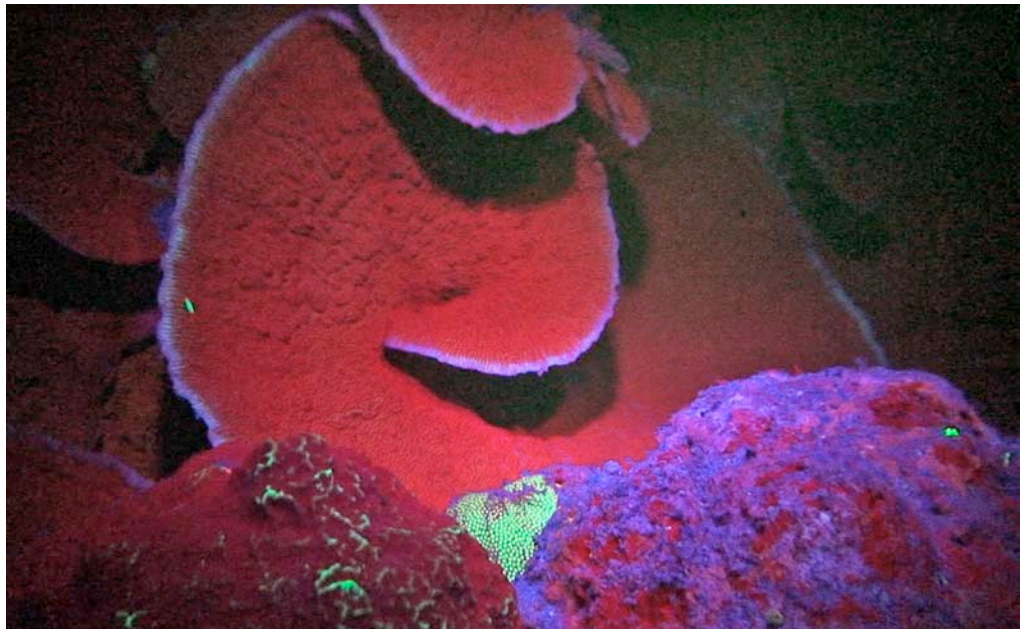


## Appendix

Die Tafeln zeigen in vergleichender Darstellung identische oder weitgehend ähnliche Bereiche des Korallenriffs mit normalem weißen Licht und Fluoreszenzlicht. Besonders hervorzuheben ist die Tatsache, dass wir mit unseren HiTec-Leuchten sehr große Bereiche (5 x 7 Meter) ausleuchten können. Das gilt auch für eine neu entwickelte Leuchte mit Hochleistungs-LEDs. Diese Voraussetzungen sind notwendig, um im großen Maßstab größere Bereiche des Riffs dokumentarisch zu erfassen.

Sehenswert ist sicher auch mein YouTube Film

<http://www.youtube.com/watch?v=ZGWcoM7Apyc>





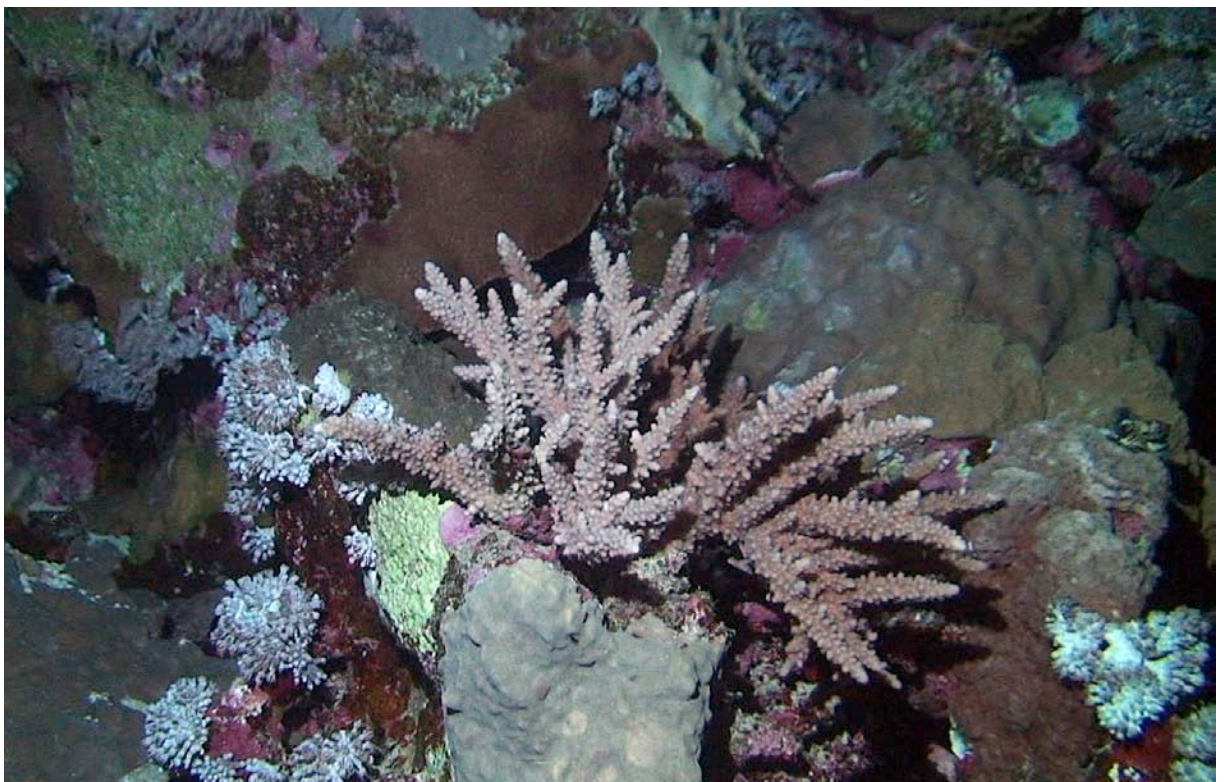
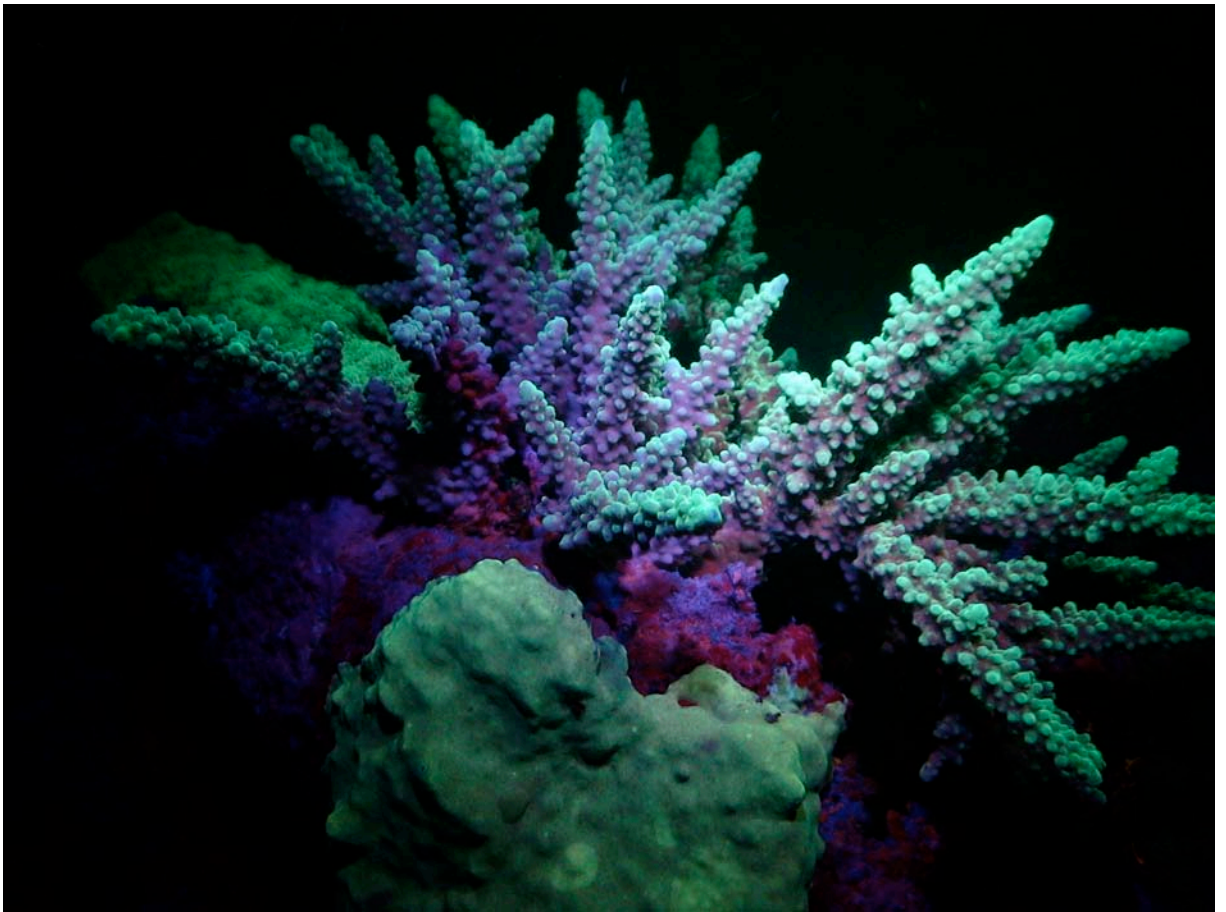






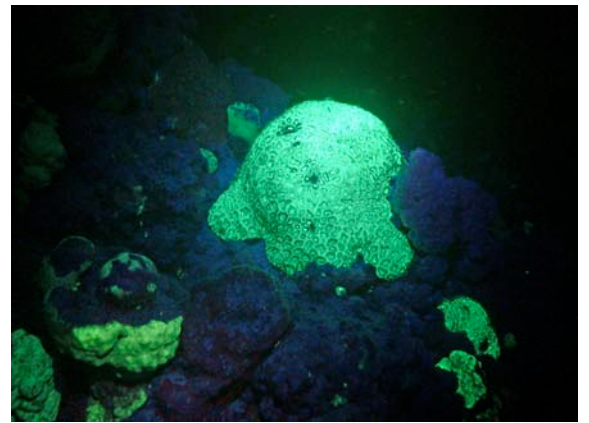
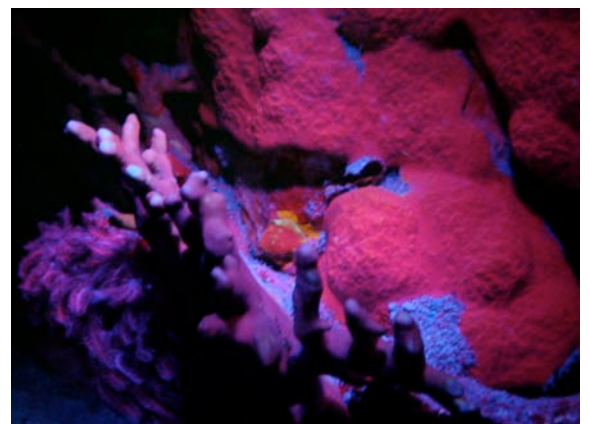
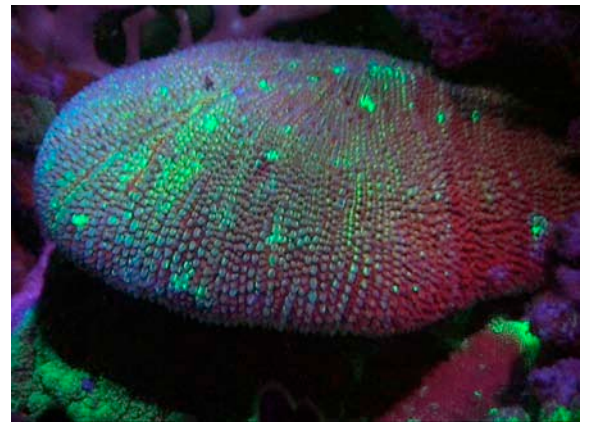
**Schlafender Kugelfisch**



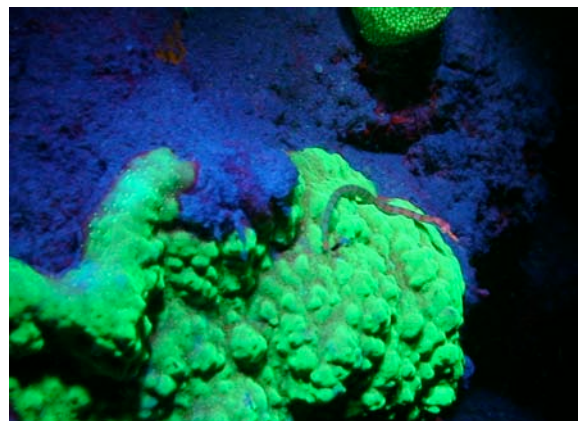
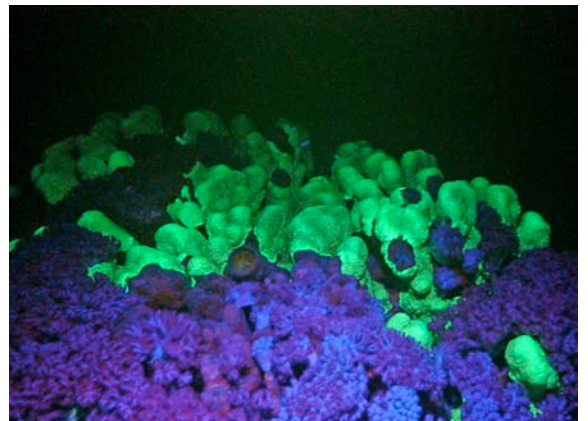
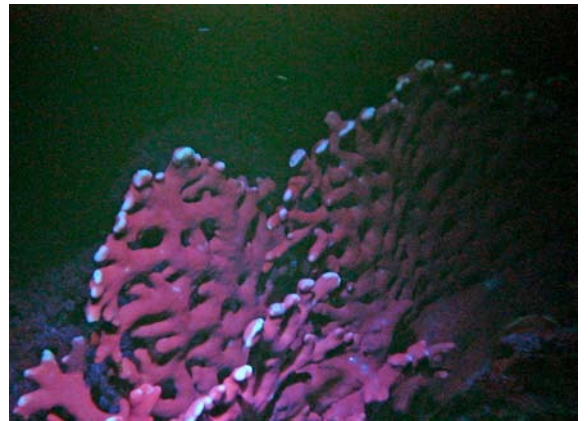
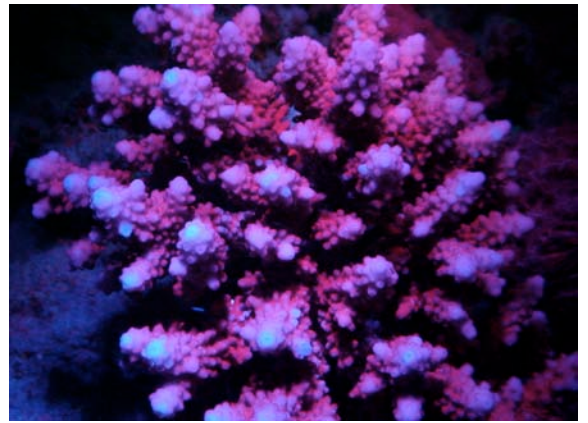




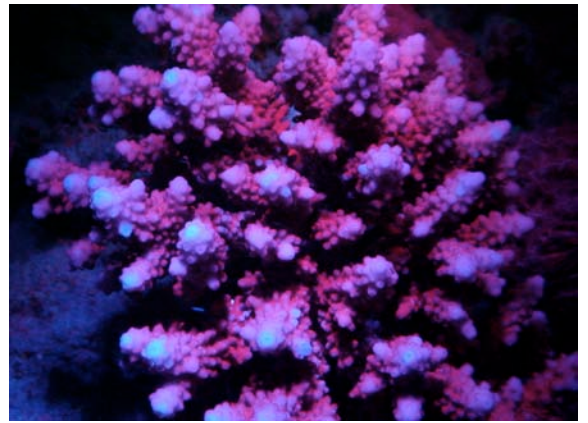
*Horst Grunz Magische Welt des Korallenriffs mit Fluoreszenz*



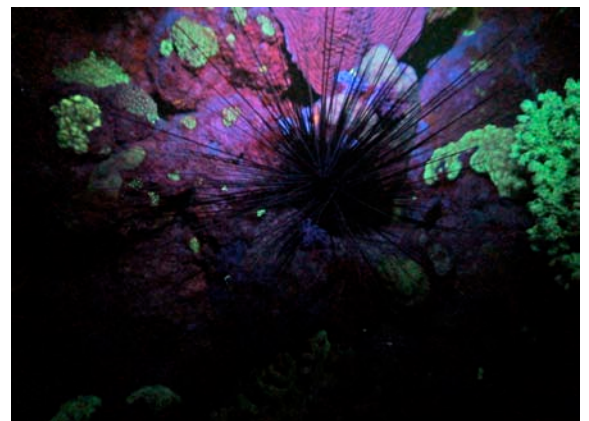
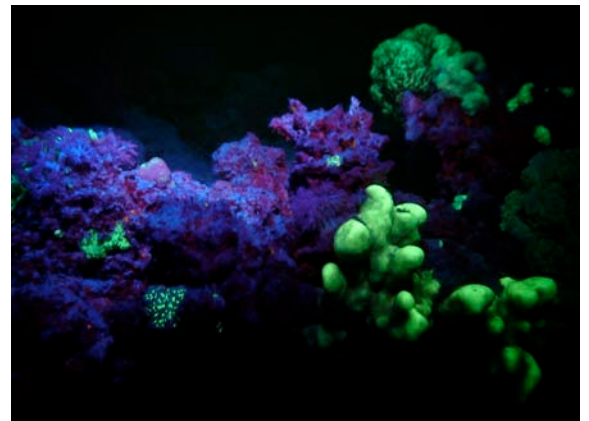
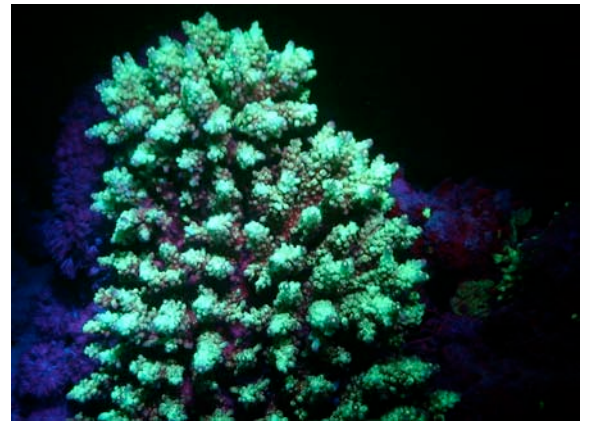








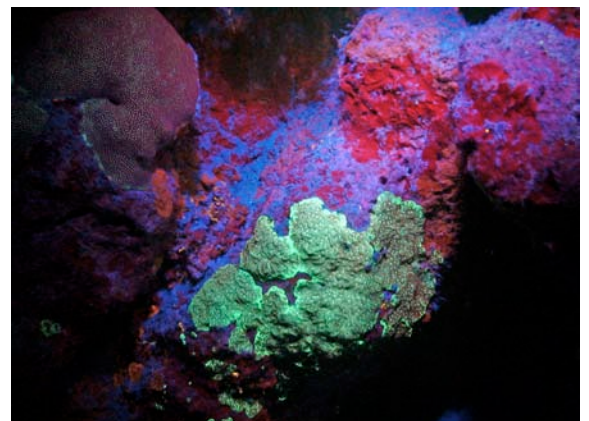
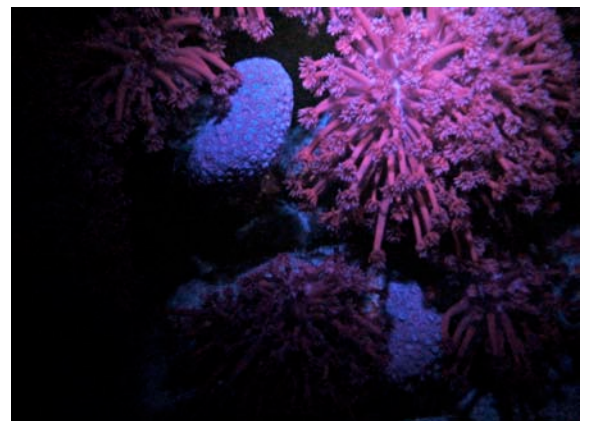
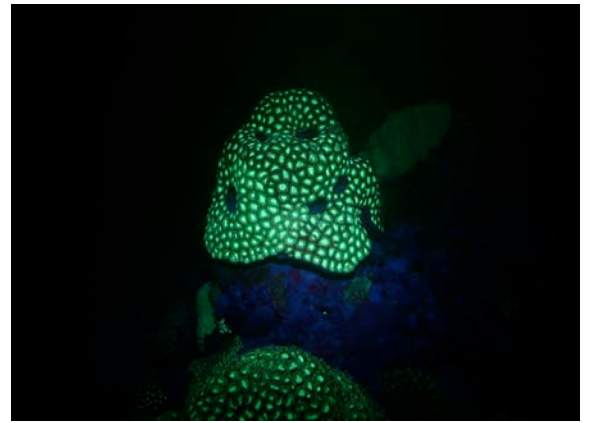
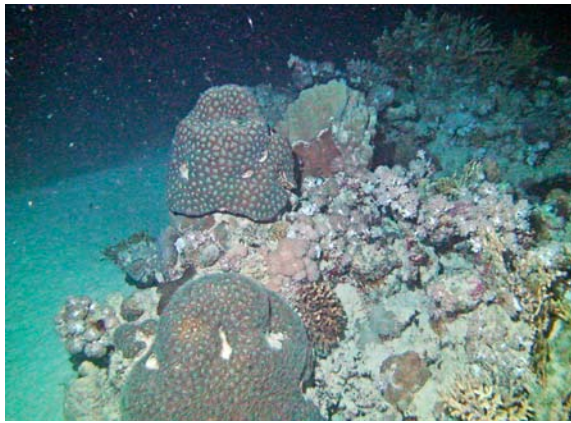




**Untere Reihe : Der Seeigel weist keine Fluoreszenz auf**

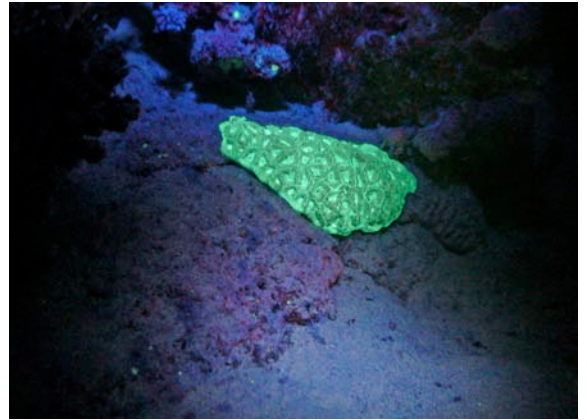
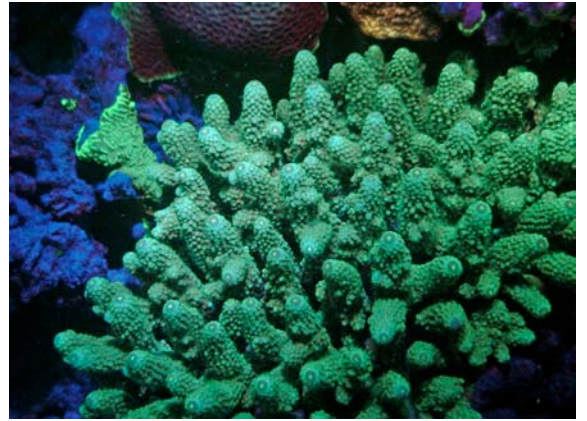
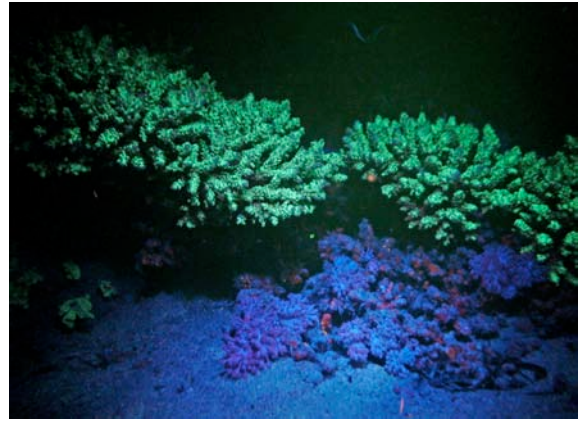
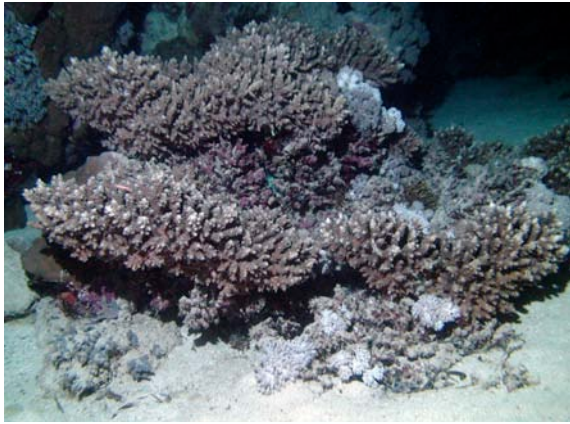


*Horst Grunz Magische Welt des Korallenriffs mit Fluoreszenz*

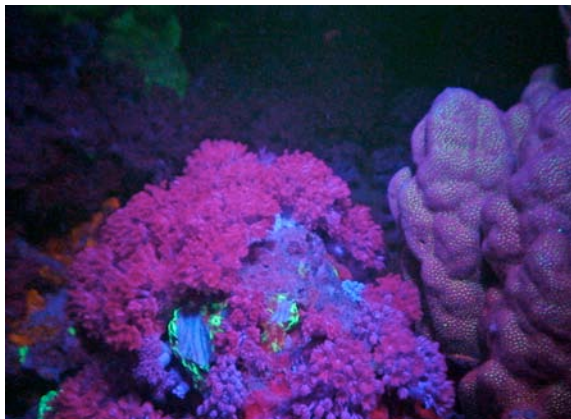
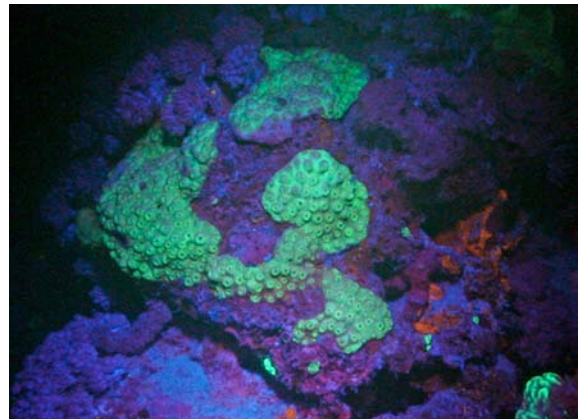
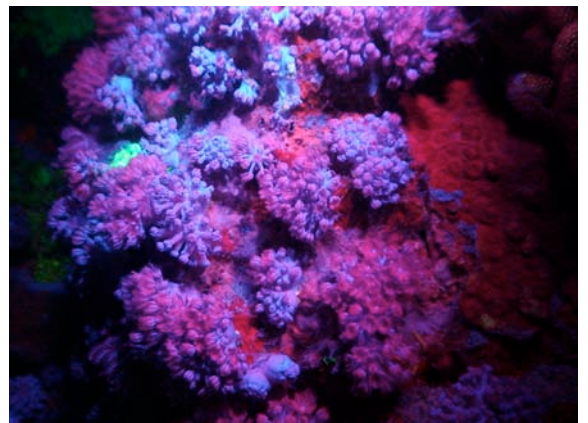




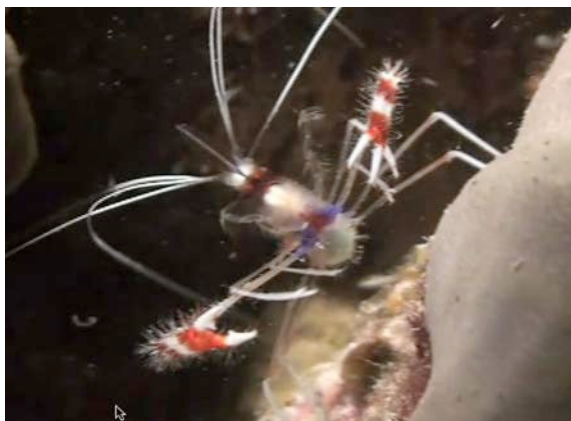
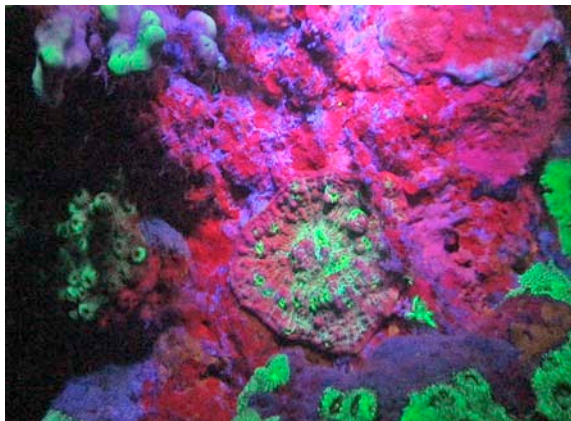
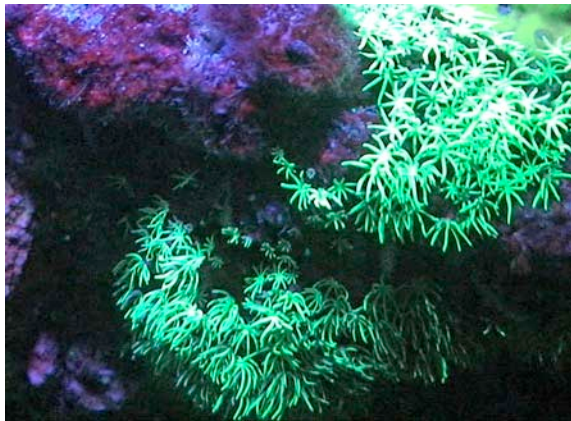
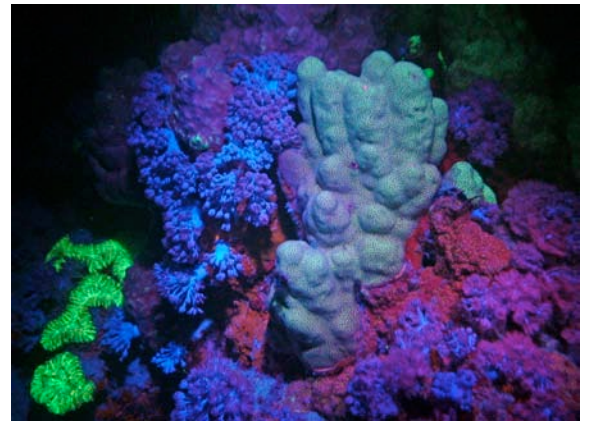
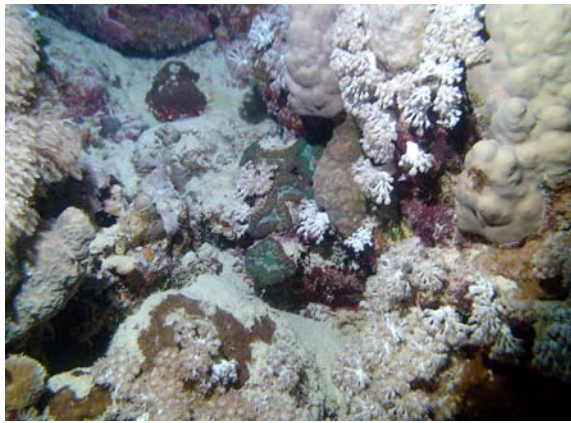
*Horst Grunz Magische Welt des Korallenriffs mit Fluoreszenz*





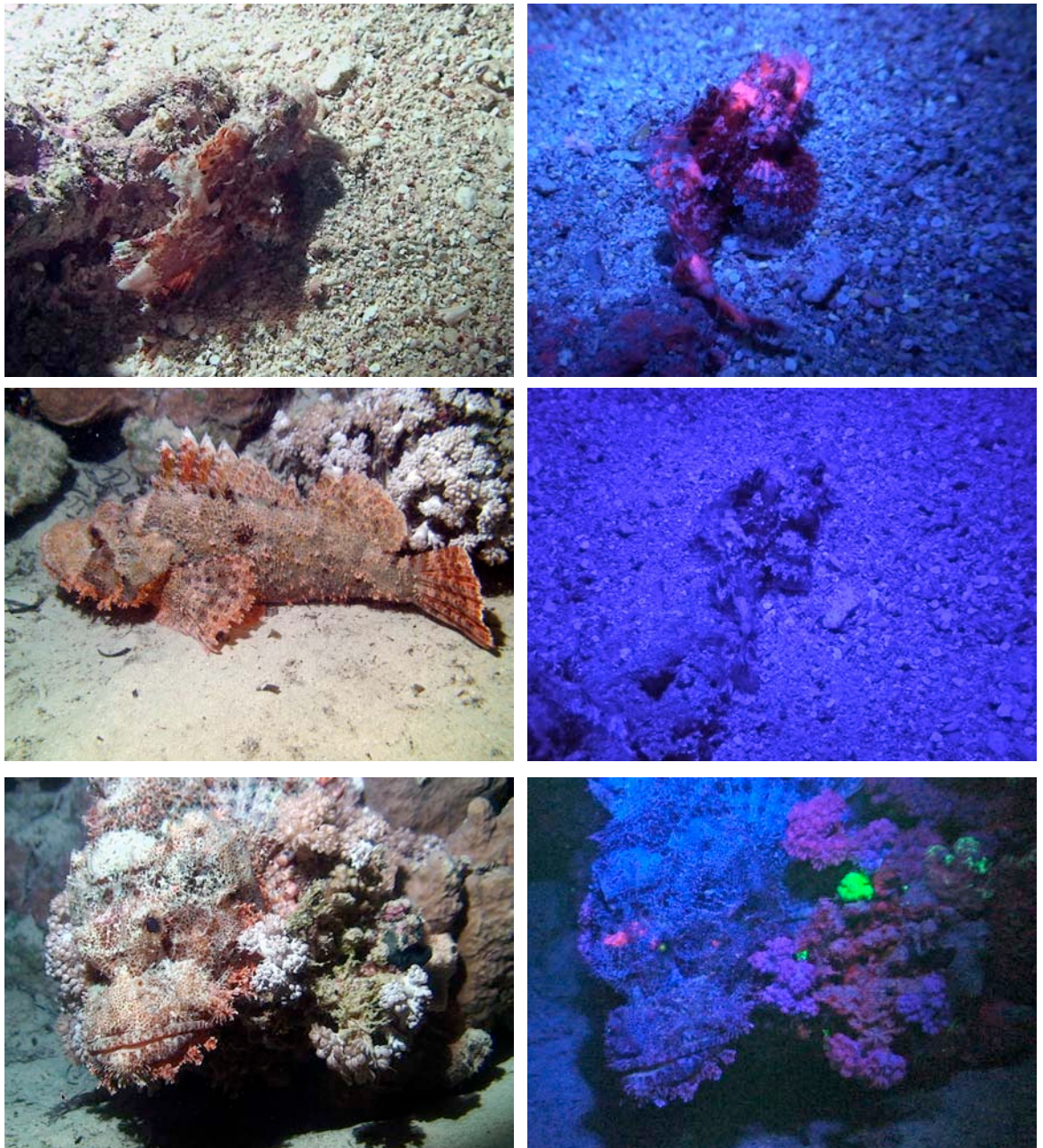






unten: **Gebänderte Scherengarneele** siehe auch meinen YouTube Film <http://www.youtube.com/watch?v=nLMAyYHNeeQ>





### **Drachenkopf**

obere Reihe: Jungtier; weißes Licht links; rechts: Fluoreszenz

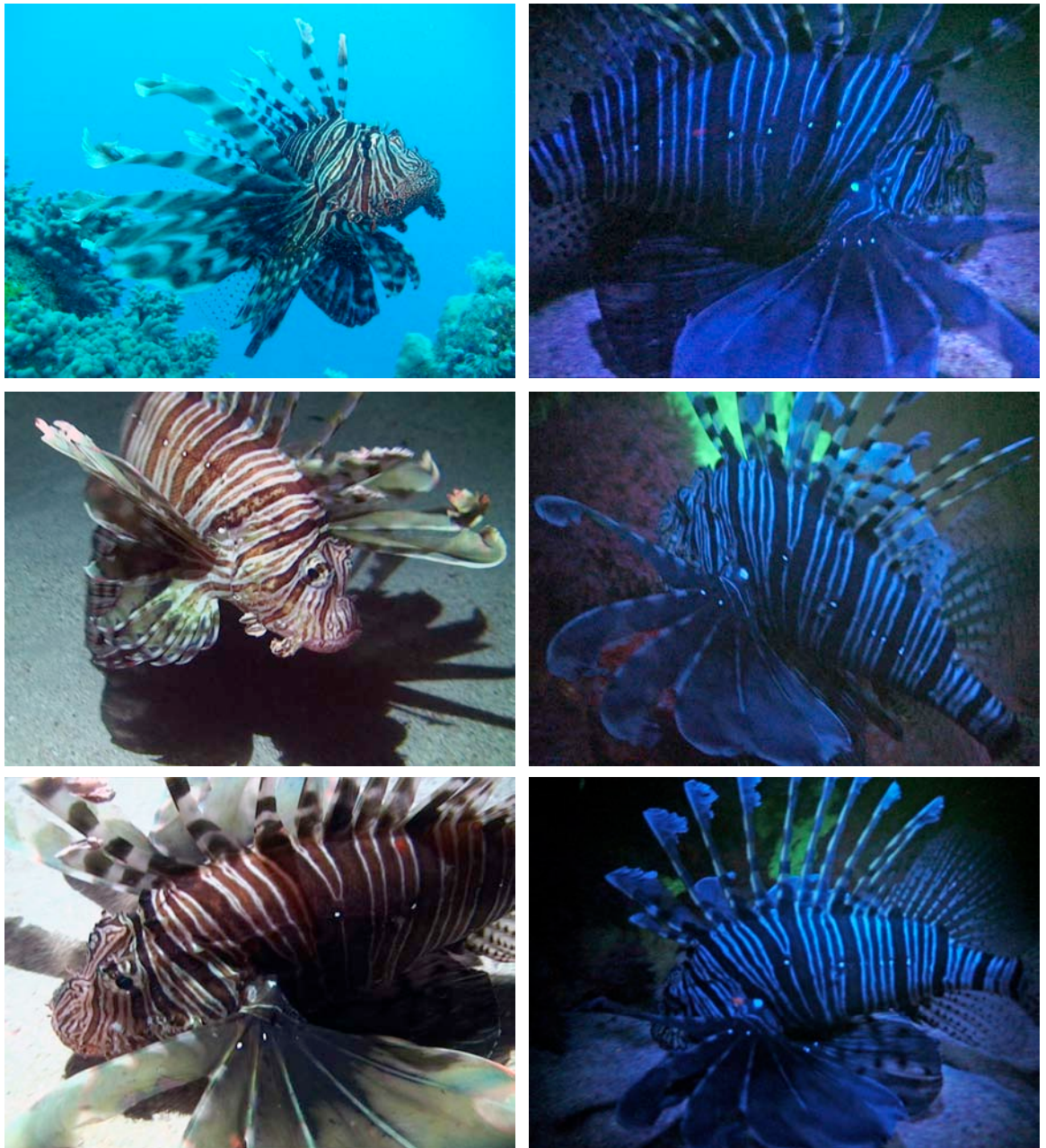
mittlere Reihe: links erwachsenes Tier; rechts Jungtier mit Fluoreszenz ohne Sperrfilter

untere Reihe: erwachsenes Tier mit und ohne Fluoreszenz; im Gegensatz zum Jungtier weist das erwachsene Exemplar nur 2 rosa Flecken am Kopf auf

**siehe auch meinen YouTube Film**

<http://www.youtube.com/watch?v=O9GfctqCGKE>





### **Rotfeuerfische**

obere Reihe links: Exemplar bei Tag

rechte Säule zeigt verschiedene Tiere während Nachttauchgängen mit Fluoreszenz; signifikant sind die hellblauen Flecken auf den Flossen und im Bereich der Seitenlinien, den speziellen Sinnesorganen der Fische

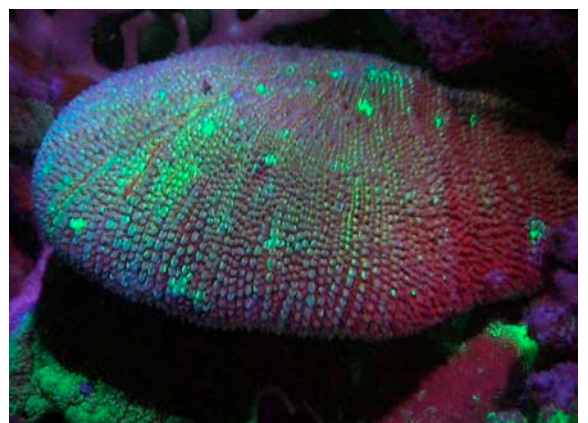
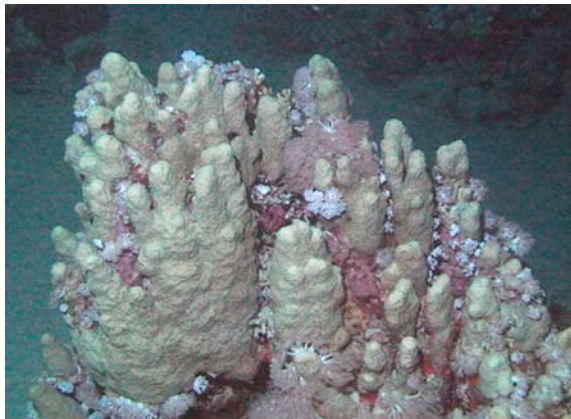
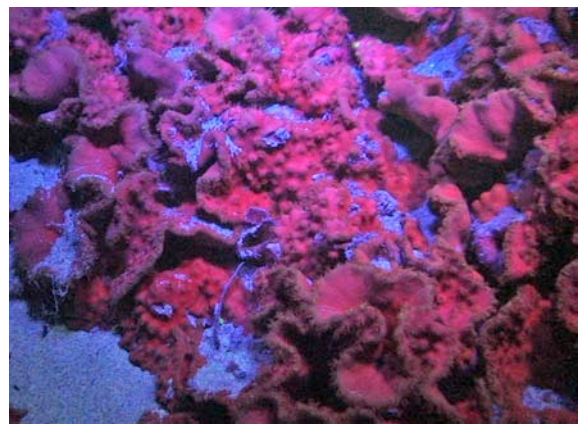
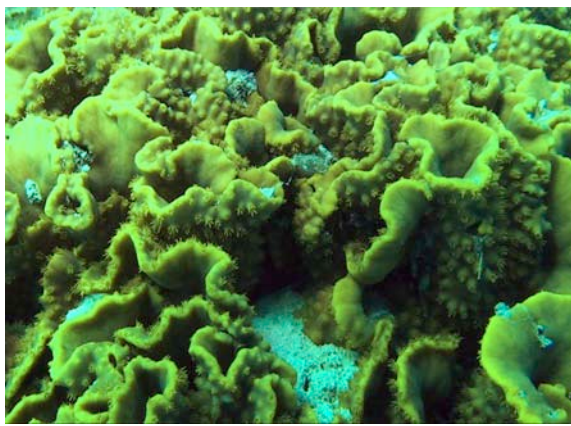
siehe auch meine you tube Filme

<http://www.youtube.com/watch?v=O9GfctqCGKE>

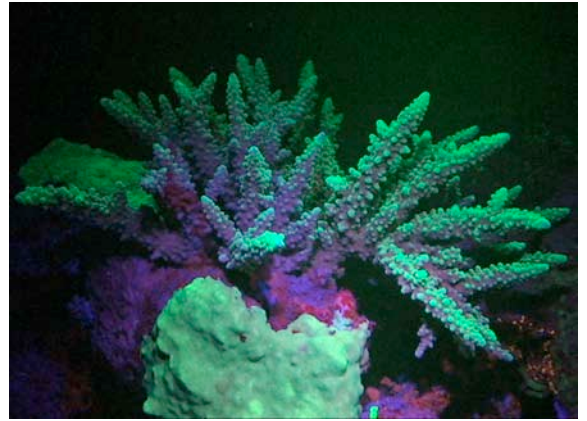
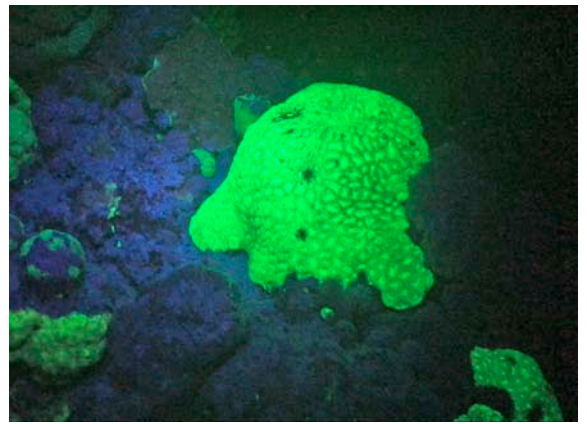
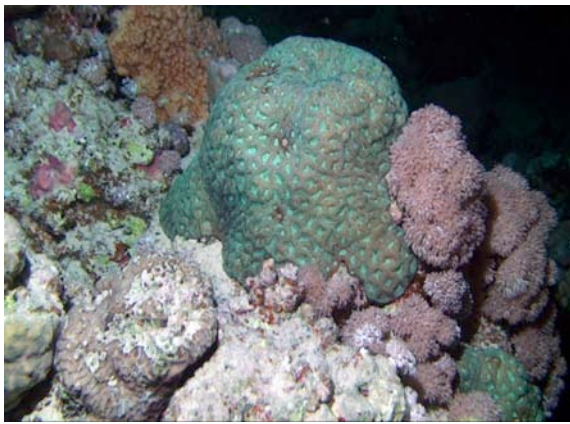
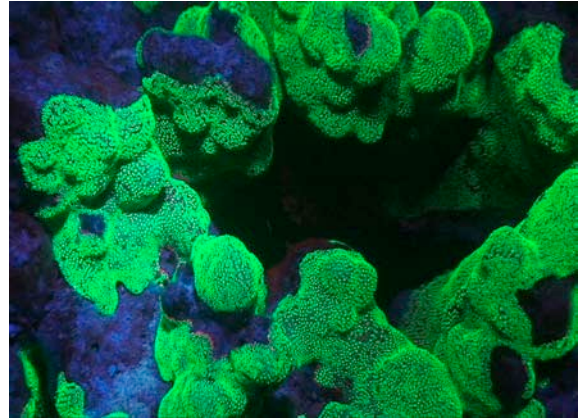
<http://www.youtube.com/watch?v=nLMAyYHNeeQ>



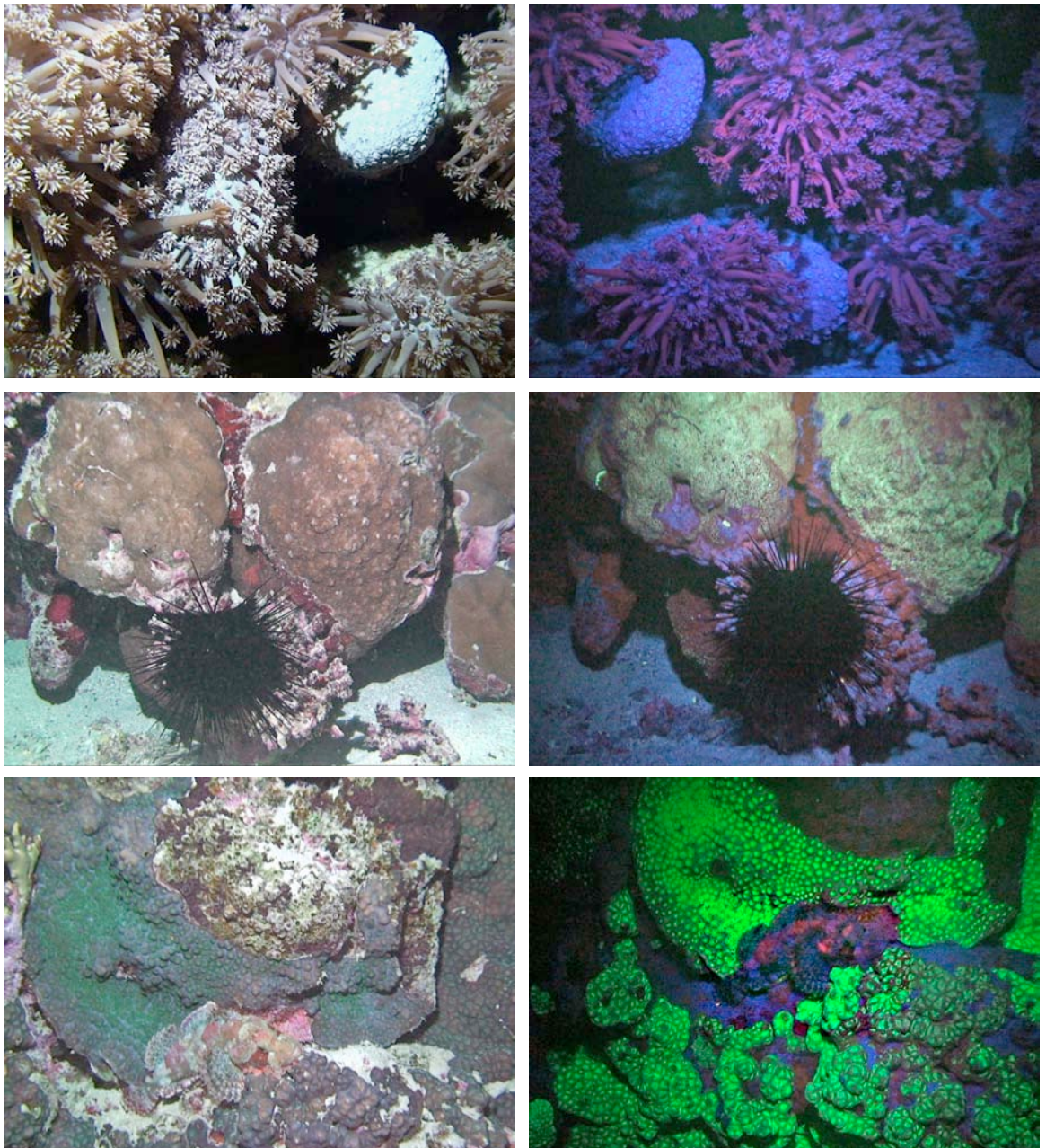
*Horst Grunz Magische Welt des Korallenriffs mit Fluoreszenz*







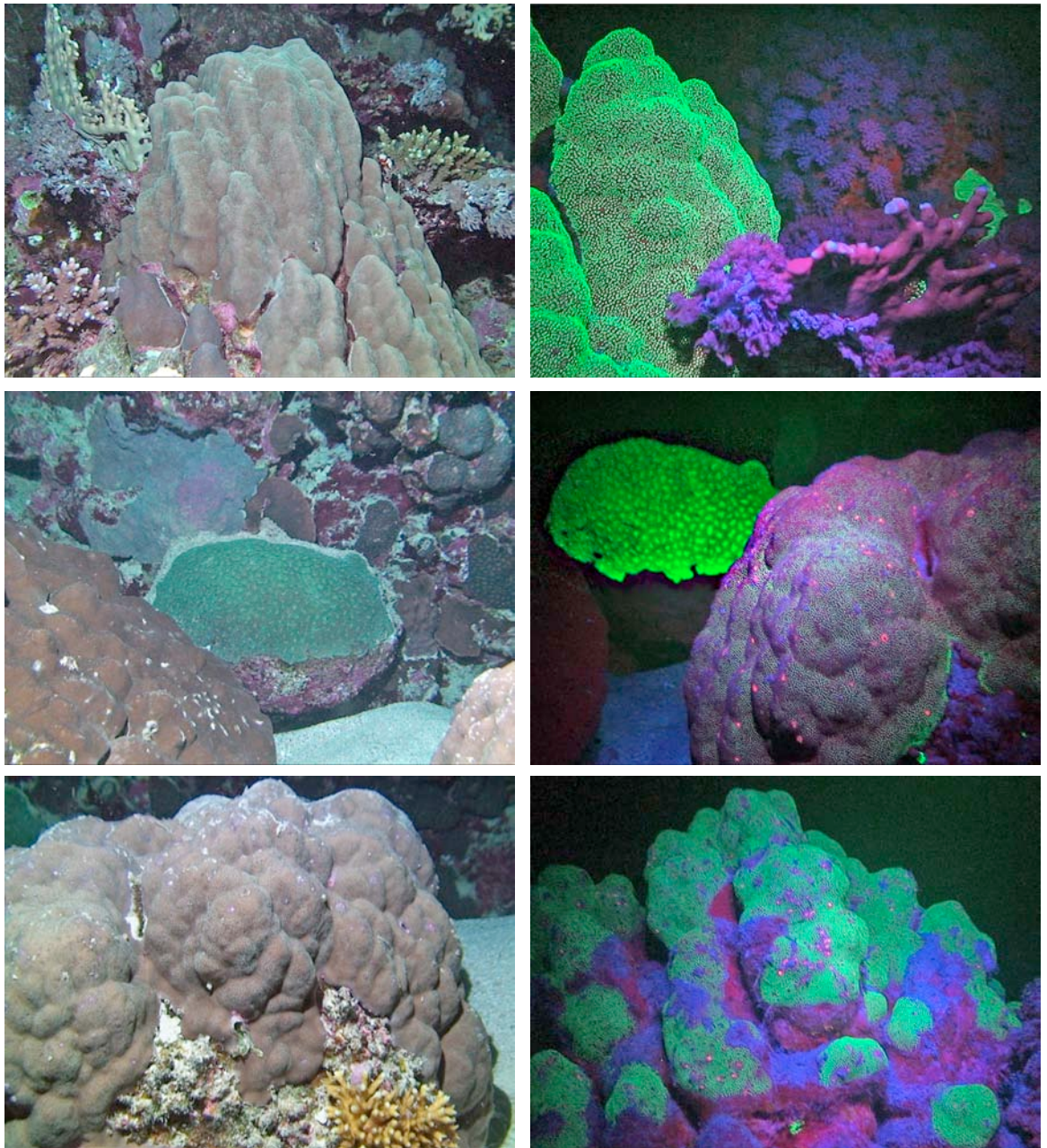




**untere Reihe:** ein junger Drachenkopf kann leicht mit der Fluoreszenztechnik erkannt werden, weil er sich von der grünen Fluoreszenz seiner Umgebung deutlich unterscheidet.

**mittlere Reihe:** der Seeigel weist keine Fluoreszenz auf





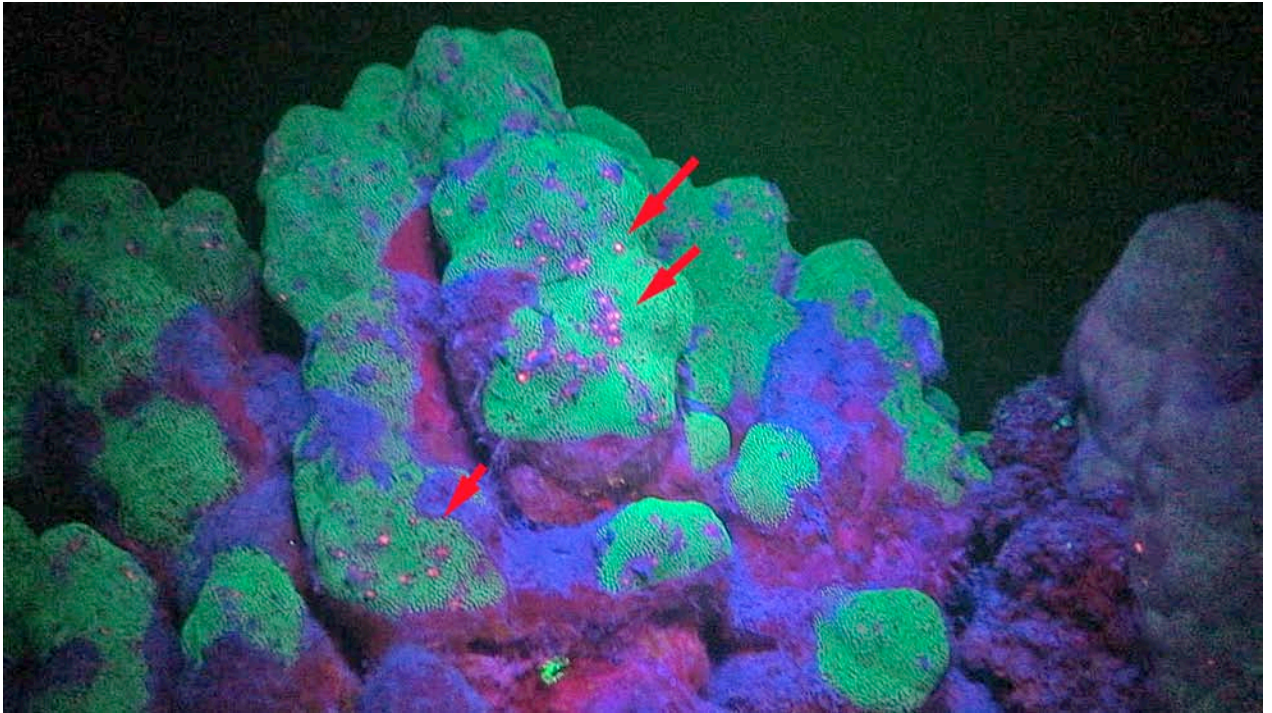
in der mittlereren und unteren Reihe können die Fraßspuren von Papageifischen erkannt werden. Es ist viel einfacher, mit Fluoreszenzlicht anstelle von weißem Licht oder Tageslicht die Fraßspuren als rosa Flecken nachzuweisen.

Man sieht das noch besser in der folgenden Tafel

**siehe auch meinen YouTubeFilm in Bild und Ton (Fraßeräusche) von Papageifischen>**

<http://www.youtube.com/watch?v=COmbc4kLbwU>



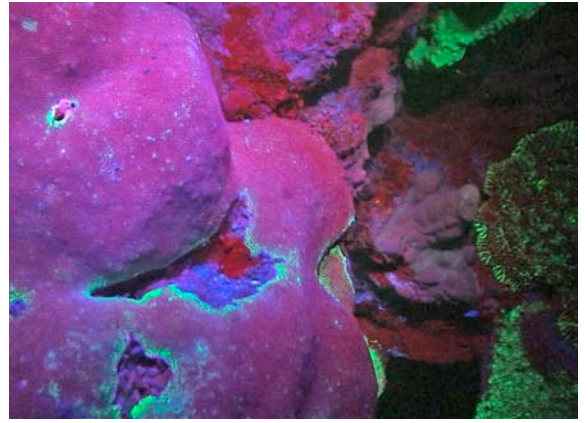
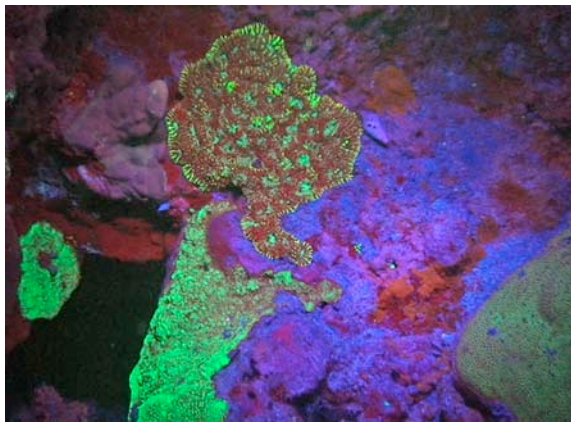
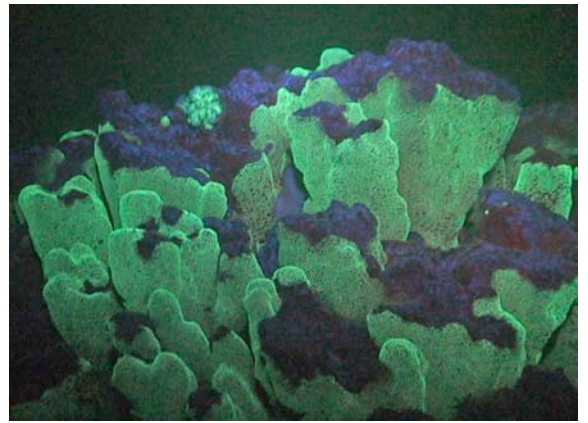
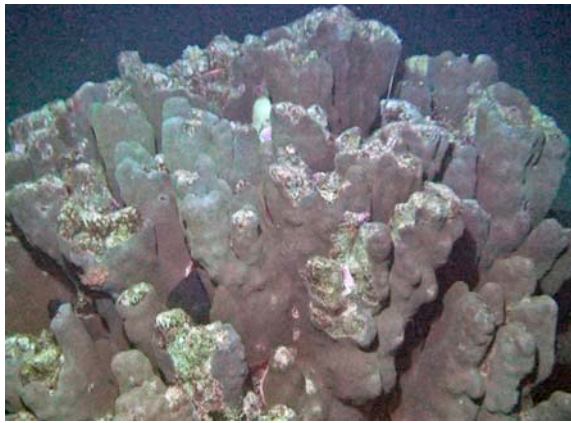


### **Fraßspuren von Papageifischen**

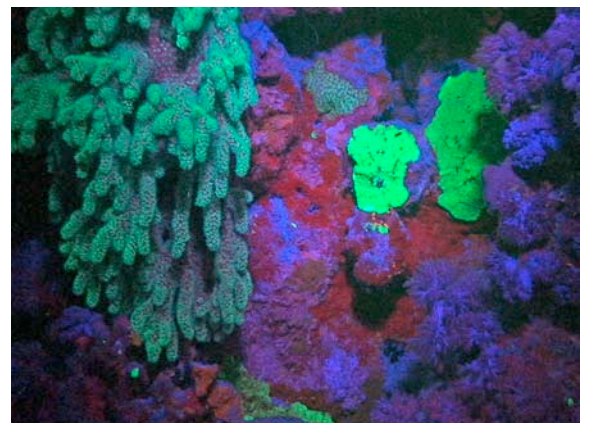
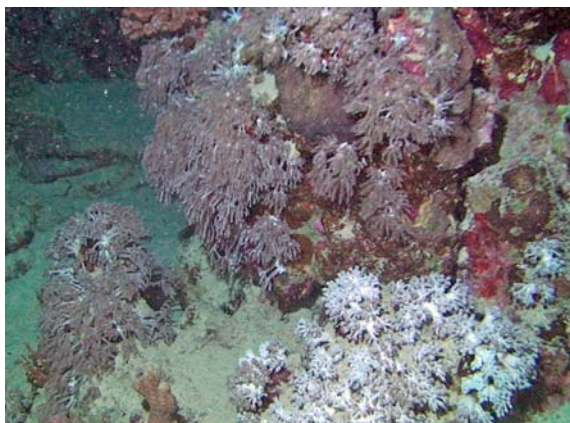
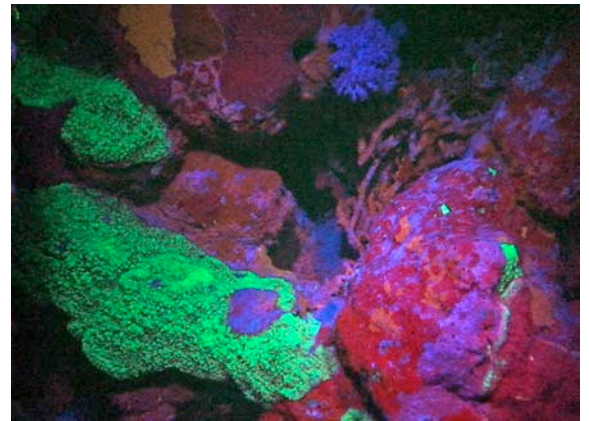
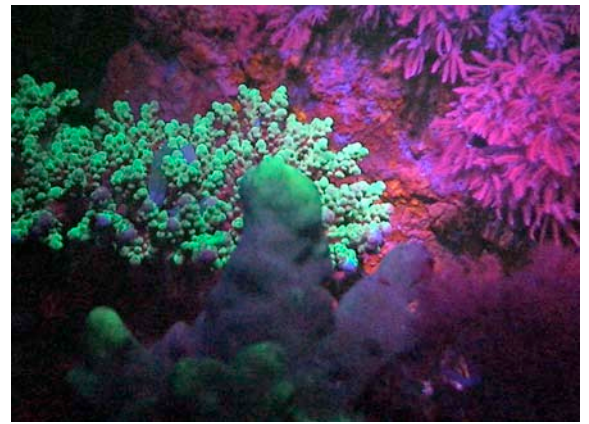
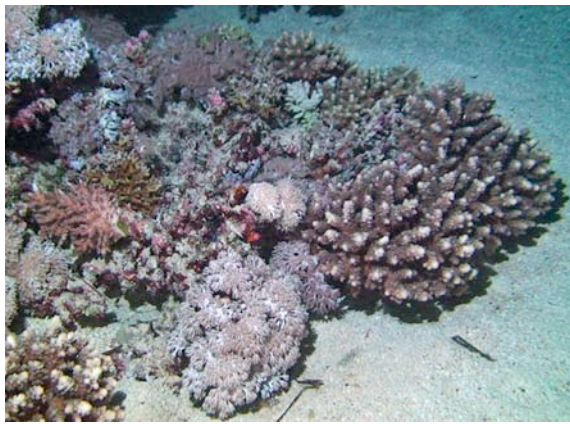
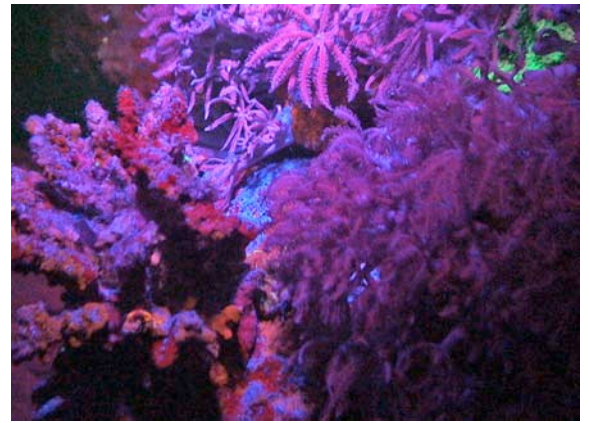
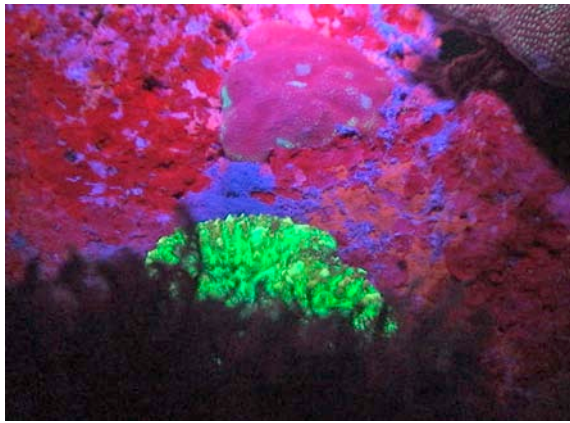
Die Schäden (rote Pfeile) können viel einfacher mit Fluoreszlicht bei Nachttauchgängen als am Tage oder mit weißem Licht nachgewiesen werden

see also my YouTube mpvie about a parrot fish in action >  
<http://www.youtube.com/watch?v=COmbc4kLbwU>

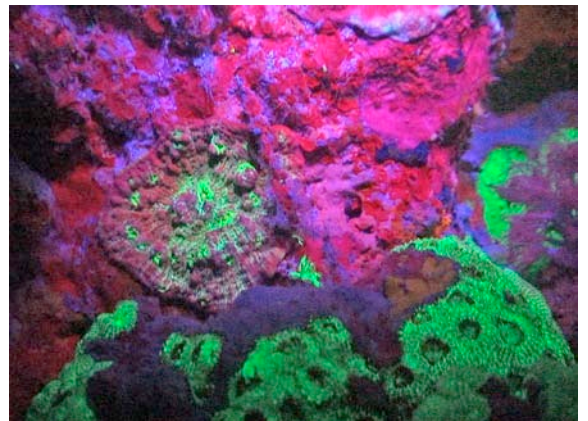
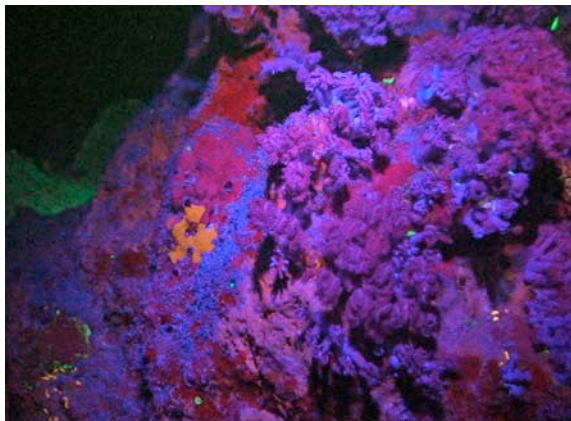
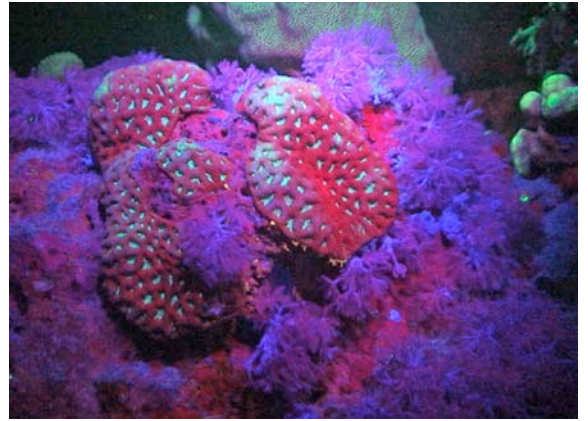
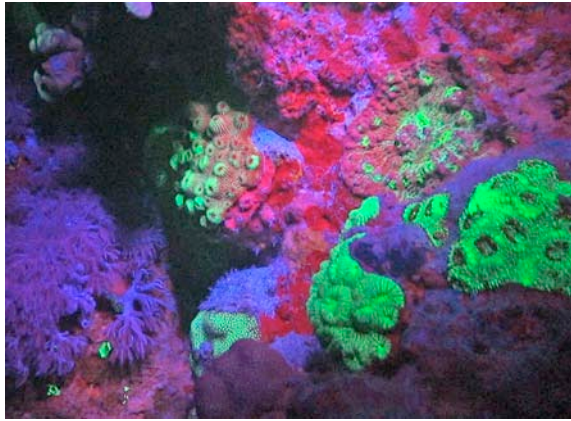
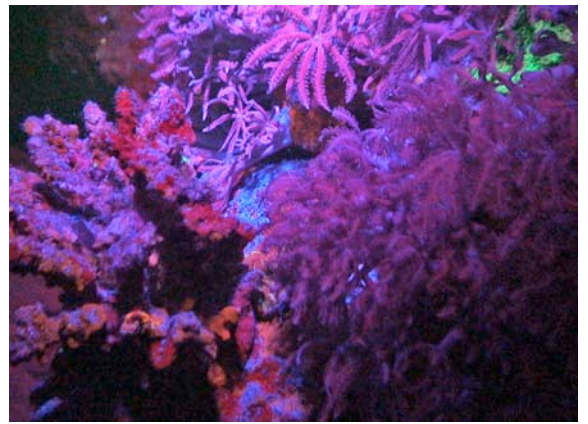
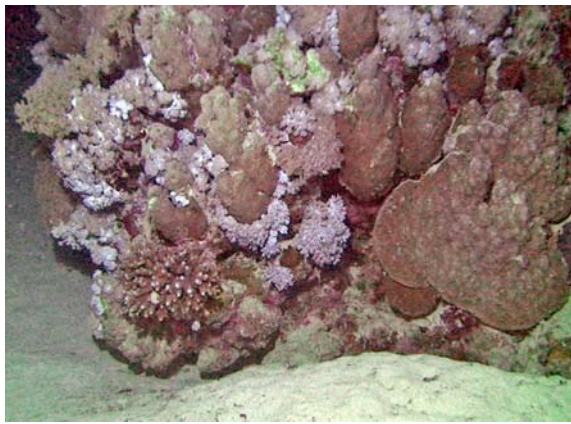
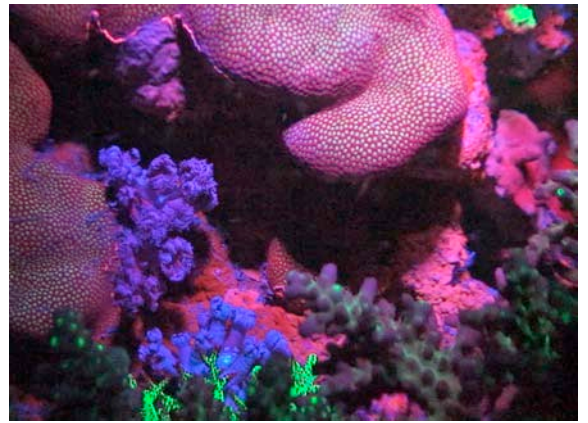
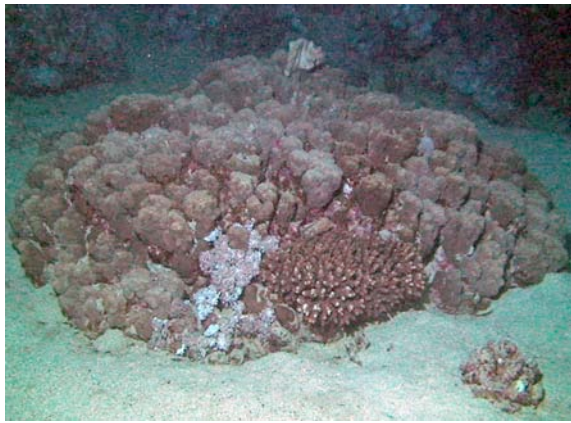




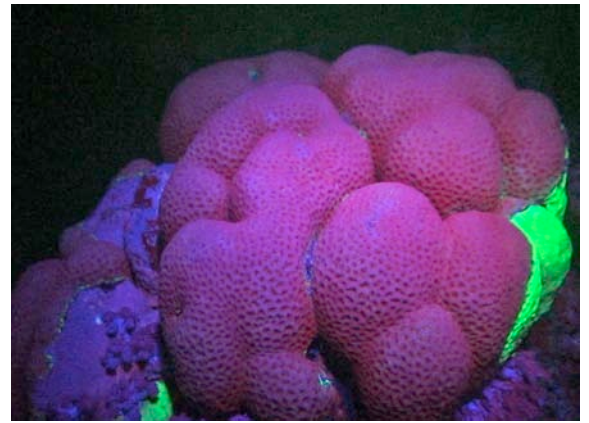
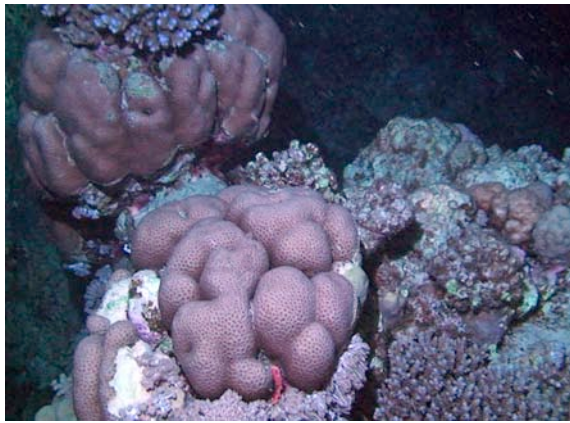






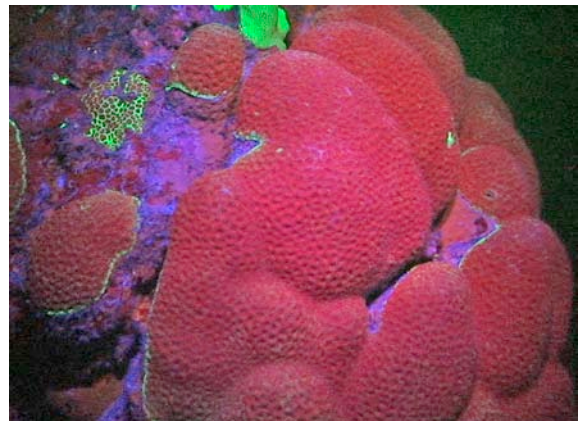
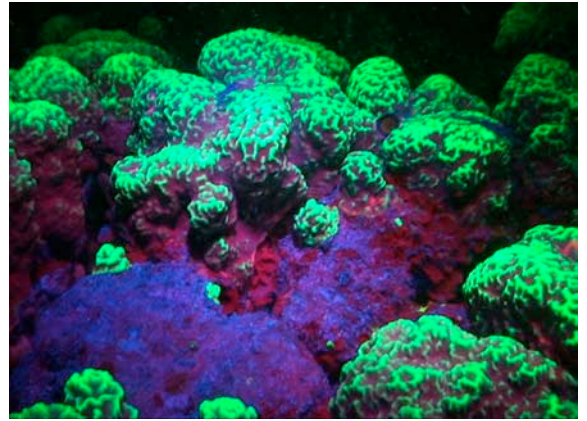
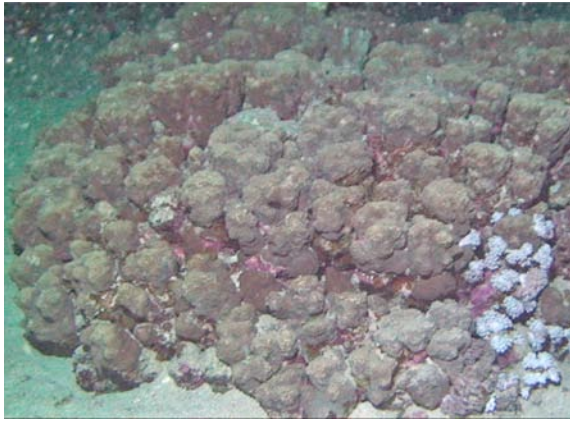
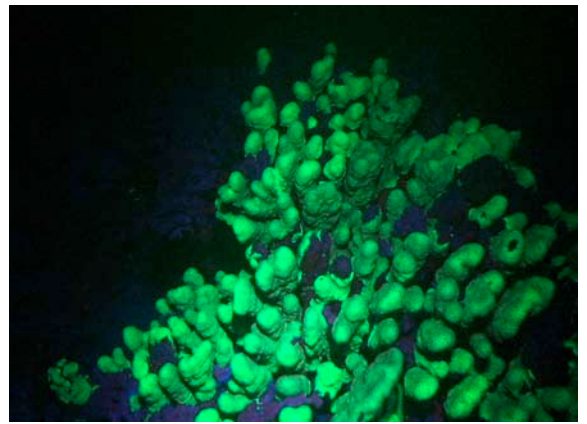
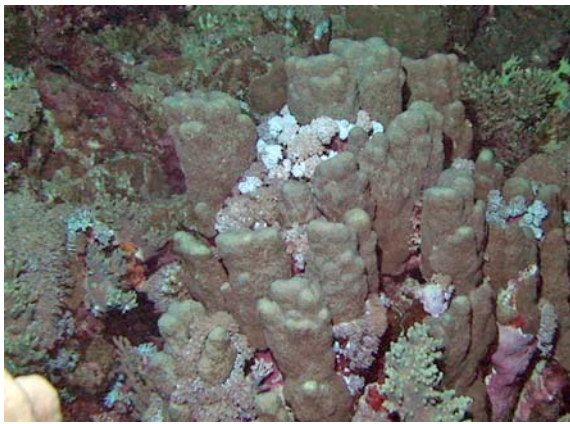




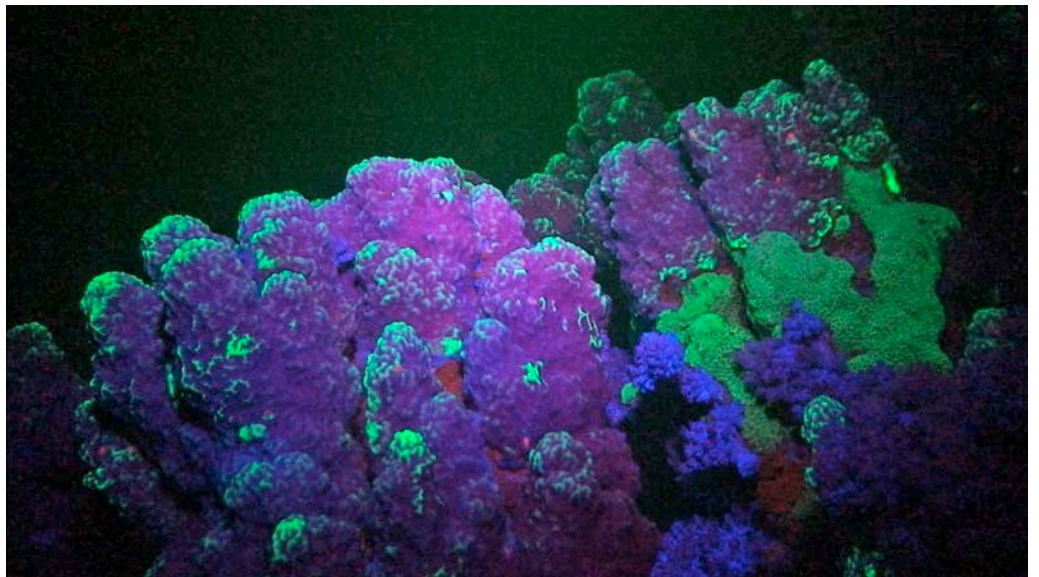
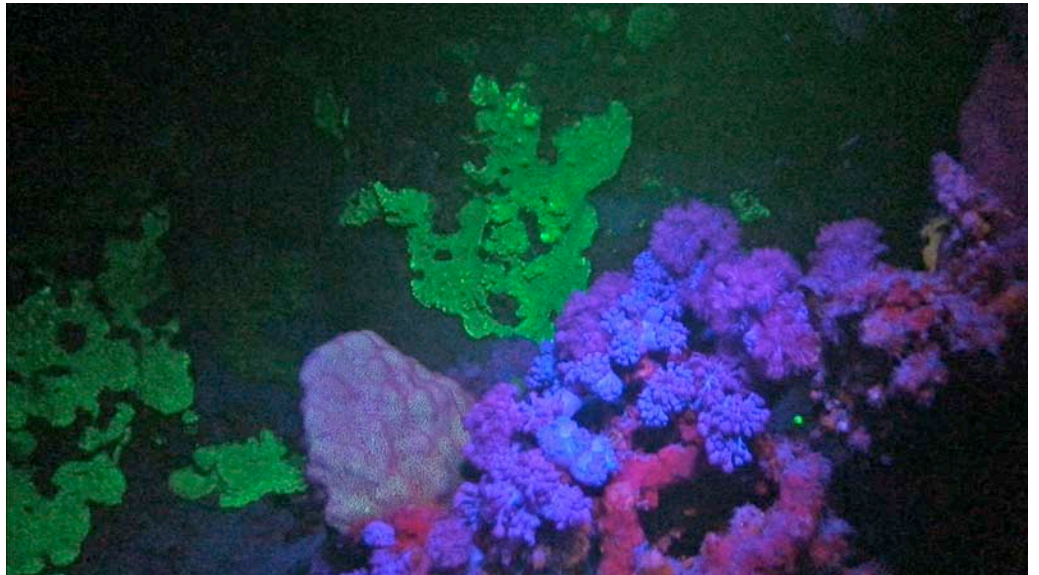
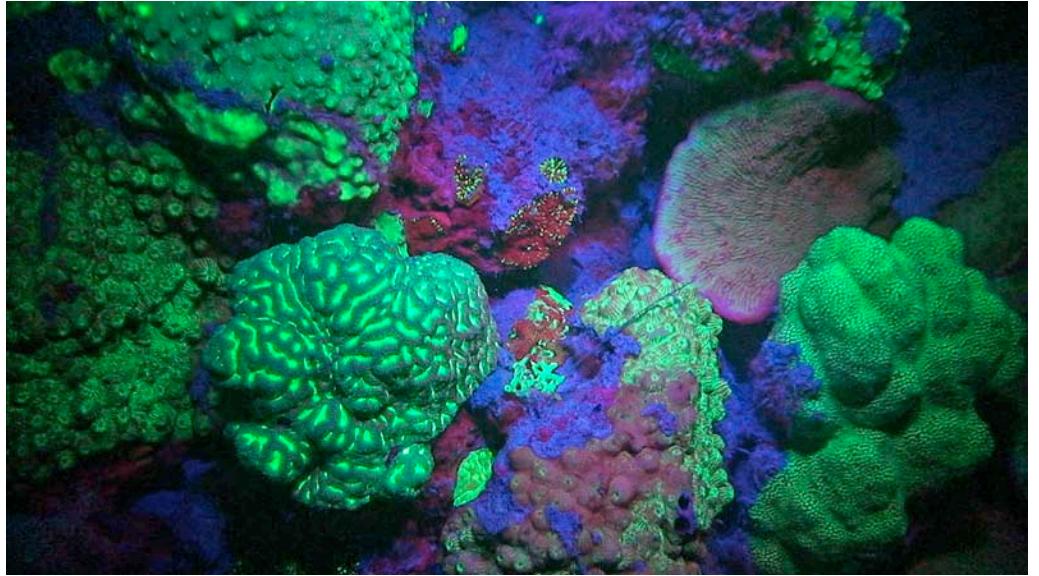


mittlere Reihe: **Riesenmuschel**  
in weißem Licht und Fluoreszenzlicht

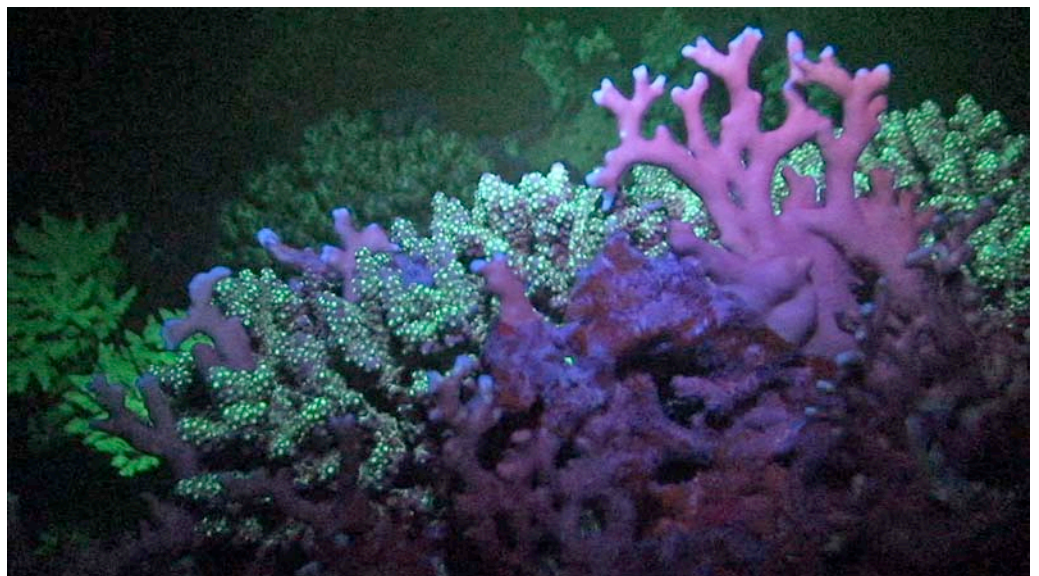
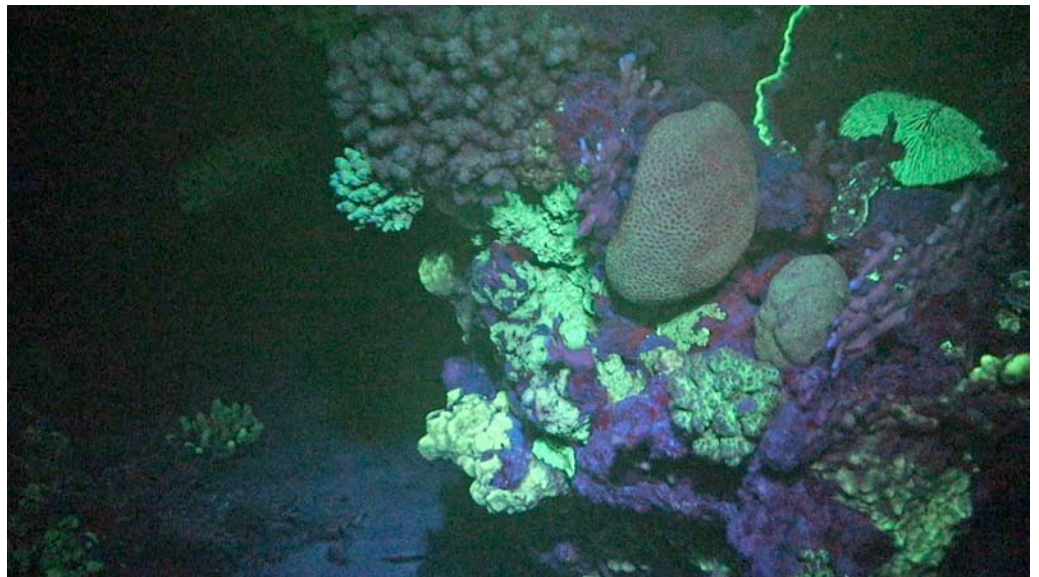
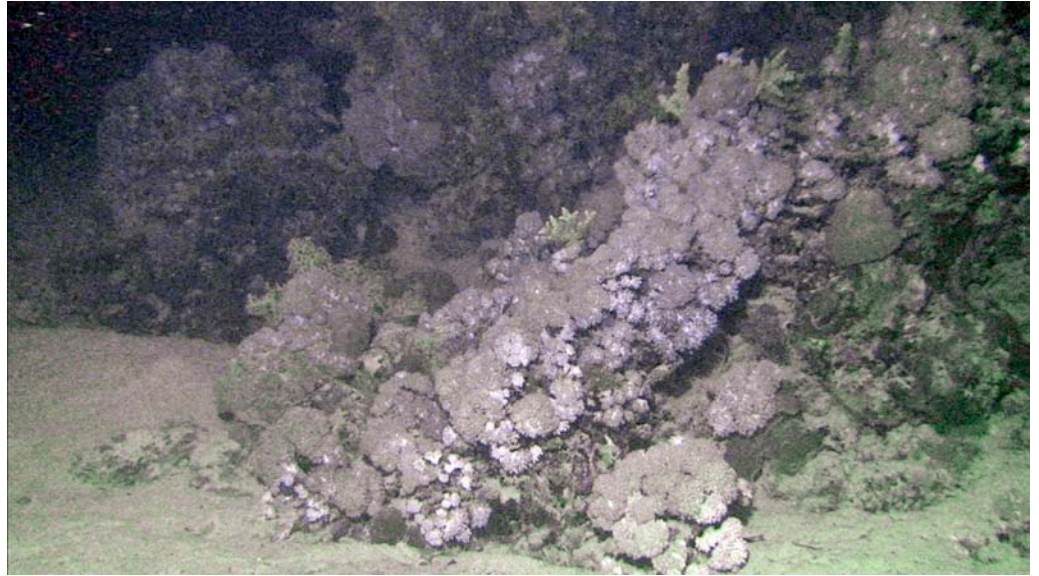






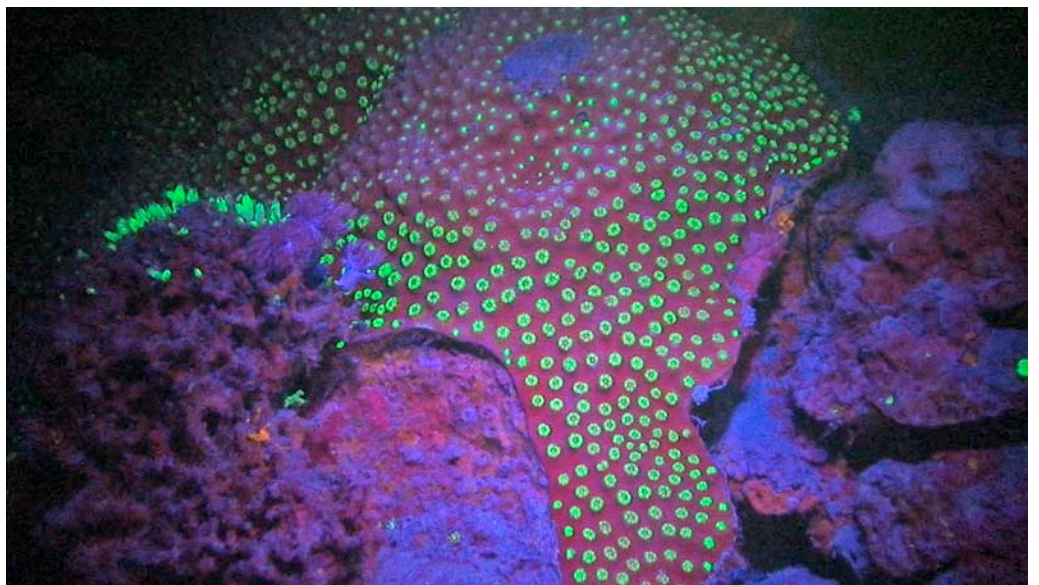
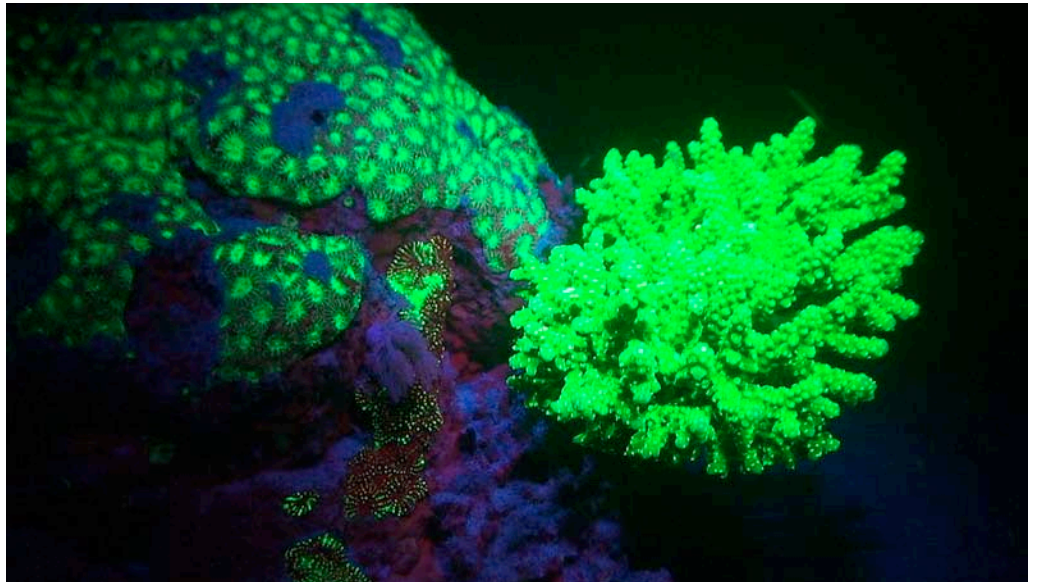
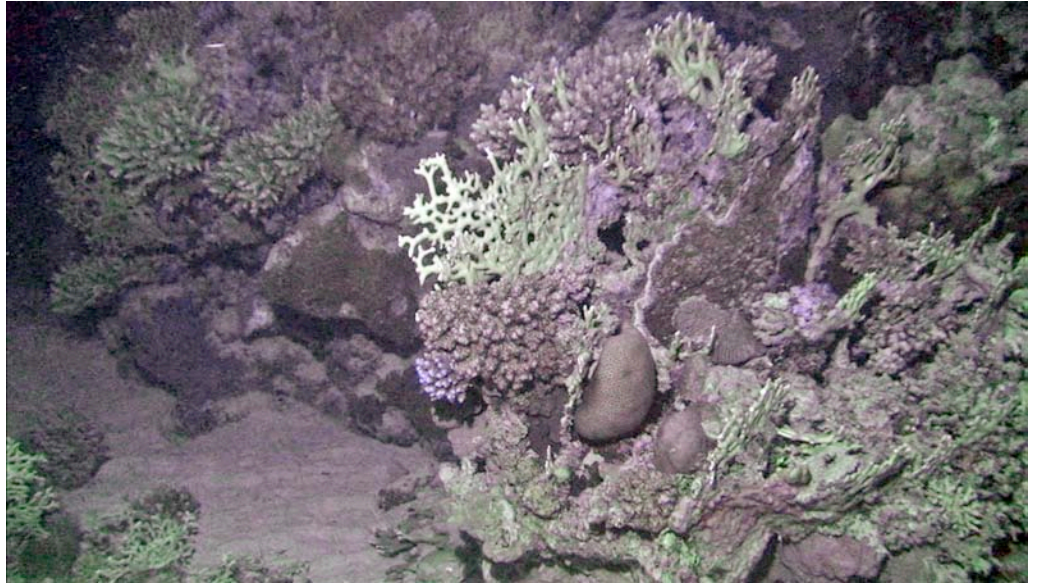






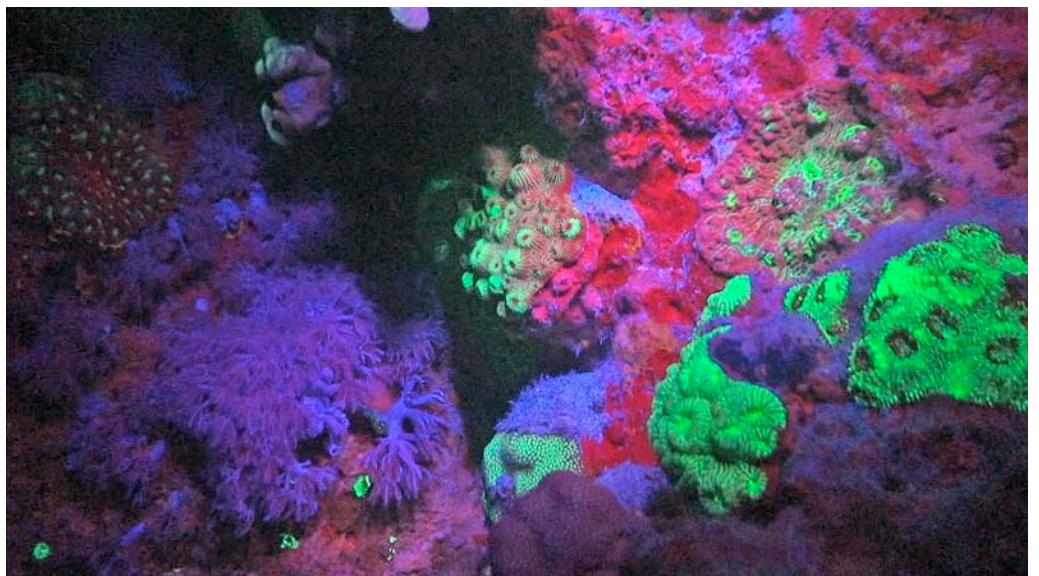
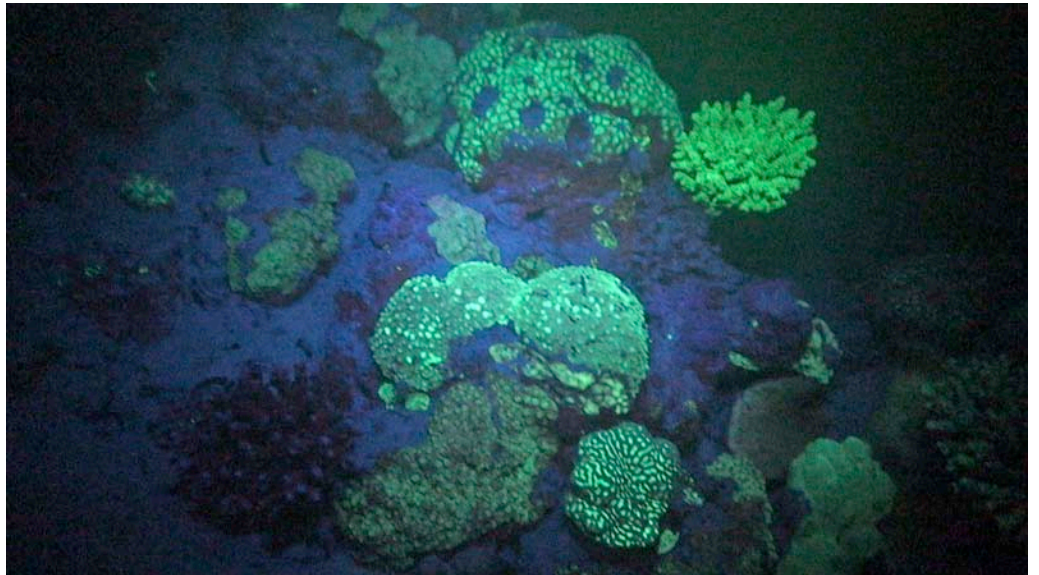
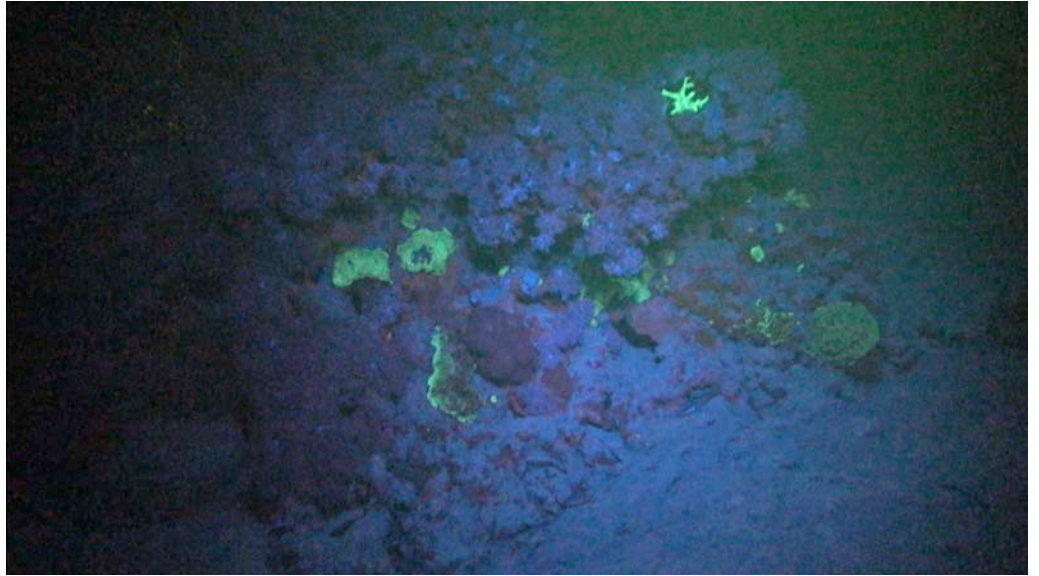
**obere Reihe** : Beleuchtung mit unserer HiTec Leuchte mit einer einzigen weißen Hochleistung LUMINUS LED (2250 Lumen), die die Erfassung einer 5 x 7 Meter Region erlaubt





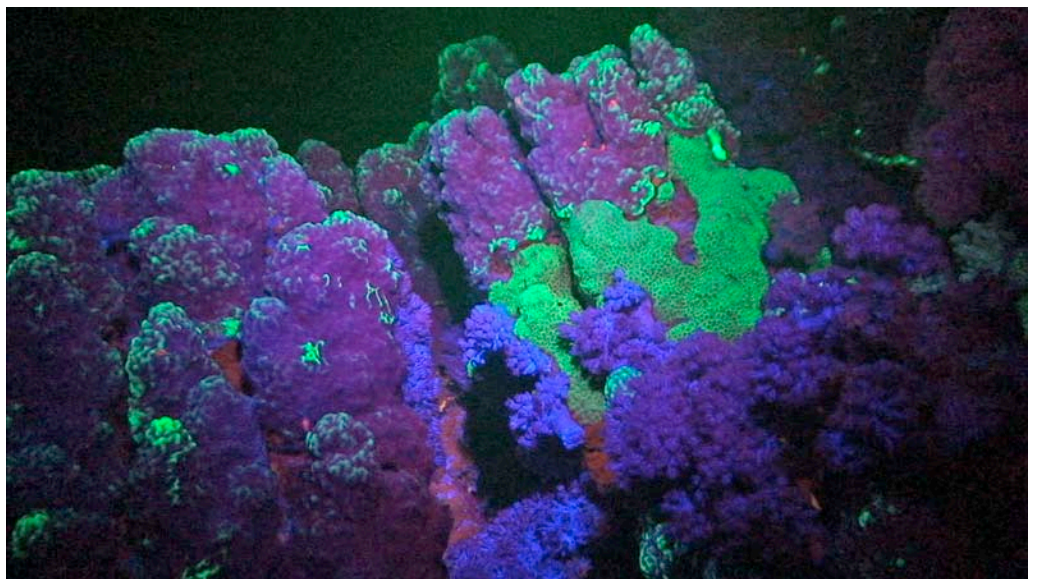
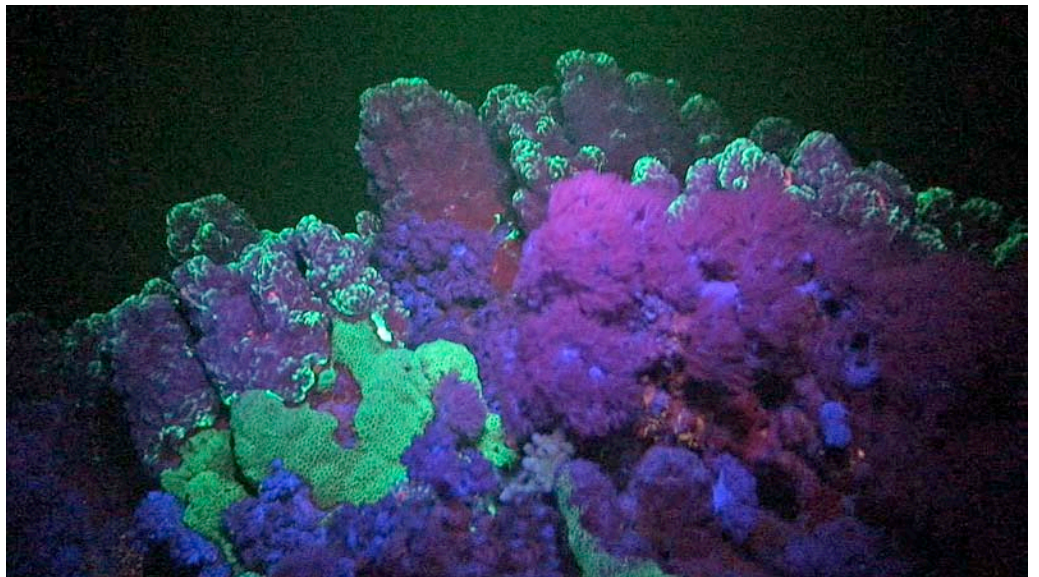
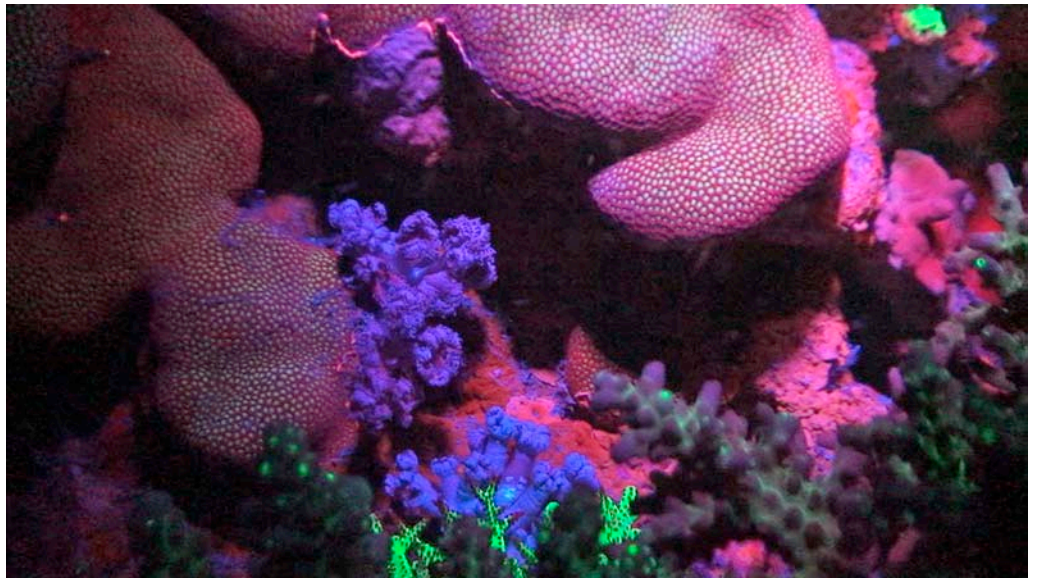
obere Reihe : Beleuchtung mit unserer HiTec Leuchte mit einer einzigen weißen Hochleistung LUMINUS LED (2250 lumen), die die Erfassung einer 5 x 7 Meter Region erlaubt



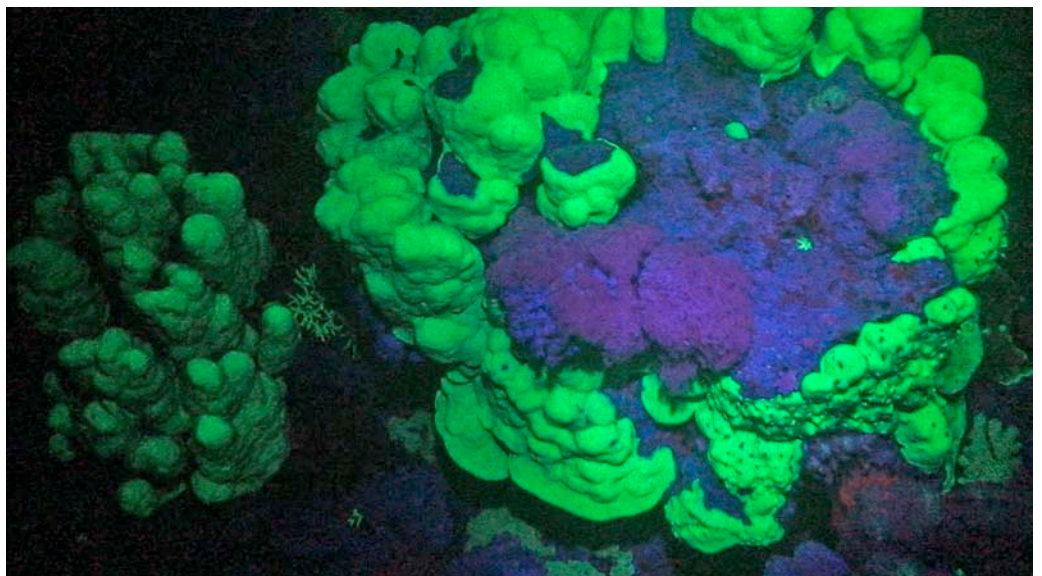
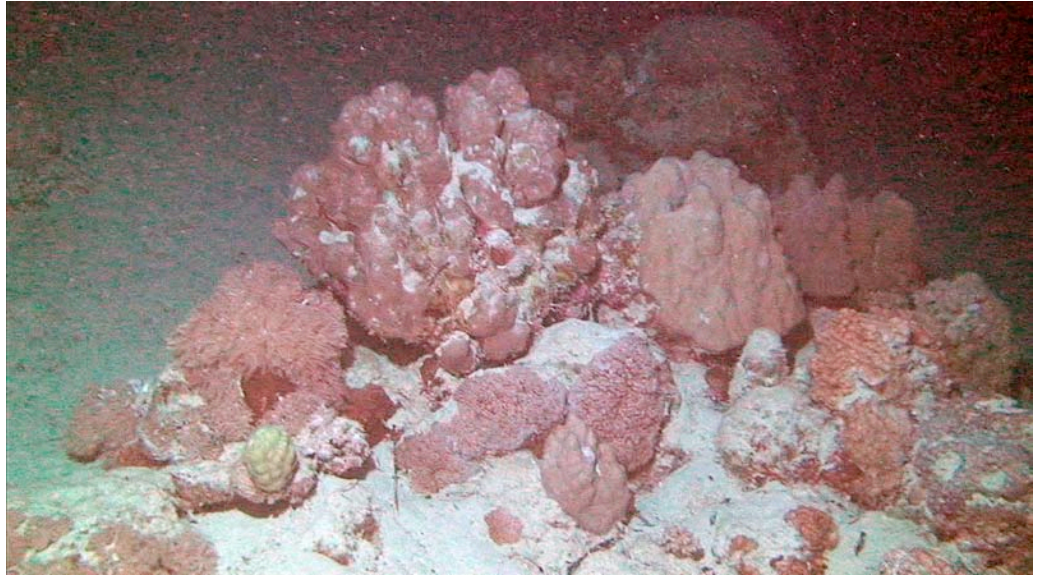


Dokumentation mit unserer HiTec Fluoreszenzleuchte, die die Ausleuchtung einer 5 x 7 Meter Region erlaubt. Besonders Korallen mit gelb/grüner Fluoreszenz können noch in großer Entfernung identifiziert werden.



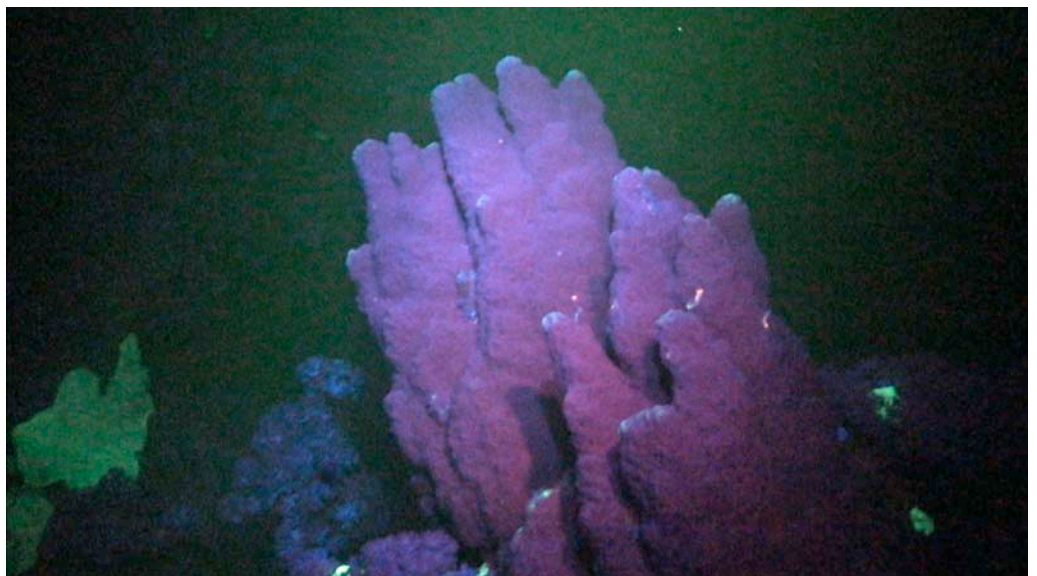
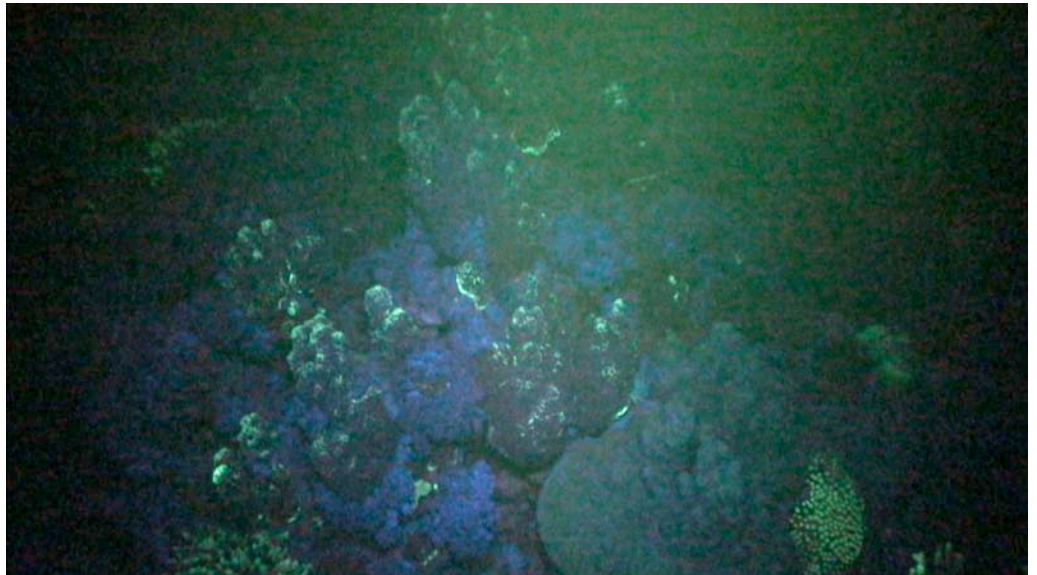
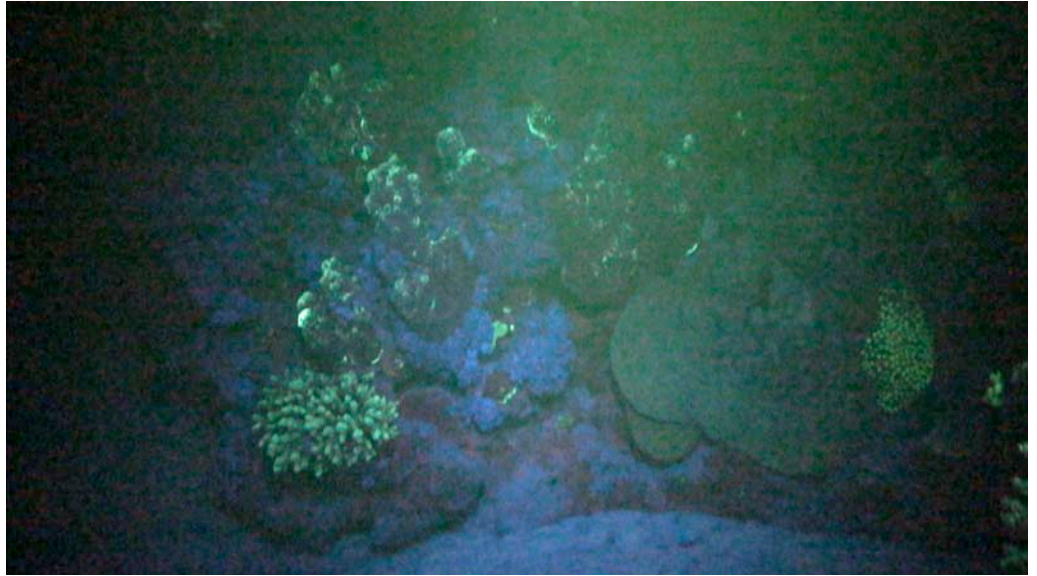






**obere Reihe:** Beleuchtung mit unserer weißen HiTec Leuchte mit einer einzigen Hochleistung LUMINUS LED (2250 Lumen), die die Erfassung einer 5 x 7 Meter Region erlaubt





Dokumentation mit unserer HiTec Fluoreszenzleuchte, die die Ausleuchtung einer 5 x 7 Meter Region erlaubt. Besonders Korallen mit gelb/grüner Fluoreszenz können noch in großer Entfernung identifiziert werden.



