

Ongeslachtelijk kweken van *A. cervicornis*
Een evaluatie van groei en overleving in gebieden met verschillende
(a)biotische factoren

Olle Juch



Figuur 1: Microfoto van Acropora cervicornis.
Fotograaf: Jente van Langerak



BRANCH
Coral Foundation



van hall
larenstein
university of applied sciences

Ongeslachtelijk kweken van *A. cervicornis*
Een evaluatie van groei en overleving in gebieden met verschillende
(a)biotische factoren

Olle Juch



Figuur 1: Microfoto van Acropora cervicornis.
Fotograaf: Jente van Langerak

1 februari 2023 – 13 juli 2023

BSc Kust- en zee management, Hogeschool van Hall Larenstein

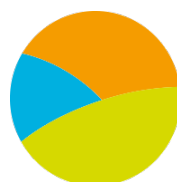
Onderzoeksstage

Olle Juch - 000025711

Onderzoeksverslag

Stagebieder: Max van Aalst, BRANCH Coral Foundation

Stagebegeleider: Patrick Bron



van hall
larenstein
university of applied sciences

Abstract

Koraalriffen spelen een belangrijke rol in kustgemeenschappen, maar worden bedreigd door verschillende factoren zoals ziektes, klimaatverandering, overbevissing en abiotische invloeden. Dit onderzoek richt zich specifiek op het herstel van Staghooorkoraal op vier verschillende locaties bij Blue Bay Beach op Curaçao. De groei van het koraal, visbiomassa, visbiodiversiteit en abiotische factoren zijn geanalyseerd om inzicht te krijgen in de condities en processen die van invloed zijn op het herstel. De resultaten van het onderzoek tonen aan dat gedurende een periode van drie maanden exponentiële groei van de *A. cervicornis* is waargenomen op drie van de vier onderzochte locaties. Deze bevindingen wijzen op gunstige omstandigheden voor de groei van het koraal. Er werden echter geen significante verschillen gevonden in visbiomassa en visbiodiversiteit tussen de locaties, wat suggereert dat de aanwezigheid van koraal en de daarmee samenhangende vispopulaties vergelijkbaar waren. Bij het analyseren van abiotische factoren werden enkele variaties waargenomen, zoals verschillen in saliniteit, carbonaathardheid en ammoniumconcentratie tussen de locaties. Hoewel deze variaties aanwezig waren, was het niet genoeg om een onderscheid te maken tussen de groei en het herstel van het koraal op de verschillende locaties. Deze bevindingen dragen bij aan het begrip van koraalherstel en kunnen nuttige informatie bieden bij het identificeren van geschikte locaties voor toekomstige herstelprojecten. Het behoud en herstel van koraalriffen blijven van belang om de biodiversiteit te behouden en de vele voordelen die koraalriffen bieden aan kustgemeenschappen te waarborgen.

Inhoudsopgave

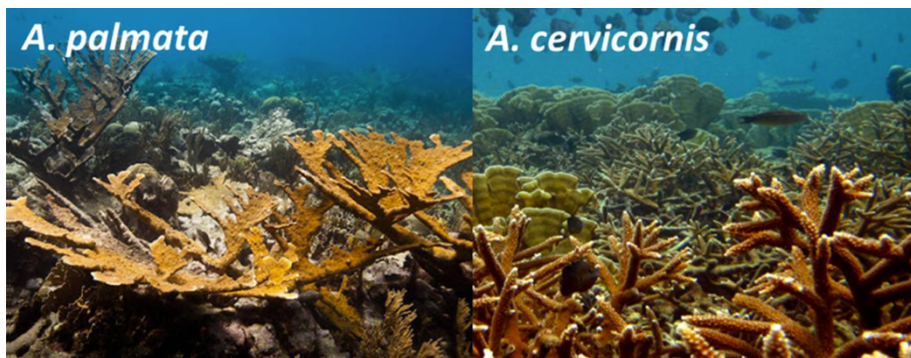
1	Introductie	5
1.1	Onderzoeksvraag	7
1.2	Deelvragen	7
2	Methode	7
2.1	Vorbereiding van onderzoeksofstelling	7
2.2	Sample verzameling	8
3.2	Statische analyse	9
3	Resultaten	10
3.1	Koraalgroei	10
3.2	Visbiomassa	11
3.3	Visbiodiversiteit	12
3.4	Abiotische factoren	13
4	Discussie	14
5	Conclusie	16
6	Dankwoord	17
7	Bronvermelding	18
	Appendix 1	20
	Appendix 2	20

1 Introductie

Koraalriffen zijn een belangrijke kusthabitat, die mensen van voedsel, werkgelegenheid, recreatiemogelijkheden, kustbescherming, medische producten en cultuur voorzien. Terwijl ze ook koolstof vastleggen en een kraamkamer zijn voor vissen en ongewervelde dieren (Knowlton et al., 2021).

Ziekte-epidemieën, veroorzaakt door klimaatverandering, hebben geleid tot massale afsterving van *Diadema antillarum* zee-egels in het Caribisch gebied. Een internationaal team van onderzoekers, waaronder Wageningen University & Research en Hogeschool Van Hall Larenstein, heeft ontdekt dat trilhaardiertjes verantwoordelijk zijn voor massasterfte onder de *Diadema antillarum* (Lessios, 2016).

Sinds de late jaren 1970 heeft White Band Disease (WBD) geleid tot achteruitgang van de *Acropora cervicornis* en *Acropora palmata* koralen in het Caribisch gebied (zie figuur 2). Verliezen tot 95% van de levende acroporid-bedekking zijn gemeld, waardoor beide soorten nu bedreigd worden beschouwd. Herstel verloopt langzaam vanwege beperkte larvenverspreiding en slechte rekrutering, evenals een sterke afhankelijkheid van asexuele voortplanting (Vollmer, 2008).



Figuur 2: *A. palmata* (links) en *A. cervicornis* (rechts) zijn belangrijke, kwetsbare rifbouwers in het Caribisch gebied.

Fotograaf: Max van Aalst

Koraalriffen bestaan uit snelgroeiende harde koralen, de zogenaamde rif-bouwende koralen, die een basis vormen waarop zowel harde als zachte koralen kunnen groeien. De rif-bouwende koralen vormen de basis van een heel ecosysteem. Als deze soorten verdwijnen kan het daarom catastrofale gevolgen hebben voor een tal aantal soorten binnen een gezond koraalrif ecosysteem (Gignoux-Wolfsohn et al., 2015).

Naast dat deze koralen zo belangrijk zijn voor een functionerend koraalrif ecosysteem zijn ze ook kwetsbaar. Een aantal (a)biotische factoren moeten in optimale verhoudingen zijn voor koralen om te kunnen overleven en voortplanten (Sheppard et al., 2017). Saliniteit is een belangrijke factor die van invloed is op het welzijn van koraalriffen (Hamilton et al., 2017). Een te lage saliniteit kan er daarnaast voor zorgen dat het koraal niet voldoende voedingsstoffen kan opnemen. Een te hoge saliniteit kan daarentegen juist leiden tot uitdroging van het koraal (Connell et al., 1992)

Verschillende concentraties van voedingsstoffen, zoals ammoniak en nitraat, kunnen ook van invloed zijn op het welzijn van koraalriffen. Ammoniak is geen voedingsstof voor koraal, maar een bijproduct van afvalstoffen die door vissen en andere zeedieren worden afgegeven. Hoge concentraties ammoniak in het water kunnen schadelijk zijn voor het koraal en leiden tot verbleking en sterfte. Nitraat daarentegen is wel een belangrijke voedingsstof voor koraal. Te hoge concentraties nitraat kunnen echter leiden tot overmatige algengroei, wat kan leiden tot verstikking van het koraal en een afname van de biodiversiteit in het ecosysteem (Burkepile, 2009).

Overbevissing is een groot probleem voor de koraalriffen van Curaçao en heeft een grote invloed op het mariene ecosysteem. Door overbevissing worden belangrijke vissoorten, zoals herbivoren, in

grote aantallen weggevangen. Bij genoeg herbivoren (en ook nog andere factoren zoals niet te veel vervuiling) is er een dynamisch balans (equilibrium). Waarbij de koralen de dominante factor zijn op het rif. Echter door een toename aan nutriënten en een afname van herbivoren, gaan de algen overheersen en raakt het systeem uit balans. Het ecosysteem is dan door algen gedomineerd en koralen sterven (Jackson et al., 2001).

Zoals met het meeste ecosysteembeheer, kan het beheer van koraalriffen worden onderverdeeld in twee hoofdgebieden: behoud en herstel. De focus van dit onderzoek zal liggen op koraalherstel. Dit onderzoek richt zich op het bestuderen van de groeisnelheid van Staghornkoraal op vier verschillende locaties bij Blue Bay Beach op Curaçao. Om deze groeisnelheid te kunnen meten, wordt er gekeken naar verschillende biotische en abiotische factoren, zoals saliniteit, vissoorten, nutriënten en pH. Deze (a)biotische factoren zijn van cruciaal belang voor dit onderzoek omdat zij de omgeving van het koraal beïnvloeden en daarmee ook de groei en overleving (Burkepile, 2008).

De vier gebieden waar de metingen worden verricht zijn: een rif met 30% koraalbedekking (coördinaten: 12.1351261, -68.9869466), een rif met 5% koraalbedekking (coördinaten: 12.1348180, -68.9863458), een 0% koraalbedekking (coördinaten: 12.1341631, -68.9854861) en de controlegroep (coördinaten: 12.1342345, -68.9857688), die zich in de kwekerij bevindt (zie figuur 3). De koralen in de controlegroep heeft zes maanden de tijd gehad om te groeien in de kwekerij. Daarnaast worden de Macro en turf algen die nadelig zijn voor koraalgroei in de controlegroep wekelijks verwijderd door middel van schoonmaakwerkzaamheden die één keer per twee weken plaatsvinden. In tegenstelling tot de experimentele groepen daar wordt dit niet gedaan. Bovendien hangt de controlegroep minimaal 1 meter boven de grond in een boomconstructie, waardoor er geen sedimentatie plaatsvindt (zie figuur 4).



Figuur 3: Een kaart van Curaçao Blue Bay Beach met de verschillende locaties. Groen; rif met 30% koraalbedekking, rood; rif met 5% koraalbedekking, roze; controlegroep en geel; 0% koraalbedekking. Google Earth



Figuur 4: In dit figuur is de kwekerij te zien, de controlegroep. Fotograaf: Max van Aalst

Door de metingen op deze locaties met elkaar te vergelijken, kunnen we inzicht krijgen in de invloed van de locatie en de daarbij behorende biotische en abiotische factoren op de groei van Staghornkoraal. Het uiteindelijke doel van dit onderzoek is om meer te weten te komen over waar er de meeste vooruitgang is van staghornkoraal en om mogelijke strategieën te identificeren voor het behoud en herstel van deze belangrijke koraalsoort. Meer kennis over ecosysteeminteracties zou inzicht kunnen geven in geschikte uitplant locaties voor vervolgprojecten om zo het rif zo efficiënt mogelijk proberen te herstellen door middel van ongeslachtelijke voortplanting van de *A. cervicornis* (Bellwood et al., 2019).

1.1 Onderzoeksvraag

Is er een significant verschil in groei en overleving voor de uitgeplante *A. cervicornis* in de vier verschillende gebieden?

1.2 Deelvragen

1. Welke (a)biotische factoren zijn gerelateerd aan de vier verschillende locaties?
 - Wat is de sedimentatie op de vier verschillende locaties?
 - Wat voor visbiomassa en visbiodiversiteit worden waargenomen op de vier verschillende locaties?
 - Hoe is de algengroei op de koralen en constructies op de vier verschillende locaties?
 - Wat zijn de pH-waarden, saliniteit, ammoniak, nitriet en nitraat op de vier verschillende locaties?

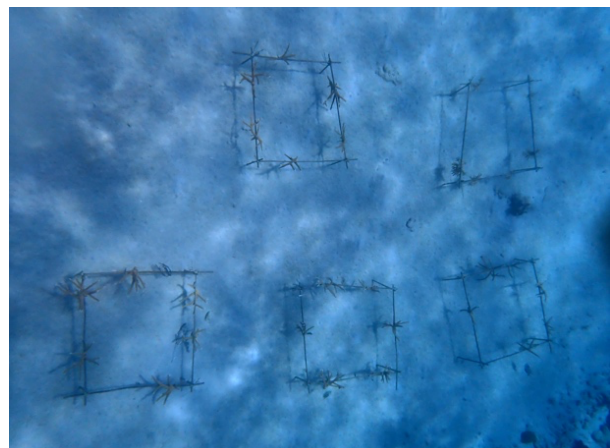
2 Methode

2.1 Voorbereiding van onderzoekopstelling

Staghoornkoraalfragmenten werden verzameld uit losse fragmenten of beschadigde riffen en werden vastgemaakt aan een boomachtige structuur die een koraalkwekerij wordt genoemd (figuur 5). De kwekerij werd om de twee weken schoongemaakt van algen om optimale groeiomstandigheden mogelijk te maken. Nadat de fragmenten een lengte van minimaal 10 cm hadden bereikt, werden ze vastgemaakt aan bamboestructures. Deze bamboestructures waren geplaatst op de drie verschillende onderzoeklocaties. De gebieden waren als volgt: een locatie met alleen zand oftewel 0% koraalbedekking, een rif met 5% koraalbedekking en een rif met 30% koraalbedekking. Op elke plek werden vijf bamboestructures geplaatst en aan elke structuur werden zes fragmenten bevestigd (figuur 6). Fragmenten met hetzelfde genotypen werden op dezelfde structuur geplaatst. Elke uitgeplante locatie had dezelfde 5 genotypen.



*Figuur 5: Koraalkwekerij.
Fotograaf: Max van Aalst*



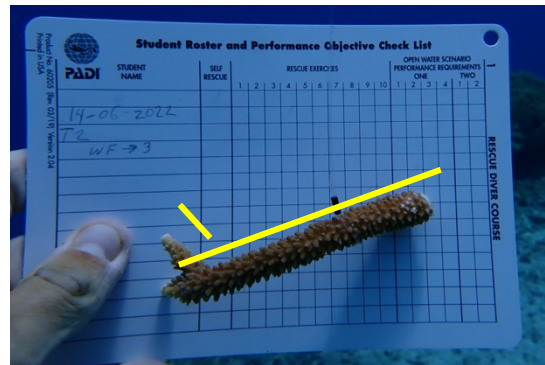
*Figuur 6: De vijf bamboestructures met aan elke structuur zes fragmenten op de locatie met 0% koraal bedekking.
Fotograaf: Max van Aalst*

Gegevensverzameling door duiken en snorkelen gespreid over ongeveer drie maanden.

2.2 Sample verzameling

De volgende procedures worden gevolgd bij het verzamelen van gegevens op een locatie. De toestand van de zee en het zicht onder water worden beoordeeld op de schaal van Beaufort om rekening te houden met mogelijke meetfouten veroorzaakt door weersomstandigheden. De bemonstering wordt niet uitgevoerd tijdens onweer of met windkracht zes of hoger.

Elk koraalfragment wordt maandelijks gefotografeerd en de lengte wordt gemeten met behulp van Image J (zie figuur 7), waarbij de cumulatieve en lineaire lengte worden bepaald. Op basis hiervan kan de toename in de loop van de tijd worden berekend.

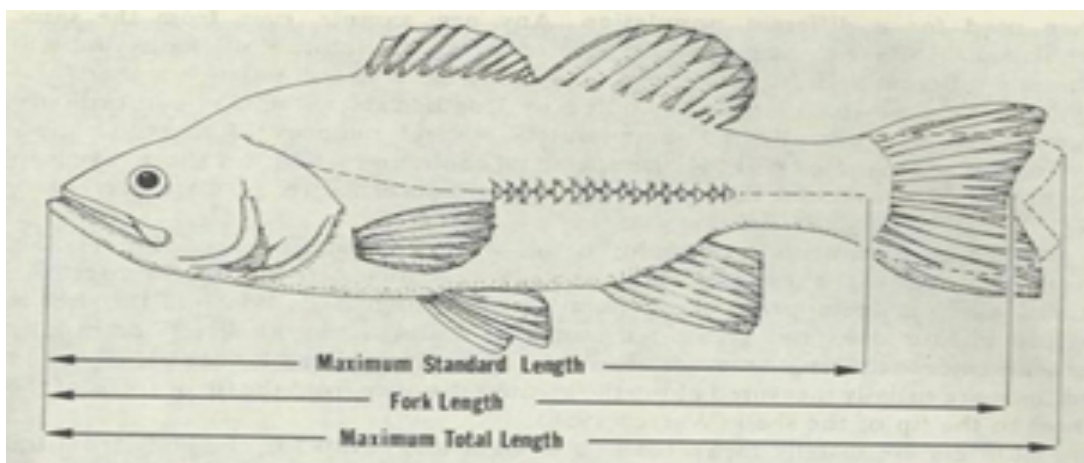


Figuur 7: In dit figuur is te zien hoe het koraal opgemeten wordt met Image J.

Fotograaf: Max van Aalst

Doormiddel van de Bohnsack & Bannerot methode (1986) werden vissoorten op de verschillende onderzoeklocaties geobserveerd. Om vissoorten te observeren, wordt er een cirkel met een straal van vijf meter rond de structuur gelegd en worden hun soort, grootte en aantal geregistreerd (Bohnsack & Bannerot, 1986; Samoily & Carlos, 2000). Hun grootte werd ook geschat op basis van hun vorklengte, de lengte van een vis gemeten vanaf het puntje van de snuit tot het einde van de middelste staartvinstralen (figuur 8).

De grootte van de vissen worden geregistreerd doormiddel ze in verschillende groepen te zetten. De visuele observaties zijn onderverdeeld in verschillende categorieën 1 t/m 10 cm, 10 t/m 20 cm, 20 t/m 30 cm en 30 cm plus. Het is belangrijk om bij de observatie rekening te houden met de positie van de observator ten opzichte van de vis. Observatie vanuit het midden/erboven kan invloed hebben op het gedrag van de vis en het weggagen van de vis. Daarom is het raadzaam om de vis een paar minuten te laten wennen aan de observator voordat de observatietijd begint. Eerst laat de observator de vissen vijf minuten wennen voordat er met observeren begonnen wordt. De observatietijd is tien minuten en wordt één keer in de week herhaald. Observaties zijn telkens door dezelfde persoon gemaakt om observatie bias te minimaliseren.



Figuur 8: Illustratie van de vorklengte (Anderson, 1983).

Volgens de door Bohnsack & Bannerot (1986) voorgeschreven formule werd de biomassa per vissoort berekend:

$$\log w = \log a + b \log L$$

Waarbij w het gewicht in grammen is, a en b zijn soort specifieke constanten (afgeleid van fishbase) (Froese, 2009) en L de vorklengte in millimeters. Wanneer de waarden voor a en b niet beschikbaar waren, werden de parameters van een soortgenoten met een vergelijkbare vorm en maximale totale lengte gebruikt. Deze gegevens zijn verkregen uit onderzoek van de Zanke & Froe (2015). De vorklengte werd door middel van visuele observaties geschat waarbij de vorklengte gedefinieerd wordt als de afstand van de voorzijde van de vis t/m het einde van de middelste staartvinstralen (figuur 8) (Anderson, 1983).

Ook wordt de biodiversiteit index gemeten. Dit wordt gedaan doormiddel van deze formule, de Shannon-index:

$$H' = - \sum_{i=1}^S (p_i \ln p_i)$$

H is de biodiversiteit index, s het totale aantal unieke soorten en p_i is het aandeel individuen van elke soort behorende tot de i -de soort van het totale aantal individuen (Z, 2020).

Daarnaast worden abiotische factoren zoals pH, saliniteit, KH, NH₄, NO₂, fosfaat, totale hardheid en NO₃, op vier verschillende locaties gemeten door middel van monsternamen. Deze metingen worden eenmaal per maand uitgevoerd met behulp van de Marine Care Multi Test Kit en de Pro Aquatest en combiset. Dit wordt gedaan door verschillende indicatoren toe te voegen aan 5 ml watermonsters, hierdoor wordt de waarde van elke abiotische factor bepaald op basis van de kleur van het monster. De saliniteit wordt gemeten met een refractor meter. Dit wordt gedaan door een paar druppels van het zeewater op het prisma te druppelen. Daarna wordt de klep gesloten en wordt het instrument gericht op een lichtbron, vervolgens kan de brekingsindex afgelezen worden.

3.2 Statische analyse

De statistische analyse omvatte het berekenen van de nutriëntgehalten op basis van de metingen verkregen uit de Marine Care Multi Test Kit en de Pro Aquatest en combiset.

Met de verzamelde vis data is de biodiversiteit index en de biomassa per soort berekend. De groei van het *A. Cervicoris* op de vier locaties wordt berekend met de lengtemetingen van het koraal. Nadat deze factoren berekend zijn wordt er met een two-way ANOVA bepaald of er een significant verschil is tussen de locaties.

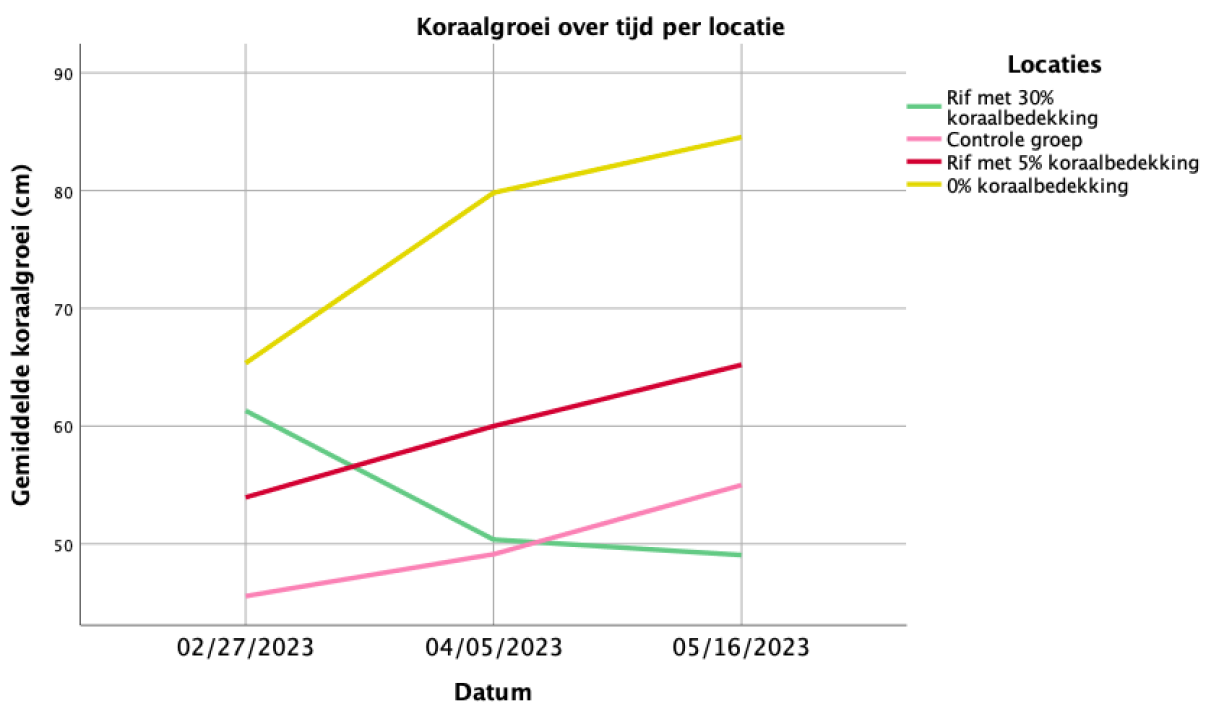
3 Resultaten

3.1 Koraalgroei

Uit het uitgevoerde onderzoek is gebleken dat op drie van de vier onderzochte locaties gedurende een periode van drie maanden sprake was van exponentiële groei. Deze bevindingen worden ondersteund door de gegevens weergegeven in grafiek 1, waarin de trends duidelijk zichtbaar zijn.

Op de locatie genaamd "Rif met 30% koraalbedekking" werd geconstateerd dat het koraal tijdens deze periode is afgenomen. Dit kan worden waargenomen in de grafiek, waar een neerwaartse trend in koraalpopulatie te zien is. Daarentegen werd op de locatie genaamd "0% koraalbedekking" de grootste groei waargenomen. Waar een sterke opwaartse trend te zien is

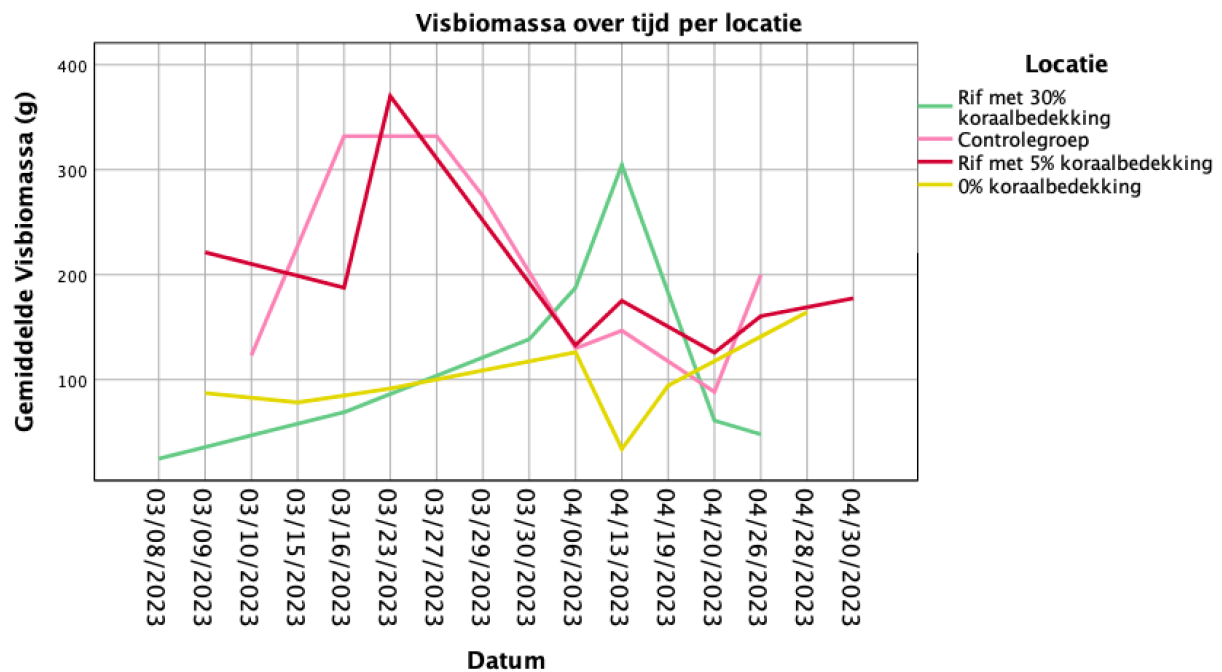
De andere twee locaties, "Rif met 5% koraalbedekking" en "Controle groep", vertoonden vergelijkbare groeipatronen gedurende de drie maanden durende observatieperiode. Dit wordt weerspiegeld in de grafiek, waarbij de lijnen die de groei op deze locaties vertegenwoordigen, een vergelijkbare stijging laten zien.



Grafiek 1: Op de x-as is de datum en op de y-as is de koraalgroei in centimeter weergegeven.

3.2 Visbiomassa

Uit het onderzoek blijkt dat er geen significant verschil is tussen de visbiomassa op de vier locaties. De p-waarde, die aangeeft of een verschil statistisch significant is, is in dit geval 0.425. Dit betekent dat er geen bewijs is om aan te nemen dat er een verschil bestaat tussen de locaties wat betreft biomassa, zie grafiek 2.

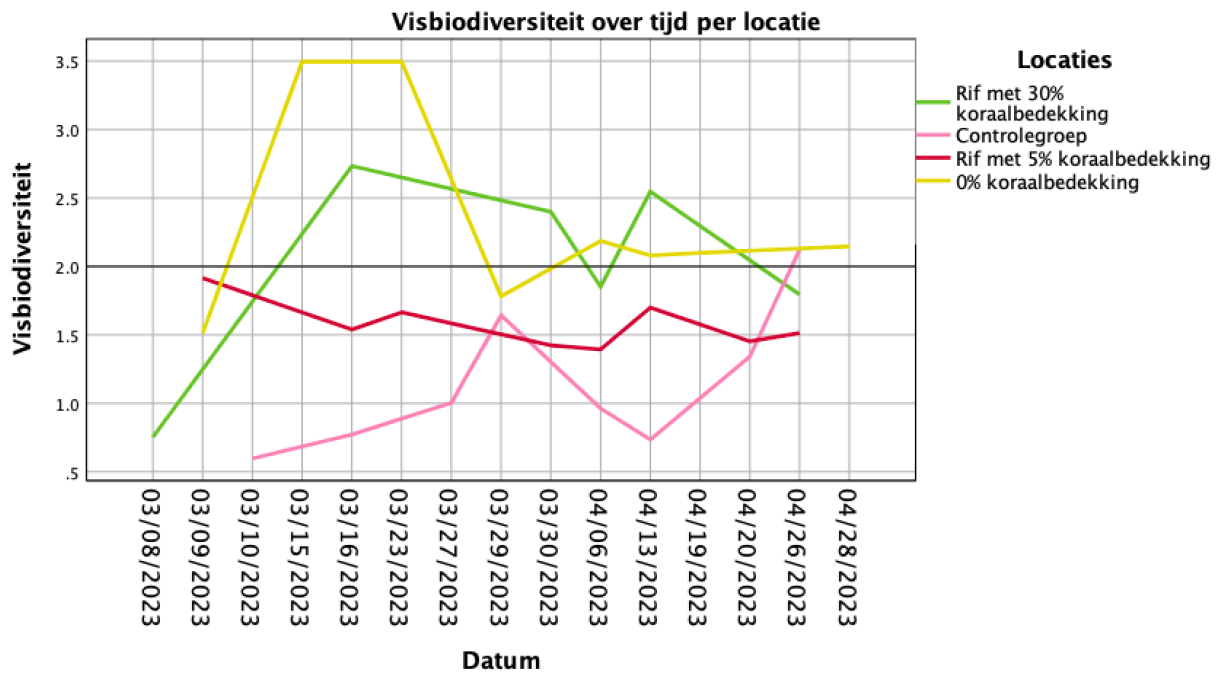


Grafiek 2: Grafiek over de visbiomassa over tijd per locatie. Op de x-as is de datum en op de y-as visbiomassa te zien in gram.

3.3 Visbiodiversiteit

Uit het onderzoek blijkt dat er geen significant verschil is tussen de visbiodiversiteit op de vier locaties. De p-waarde is in dit geval 0.094. Dit betekent dat er geen bewijs is om aan te nemen dat er een verschil bestaat tussen de locaties wat betreft visbiodiversiteit, zie grafiek 3.

In dit geval kan er gezegd worden dat de locatie bijna significant is, aangezien de p-waarde 0.056 is, zie appendix 2. Dit suggereert dat er mogelijk een verschil zou kunnen zijn tussen de locaties wat betreft visbiodiversiteit, maar dit moet verder worden onderzocht.



Grafiek 3: Grafiek over de visbiodiversiteit over tijd per locatie. Op de x-as is de datum en op de y-as de visbiodiversiteit.

3.4 Abiotische factoren

Uit het uitgevoerde onderzoek blijkt dat er geen significante verschillen zijn in de onderzochte abiotische factoren tussen de vier onderzochte locaties. Deze bevindingen worden ondersteund door de gegevens gepresenteerd in tabel 1, waarin enkele verschillen worden aangetoond.

Bijvoorbeeld, de saliniteit verschilde tussen de locaties. Op de locatie genaamd "0% koraalbedekking" werd een saliniteit van 30 promille gemeten, terwijl deze 29,5 promille was bij "Rif met 30% koraalbedekking" en 29 promille bij zowel "Controlegroep" als "Rif met 5% koraalbedekking". Dit geeft aan dat er enige variatie was in de zoutconcentratie op de verschillende locaties.

Wat betreft de carbonaathardheid, werd waargenomen dat zowel "Controlegroep" als "Rif met 30% koraalbedekking" een waarde hadden van 119.9 mg/l, terwijl "0% koraalbedekking" en "Rif met 5% koraalbedekking" een carbonaathardheid hadden van 130.8 mg/l. Dit suggereert dat er enige variabiliteit was in de concentratie van carbonaat- en bicarbonaat-ionen, die belangrijk zijn voor de stabiliteit van de pH-waarde en de buffering van het water.

Een ander verschil dat werd aangetoond, was de NH₄-waarde (ammonium) in het water. "Controlegroep" vertoonde een NH₄-waarde van 0 ppm, terwijl de andere drie locaties een waarde hadden van 0.05 ppm. Dit wijst op een significant verschil in de concentratie van ammonium tussen de locaties.

Tabel 1: abiotische factoren

Metingen	Controlegroep	0% koraalbedekking	Rif met 5% koraalbedekking	Rif met 30% koraalbedekking
Saliniteit	29 promille	30 promille	29 promille	29.5 promille
KH	119.9 mg/l	130.8 mg/l	130.8 mg/l	119.9 mg/l
pH	7.75	7.75	7.75	7.75
NH ₄	0 ppm	< 0.05 ppm	< 0.05 ppm	< 0.05 ppm
NO ₂	0.05 ppm	0.05 ppm	0.05 ppm	0.05 ppm
Fosfaat	5 ppm	5 ppm	5 ppm	5 ppm
Totale hardheid	425 ppm	425 ppm	425 ppm	425 ppm
NO ₃	1 ppm	1 ppm	1 ppm	1 ppm

4 Discussie

De resultaten van het onderzoek tonen aan dat er gedurende een periode van drie maanden sprake was van exponentiële groei op drie van de vier onderzochte locaties. Dit is in overeenstemming met eerdere literatuur die heeft aangetoond dat koraalgroei vaak exponentieel kan zijn onder gunstige omstandigheden (Smith et al., 2018). De grafiek in de tekst laat duidelijk zien dat er een opwaartse trend is in de koraalpopulatie op de locatie genaamd "0% koraalbedekking". Dit is in lijn met andere studies die hebben aangetoond dat bepaalde locaties gunstiger kunnen zijn voor koraalgroei vanwege factoren zoals waterkwaliteit en beschikbaarheid van voedingsstoffen (Jones et al., 2016).

Interessant is dat de locatie genaamd "Rif met 30% koraalbedekking" juist een afname in koraalpopulatie liet zien. Dit kan te wijten zijn aan specifieke omgevingsfactoren op die locatie, zoals hogere watertemperaturen of verhoogde stressniveaus door menselijke activiteiten (Hughes et al., 2017). Dergelijke factoren kunnen de groei van koraal belemmeren en mogelijk leiden tot achteruitgang. Het is echter belangrijk om op te merken dat dit onderzoek een beperkte observatieperiode van drie maanden had, en daarom is het moeilijk om definitieve conclusies te trekken over de lange termijn trends op deze locaties.

Wat betreft de biomassa, tonen de resultaten aan dat er geen significant verschil was tussen de locaties. Dit komt overeen met eerdere studies die hebben aangetoond dat biomassa van koraalriffen vaak vergelijkbaar kan zijn binnen een bepaald gebied (Bruno et al., 2017). De p-waarden voor de factoren datum, locatie en de interactie tussen datum en locatie geven aan dat er geen significant verband is tussen biomassa en deze factoren. Dit suggereert dat de biomassa op de onderzochte locaties gedurende de observatieperiode relatief stabiel bleef.

Met betrekking tot visbiodiversiteit, tonen de resultaten aan dat er geen significant verschil was tussen de locaties, hoewel de p-waarde voor de locatie bijna significant was. Dit suggereert dat er mogelijk een verschil zou kunnen zijn tussen de locaties wat betreft visbiodiversiteit, maar dit vereist verder onderzoek. Eerdere studies hebben aangetoond dat koraalriffen een belangrijke habitat zijn voor verschillende vissoorten en dat de gezondheid van het koraalrif direct verband houdt met de biodiversiteit van vissen (Mora et al., 2019). Het is dus belangrijk om verder onderzoek te doen om de mogelijke oorzaken van variabiliteit in visbiodiversiteit op de onderzochte locaties te begrijpen.

Veder toonde van de abiotische factoren de resultaten aan dat er geen significante verschillen waren tussen de locaties. Dit is in lijn met eerdere studies die hebben aangetoond dat abiotische factoren zoals zoutconcentratie, carbonaathardheid en ammoniumconcentratie binnen een bepaald gebied relatief consistent kunnen zijn (Riegl et al., 2017). Het is belangrijk op te merken dat zelfs kleine variaties in deze factoren invloed kunnen hebben op de gezondheid van het koraal en de algehele ecologische balans van het rif (Fabricius, 2017). Daarom is het belangrijk om deze factoren nauwlettend te volgen en te begrijpen hoe ze de koraalgroei en visbiodiversiteit beïnvloeden.

Dit onderzoek heeft enkele beperkingen en aspecten die niet perfect waren. Een belangrijk punt is de schaal en duur van het onderzoek. Het onderzoek was minimaal in termen van omvang en tijdsduur. Voor nauwkeurigere resultaten zouden toekomstige onderzoeken moeten worden uitgebreid met een langere tijdsduur en meer onderzoeklocaties, die ook onafhankelijker van elkaar zijn. Dit zou helpen om een breder scala aan omstandigheden en variabelen te krijgen, wat de betrouwbaarheid van de resultaten zou vergroten.

Een ander punt van overweging is de nauwkeurigheid van het tellen van vissen, wat een belangrijk aspect is bij het beoordelen van de gezondheid van een koraalrif. Er waren enkele uitdagingen bij het identificeren van vissen, vooral omdat bepaalde soorten, zoals papegaavissen, op elkaar kunnen lijken en sommige soorten zich kunnen camoufleren. Om de nauwkeurigheid te verbeteren, werden

de visobservaties consequent uitgevoerd door één persoon, wat resulteerde in een grote hoeveelheid metingen. Er was echter geen tijd om meerdere mensen te trainen voor de visobservaties, wat het risico met zich meebrengt dat eventuele fouten van de waarnemer niet worden opgemerkt. Dit kan worden verbeterd door in de toekomst meer tijd te besteden aan training en het mogelijk maken van meerdere waarnemers voor de visobservaties.

Bij het veldwerk werden weersomstandigheden ook van invloed, met factoren zoals zeeziekte en troebel water die de observaties bemoeilijkten. Deze uitdagingen werden opgelost door flexibiliteit in de planning en het vermogen om van "buddy" te wisselen wanneer nodig. Dit benadrukt het belang van het hebben van voldoende middelen en flexibiliteit om omstandigheden aan te kunnen passen en te reageren op onverwachte gebeurtenissen tijdens het veldwerk.

Voor toekomstig onderzoek wordt aanbevolen om meer verschillende soorten koralen op te nemen en te streven naar toenemende structurele complexiteit op kweekriffen. Deze aanpak zou de resultaten van het onderzoek aanzienlijk verbeteren door verschillende voordelen te bieden.

Allereerst zou het opnemen van meer verschillende soorten koralen een bredere representatie van de diversiteit van koraalriffen mogelijk maken. Koraalriffen herbergen variëteit aan soorten, elk met unieke ecologische eigenschappen. Door een breder scala aan koraalsoorten op te nemen, kunnen we een beter begrip krijgen van de interacties en processen die plaatsvinden in deze complexe ecosystemen. Dit zou een beter beeld geven van de rol van verschillende koraalsoorten binnen het ecosysteem en hun bijdrage aan de structuur en veerkracht van het rif.

Bovendien zou het streven naar toenemende structurele complexiteit op kweekriffen ons helpen de ecologische processen beter te begrijpen die verband houden met de vorming en ontwikkeling van koraalriffen. Koraalriffen zijn opgebouwd uit verschillende structurele elementen, zoals riffen, scheuren en gaten, die habitat bieden voor talloze organismen. Door te streven naar een grotere diversiteit en complexiteit van rif structuren, kunnen we de impact ervan op de biodiversiteit, voedselwebben en de algehele gezondheid van het rif onderzoeken. Dit zou ons in staat stellen om de cruciale rol van structurele complexiteit te begrijpen en maatregelen te ontwikkelen om de veerkracht en het behoud van koraalriffen te bevorderen.

Door een breder scala aan koraalsoorten en een grotere diversiteit aan rif structuren te bestuderen, kunnen we dus een dieper inzicht krijgen in de complexe ecologische processen en interacties binnen koraalriffen. Dit zou niet alleen onze wetenschappelijke kennis vergroten, maar ook bijdragen aan het ontwikkelen van effectievere strategieën voor het behoud en herstel van koraalriffen.

5 Conclusie

Dit onderzoek richtte zich op de overleving en groei van *A. cervicornis* fragmenten die doormiddel van ongeslachtelijke voortplanting gekweekt zijn en vervolgens zijn uitgezet op drie verschillende locaties. Een groep werd in de kwekerij gehouden om te dienen als controlegroep. De drie test locaties onderscheidden zich van elkaar door een verschil in specifieke omgevingsfactoren. De resultaten van het onderzoek bieden belangrijke inzichten in de groeipatronen van het koraal en enkele abiotische factoren die mogelijk van invloed zijn op het succes van de uitgeplante fragmenten.

Uit de bevindingen blijkt dat drie van de vier onderzochte locaties gedurende een periode van drie maanden exponentiële groei vertoonden, zoals aangetoond in grafiek 1. Dit suggereert dat deze locaties gunstige omstandigheden boden voor de overleving en groei van de *A. cervicornis* fragmenten. De locatie genaamd "Rif met 30% koraalbedekking" daarentegen vertoonde een afname in koraalpopulatie tijdens de onderzoeksperiode.

Wat betreft biomassa, bleek uit de analyse dat er geen significant verschil was tussen de vier locaties, zoals weergegeven in grafiek 2. Dit duidt erop dat de biomassa van de vissen vergelijkbaar was op alle onderzoeklocaties.

De visbiodiversiteit vertoonde ook geen significant verschil tussen de locaties, hoewel er een trend naar significantie werd waargenomen voor de locatie, zoals aangegeven door de p-waarde van 0.094. Dit suggereert dat er mogelijk een verschil zou kunnen zijn in visbiodiversiteit tussen de locaties, maar verder onderzoek is nodig om dit te bevestigen.

Wat betreft de abiotische factoren, werden enkele verschillen gevonden in saliniteit, carbonaathardheid en NH₄-waarde tussen de locaties, zoals weergegeven in tabel 1.

Het is belangrijk op te merken dat dit onderzoek enkele beperkingen heeft. De schaal en duur van het onderzoek waren minimaal, waardoor de resultaten mogelijk niet volledig representatief zijn voor alle omgevingsfactoren en langere tijdsperioden. Voor meer nauwkeurige resultaten zouden toekomstige onderzoeken groter van opzet moeten zijn, met een langere tijdsduur en meer diverse onderzoeklocaties die onafhankelijk van elkaar zijn.

De resultaten van dit onderzoek hebben inzichten opgeleverd met betrekking tot de overleving en groei van nieuw-uitgeplante *A. cervicornis* fragmenten op verschillende onderzoeklocaties. Deze bevindingen kunnen dienen als basis voor verdere studies en kunnen bijdragen aan het beheer en behoud van koraalriffen.

6 Dankwoord

Ik wil graag mijn oprechte dank uitspreken aan de volgende personen en organisaties voor hun waardevolle bijdragen en ondersteuning tijdens mijn onderzoek, die hebben geleid tot de totstandkoming van dit onderzoeksverslag.

Allereerst wil ik mijn dankbaarheid uiten aan Patrick Bron voor zijn feedback gedurende mijn onderzoek. Zijn commentaar en wijze adviezen hebben een essentiële rol gespeeld in de ontwikkeling van dit onderzoek.

Ik ben ook bijzonder erkentelijk voor de kans die Max van Aalst mij heeft geboden om stage te lopen bij zijn organisatie, Branch Coral Foundation. Zijn vertrouwen en ondersteuning hebben mij in staat gesteld om waardevolle ervaring op te doen. Daarnaast wil ik hem bedanken voor het ter beschikking stellen van duikmaterialen en zijn feedback met betrekking tot mijn onderzoek.

Mijn oprechte dank gaat ook uit naar Jente van Langerak, met wie ik nauw heb samengewerkt tijdens mijn onderzoekperiode. Haar bijdrage bij het verzamelen van data was van onschatbare waarde en heeft een grote impact gehad op de resultaten van mijn onderzoek.

Aimee Teeuwen verdient mijn dank voor haar hulp bij het planten van koraal voor mijn onderzoek. Haar betrokkenheid en inzet hebben bijgedragen aan het succes van dit project.

Ik wil graag mijn waardering uitspreken aan Olivia Grubenmann voor haar onvoorwaardelijke mentale steun gedurende mijn onderzoek. Haar aanwezigheid en bereidheid om bij te springen bij het verzamelen van data wanneer dat nodig was, hebben een positieve invloed gehad op mijn motivatie en doorzettingsvermogen.

Maarten van Aalst verdient ook mijn dank voor zijn bereidheid om bij te springen bij het verzamelen van data wanneer dat nodig was, evenals voor zijn hulp bij het planten van koraal voor mijn onderzoek.

Daarnaast wil ik DiveDivision van harte bedanken voor het verlenen van toegang tot hun duikschool faciliteiten en ook voor hun assistentie bij het nemen van foto's van de groei van koraal tijdens het duiken. Hun steun heeft een cruciale rol gespeeld bij het verzamelen van waardevolle gegevens.

Tot slot wil ik graag mijn dank uitspreken aan Cor Hametee van Carmabi voor het uitlenen van onderzoeksmaterialen. Zijn vrijgevigheid hebben het mogelijk gemaakt om mijn onderzoek uit te voeren.

De bijdragen van deze individuen en organisaties hebben mijn onderzoek verrijkt en hebben waarde gehad bij het tot stand brengen van dit onderzoeksverslag. Mijn diepe waardering gaat uit naar ieder van hen.

7 Bronvermelding

Anderson, R. O. (1996). Length, weight, and associated structural indices. *Fisheries techniques*.

Bellwood, D. R., Pratchett, M. S., Morrison, T. H., Gurney, G. G., Hughes, T. P., Álvarez-Romero, J. G., Day, J. C., Grantham, R., Grech, A., Hoey, A. S., Jones, G., Pandolfi, J. M., Tebbett, S. B., Techera, E. J., Weeks, R., & Cumming, G. S. (2019). Coral reef conservation in the Anthropocene: Confronting spatial mismatches and prioritizing functions. *Biological Conservation*, 236, 604–615.

<https://doi.org/10.1016/j.biocon.2019.05.056>

Bohnsack, J. A., & Bannerot, S. P. (1986). A stationary visual census technique for quantitatively assessing community structure of coral reef fishes.

Bohnsack, J. A., & Harper, D. E. (1988). Length-weight relationships of selected marine reef fishes from the southeastern United States and the Caribbean.

Burkepile, D. E., & Hay, M. E. (2008). Herbivore species richness and feeding complementarity affect community structure and function on a coral reef. *Proceedings of the National Academy of Sciences*, 105(42), 16201-16206.

Burkepile, D. E., & Hay, M. E. (2009). Nutrient versus herbivore control of macroalgal community development and coral growth on a Caribbean reef. *Marine Ecology Progress Series*, 389, 71-84.

Bruno, J. F., Côté, I. M., & Toth, L. T. (2017). Climate change, coral loss, and the curious case of the parrotfish paradigm: Why don't marine protected areas improve reef resilience? *Annual Review of Marine Science*, 9, 287-314.

Connell, D. W., & Hawker, D. W. (Eds.). (1992). *Pollution in Tropical Aquatic Systems* (1st ed.). CRC Press. Geraadpleegd op 9 maart 2023, van <https://doi.org/10.1201/9781351075879>

Fabricius, K. E. (2017). Factors determining the resilience of coral reefs to eutrophication: A review and conceptual model. *Global Change Biology*, 23(9), 4258-4273.

Froese, R. (2009). FishBase. world wide web electronic publication. Geraadpleegd op 9 maart 2023, van <http://www.fishbase.org>.

Gignoux-Wolfsohn, S. A., & Vollmer, S. V. (2015). Identification of Candidate Coral Pathogens on White Band Disease-Infected Staghorn Coral. *PLoS ONE*, 10(8), e0134416. Geraadpleegd op 9 maart 2023, van <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0134416>

Hamilton, R. J., Almany, G. R., Brown, C. J., Pita, J., Peterson, N. A., & Choat, J. H. (2017). Logging degrades nursery habitat for an iconic coral reef fish. *Biological Conservation*, 210, 273-280.

Hughes, T. P., Barnes, M. L., Bellwood, D. R., Cinner, J. E., Cumming, G. S., Jackson, J. B. C., ... & Scheffer, M. (2017). Coral reefs in the Anthropocene. *Nature*, 546(7656), 82-90.

Jackson, J. B., Kirby, M. X., Berger, W. H., Bjorndal, K. A., Botsford, L. W., Bourque, B. J., ... & Warner, R. R. (2001). Historical overfishing and the recent collapse of coastal ecosystems. *Science*, 293(5530), 629-637.

Jones, G. P., McCormick, M. I., Srinivasan, M., & Eagle, J. V. (2016). Coral decline threatens fish biodiversity in marine reserves. *Proceedings of the National Academy of Sciences*, 113(1), 137-142.

- Knowlton, N., et al. (2021). Rebuilding Coral Reefs: A Decadal Grand Challenge. International Coral Reef Society and Future Earth Coasts. doi:10.53642/NRKY9386
- Meesters, E. H., Becking, L. E., Geest, M. (2019). Achteruitgang koraalriffen Caribisch Nederland: oorzaken en mogelijke oplossingen voor koraalherstel. Wageningen University & Research Rapport C061/19, 19–21. Geraadpleegd op 9 maart 2023, van <https://edepot.wur.nl/496168>
- Mora, C., Tittensor, D. P., Adl, S., Simpson, A. G., & Worm, B. (2019). How many species are there on Earth and in the ocean? PLoS Biology, 9(8), e1001127.
- Riegl, B. M., Purkis, S. J., & Keck, J. (2017). An empirical relationship between sedimentation and coral reef growth. Geophysical Research Letters, 44(2), 920-928.
- Samoilys, M., & Carlos, G. (2000). Determining Methods of Underwater Visual Census for Estimating the Abundance of Coral Reef Fishes. Environmental Biology of Fishes, 57(3), 289–304. Geraadpleegd op 9 maart 2023, <https://doi.org/10.1023/a:1007679109359>
- Sheppard, C. R. C., Davy, S. K., Pilling, G. M., & Graham, N. A. J. (2017). The abiotic environment. In Coral Reefs in the Anthropocene (pp. 68-99). Oxford University Press. <https://doi.org/10.1093/oso/9780198787341.003.0003>
- Siebeck, U. E., Marshall, N. J., Klüter, A., & Hoegh-Guldberg, O. (2006). Monitoring coral bleaching using a colour reference card. Coral Reefs, 25(3), 453-460. doi:10.1007/s00338-006-0123-8
- Lessios, H. A. (2016). The Great Diadema antillarum Die-Off: 30 Years Later. Annual Review of Marine Science, 8(1), 267–283. Geraadpleegd op 17 februari 2023, van <https://www.annualreviews.org/doi/full/10.1146/annurev-marine-122414-033857>
- Vollmer, S. V. (2008, 13 november). Natural Disease Resistance in Threatened Staghorn Corals. PLOS ONE. Geraadpleegd 15 februari 2023, van <https://journals.plos.org/plosone/article?id=10.1371/journal.pone.0003718>
- Z. (2022, 20 april). Shannon Diversity Index: Definition & Example. Statology. Geraadpleegd 9 maart 2023, van <https://www.statology.org/shannon-diversity-index/>
- Zanke, F., & de Froe, E. (2015). Small-scale variation in coral reef quality on the leeward side of Bonaire. IMARES Wageningen University and Research.

Appendix 1

Tests of Between-Subjects Effects

Dependent Variable: Biomassa

Source	Type III Sum of Squares	df	Mean Square	F	Sig.	Partial Eta Squared
Corrected Model	242197.25 ^a	29	8351.629	3.105	.425	.989
Intercept	652324.308	1	652324.308	242.502	.041	.996
Locatie	62362.085	3	20787.362	7.728	.257	.959
Datum	99072.188	15	6604.813	2.455	.467	.974
Locatie * Datum	85506.850	11	7773.350	2.890	.432	.970
Error	2689.971	1	2689.971			
Total	992177.201	31				
Corrected Total	244887.218	30				

a. R Squared = ,989 (Adjusted R Squared = ,670)

Appendix 2

Tests of Between-Subjects Effects

Dependent Variable: Visbiodiversiteit

Source	Type III Sum of Squares	df	Mean Square	F	Sig.	Partial Eta Squared
Corrected Model	15.031 ^a	29	.518	70.577	.094	1.000
Intercept	83.441	1	83.441	11362.243	.006	1.000
Locatie	3.770	3	1.257	171.120	.056	.998
Datum	5.234	14	.374	50.913	.109	.999
Locatie * Datum	3.695	12	.308	41.925	.120	.998
Error	.007	1	.007			
Total	110.646	31				
Corrected Total	15.038	30				

a. R Squared = 1,000 (Adjusted R Squared = ,985)