SEAQUEST

CURRICULUM VOOR LEERKRACHTEN

ONDER REDACTIE VAN
THEODOROS KEVREKIDIS
PARASKEVI MALEA



Co-funded by
the European Union

SEAQUEST-CURRICULUM VOOR LEERKRACHTEN

ONDER REDACTIE VAN

THEODOROS KEVREKIDIS
DEMOCRITUS-UNIVERSITEIT VAN THRACIË

PARASKEVI MALEA
ARISTOTELES-UNIVERSITEIT VAN THESSALONIKI

ALEXANDROUPOLIS, GRIEKENLAND 2025

OMSLAGFOTO

Weide van *Cymodocea nodosa* in de Pagasitische Golf, noordelijke Egeïsche Zee, Griekenland
(fotocredit: Christos Zoumbos/Theodoros Kevrekidis)

seaquestproject.eu

Medegefinancierd door de Europese Unie

ONDER REDACTIE VAN

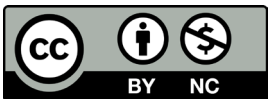
THEODOROS KEVREKIDIS
DEMOCRITUS-UNIVERSITEIT VAN THRACIË

PARASKEVI MALEA
ARISTOTELES-UNIVERSITEIT VAN THESSALONIKI

VORMGEGEVEN DOOR

ADRIA FESSA
ARISTOTELES-UNIVERSITEIT VAN THESSALONIKI

Referentie
Kevrekidis T. en P. Malea (red.). 2025. SEAQUEST-curriculum voor leerkrachten. Erasmus+-project «SEAQUEST», 2024-1-EL01-KA220-SCH-000244654.



SEAQUEST-CURRICULUM VOOR LEERKRACHTEN

ERASMUS+
EU-PROGRAMMA VOOR ONDERWIJS, OPLEIDING, JEUGD EN SPORT

PROJECTTITEL
SEAQUEST: ZEEGRASEDUCATIE VOOR KINDEREN MET HET OOG OP EEN BEWUSTZIJNSQUOTIËNT VOOR ECOLOGISCHE DUURZAAMHEID

PROJECTNUMMER
2024-1-EL01-KA220-SCH-000244654

Medegefinancierd door de Europese Unie

Gefinancierd door de Europese Unie. De hier geuite meningen en standpunten zijn echter uitsluitend die van de auteur(s) en geven niet noodzakelijkerwijs die van de Europese Unie, het Nationaal Agentschap van het Erasmus+-programma of het Europees Solidariteitskorps weer. Noch de Europese Unie, noch de subsidieverlenende instantie kan hiervoor verantwoordelijk worden gesteld.

NEEM CONTACT MET ONS OP
seaquest.duth@gmail.com

SEAQUEST

Erasmus+

PROJECTCONSORTIUM

Bij het project zijn universiteiten, onderzoeksinstituten en niet-gouvernementele organisaties uit vijf landen van de Europese Unie betrokken – Griekenland, Portugal, Denemarken, België en Cyprus

COORDINATOR

ΔΗΜΟΚΡΙΤΕΙΟ ΠΑΝΕΠΙΣΤΗΜΙΟ ΘΡΑΚΗΣ
DEMOCRITUS UNIVERSITY OF THRACE

PARTNERS

ARISTOTLE UNIVERSITY OF THESSALONIKI

CCMAR Centro de Ciências do Mar Algarve

MELAB

emsea MEDITERRANEAN

STANDOUTEDU

Medegefinancierd door de Europese Unie

VOORWOORD

Zeegrassen zijn aquatische zaadplanten die wereldwijd groeien in ondiepe mariene en estuariene milieus. Zeegrassen vormen uitgestrekte onderwaterweiden, die een veelheid aan waardevolle functies vervullen voor het globale functioneren van kustsystemen. Zeegrassen leveren wereldwijd ook een verscheidenheid aan ecosysteemdiensten aan de mens. De menselijke ontwikkeling en activiteit hebben echter geleid tot een wereldwijd verlies van zeegras. Sinds het einde van de negentiende eeuw is ongeveer 20% van de wereldwijde oppervlakte aan zeegras verloren gegaan, en verwacht wordt dat deze trend zich zal voortzetten.

Zeegrasweiden staan niet centraal in het beleid en de beheersstrategieën. Bovendien is de samenleving zich grotendeels niet bewust van zeegras en de waarde ervan. Het vergroten van het bewustzijn over de waarde van zeegras is dan ook cruciaal voor de duurzaamheid van deze vitale ecosystemen. In deze context werden de Principes en Concepten over Zeegras ontwikkeld, die de kennis omschrijven waarover een persoon met kennis van zeegras zou moeten beschikken (*Apostoloumi, C., Malea, P., Kevrekidis, T., 2021. Marine Pollution Bulletin, 173, 112936*). De ontwikkeling van de Principes en Concepten over Zeegras vormt een belangrijke mijlpaal in het streven om een samenleving met kennis van

zeegras tot stand te brengen. Deze principes en concepten vormden de basis van wat we vandaag zeegrasgeletterdheid noemen.

SEAQUEST is een Erasmus+-project dat tot doel heeft de zeegrasgeletterdheid in het basisonderwijs in heel Europa te verbeteren, via onderzoek, de ontwikkeling van een educatieve toolkit, lerarenopleiding, technologiegestuurd leren door middel van een interactief spel en betrokkenheid van de gemeenschap.

De *SEAQUEST Educatieve Toolkit* omvat het SEAQUEST-curriculum voor leerkrachten en de SEAQUEST Educatieve Gids voor leerkrachten, om kennis over zeegras op doeltreffende wijze in basisscholen te introduceren, in combinatie met een interactief digitaal spel. Deze handleiding, het *SEAQUEST-curriculum voor leerkrachten*, heeft tot doel leerkrachten beknopt te informeren over de waarde van zeegras voor het milieu en voor de mens, en over de noodzaak van het behoud van zeegrasweiden en de bevordering van zeegrasgeletterdheid. Daarnaast wil deze handleiding leerkrachten een omvattend curriculumkader over zeegras aanreiken.

Wij danken alle partners van het project *SEAQUEST* voor hun bijdrage aan de ontwikkeling van deze handleiding. Wij waarderen ten zeerste de inspanningen van alle auteurs van de hoofdstukken van de handleiding. Wij danken Adria Fessa voor de illustraties en vormgeving van de handleiding, evenals iedereen die met foto's en tekeningen aan de handleiding heeft bijgedragen.

De grote verscheidenheid aan onderwerpen en de poging om concepten te vereenvoudigen, zullen onvermijdelijk tot omissies hebben geleid, wat een reden te meer is waarom goedbedoelde kritiek op deze educatieve handleiding altijd welkom is.

Wij hopen dat het gebruik van deze handleiding een groter bewustzijn voor zeegras met zich meebrengt en uiteindelijk bijdraagt aan een duurzame toekomst voor deze vitale mariene ecosystemen.

Theodoros Kevrekidis,
Professor,
Democritus-universiteit van Thracië

Paraskevi Malea,
Professor,
Aristoteles-universiteit van Thessaloniki

INHOUDSOPGAVE

INLEIDING 13
Theodoros Kevrekidis

A. THEORETISCH KADER 16

A1. Behoud en duurzaam gebruik van de oceanen 17
Theodoros Kevrekidis en Myrianthi Karantona

A2. De geschiedenis van oceaangeletterdheid en haar principes 20
Dominika Wojcieszek

A3. Behoud van zeegras 25
Theodoros Kevrekidis en Paraskevi Malea

A4. Zeegrasgeletterdheid 28
Theodoros Kevrekidis en Helena Barracosa

B. SEAQUEST-CURRICULUM 31

B1. Doel en doelstellingen 32
Theodora Boubonari

B2. Pedagogische benaderingen 35
Theodora Boubonari

B3. Competenties 38
Theodora Boubonari

B4. Evaluatiestrategieën en -instrumenten 41
Theodora Boubonari

B5. Thematische modules 43

B5.1. **De oceaan ondersteunt een grote diversiteit aan leven en ecosystemen** 44
Ana Alexandre

1. Diversiteit van het leven 45
2. Diversiteit van ecosystemen 50

B5.2. **Zeegrassen zijn unieke planten** 55
Paraskevi Malea en Theodoros Kevrekidis

1. Principe 1 van Zeegrasgeletterdheid 56
2. Fundamentele concepten 57
3. Kennis 58

B5.3. **Zeegrassen vormen uitgestrekte onderwaterweiden** 79
Theodoros Kevrekidis en Paraskevi Malea

1. Principe 2 van Zeegrasgeletterdheid 80
2. Fundamentele concepten 81
3. Kennis 82

B5.4. **Zeegrassen ondersteunen een grote diversiteit aan leven** 97
Paraskevi Malea en Theodoros Kevrekidis

1. Principe 3 van Zeegrasgeletterdheid 98
2. Fundamentele concepten 99
3. Kennis 100

B5.5. **Zeegrassen stabiliseren de zeebodem, verbeteren de waterkwaliteit en slaan koolstof op** 109
Paraskevi Malea en Theodoros Kevrekidis

1. Principe 4 van Zeegrasgeletterdheid 110
2. Fundamentele concepten 111
3. Kennis 112

B5.6. **Zeegrassen en de mens zijn onlosmakelijk met elkaar verbonden** 118
Theodoros Kevrekidis en Paraskevi Malea

1. Principe 5 van Zeegrasgeletterdheid 119
2. Fundamentele concepten 120
3. Kennis 121

B5.7. **Zeegrassen zijn grotendeels nog onontgonnen** 137
Theodoros Kevrekidis en Paraskevi Malea

1. Principe 6 van Zeegrasgeletterdheid 138
2. Fundamentele concepten 139
3. Kennis 140

BEGRIPPENLIJST **142**

AANVULLENDE LITERATUUR **146**

INLEIDING

Theodoros Kevrekidis
Democritus-universiteit van Thracië, Griekenland

De **oceaan** is het meest opvallende fysieke kenmerk van de aarde. De oceaan en het leven erin geven vorm aan de kenmerken van onze planeet; de oceaan oefent een bepalende invloed uit op het weer en het klimaat, heeft de aarde bewoonbaar gemaakt en ondersteunt een grote diversiteit aan leven en ecosystemen. De oceaan is van vitaal belang voor de menselijke gezondheid en het welzijn en draagt de economieën van landen over de hele wereld. Toch wordt de oceaan ernstig bedreigd door menselijke activiteiten, voornamelijk via klimaatverandering, vervuiling en overbevissing, wat leidt tot verstoring van voedselketens, vernietiging van habitats, verlies van biodiversiteit en gevolgen voor de menselijke gezondheid en het welzijn, evenals voor kustgemeenschappen.

Zeegrasweiden zijn vitale mariene ecosystemen. **Zeegrassen** (of **mariene zaadplanten**) zijn aquatische planten die beperkt zijn tot het mariene milieu. Zeegrassen zijn wijdverspreid, komen voor in alle ondiepe kustwateren, behalve langs de Antarctische kusten, en vormen uitgestrekte weiden, die een uniek marien ecosysteem vormen. Zeegrasecosystemen vervullen een veelheid aan functies die waardevol zijn voor het algehele functioneren van kustsystemen. Zeegrasweiden ondersteunen een grote diversiteit aan leven, stabiliseren de zeebodem, verbeteren de waterkwaliteit en slaan koolstof op, waardoor ze klimaatverandering verzachten en de verzuring van de oceanen bufferen. Zeegrassen leveren wereldwijd ook een verscheidenheid aan ecologische, sociale, economische en culturele diensten aan de mens. De menselijke ontwikkeling en activiteit leiden echter tot een wereldwijd verlies van zeegras. Sinds het einde van de negentiende eeuw is ongeveer 20% van de wereldwijde oppervlakte aan zeegras verloren gegaan, en verwacht wordt dat deze trend zich zal voortzetten.

Er zijn internationale initiatieven en politieke verbintenissen ontwikkeld om de gezondheid van de oceaan te herstellen, waaronder de Agenda 2030 voor Duurzame Ontwikkeling van de VN en

het Decennium van de Oceaanwetenschap voor Duurzame Ontwikkeling van de VN (2021-2030). De Agenda 2030 voor Duurzame Ontwikkeling richt zich op 17 Duurzame Ontwikkelingsdoelen (SDG's), waarbij SDG 14 («Leven onder water») zich richt op het behoud en het duurzaam gebruik van de oceanen, zeeën en mariene hulpbronnen, terwijl de visie van het Oceaandecennium *"de wetenschap die we nodig hebben voor de oceaan die we willen"* is. Wereldwijde initiatieven geven ook prioriteit aan de bevordering van **Oceaangeletterdheid**, die wordt gedefinieerd als het begrip van hoe de oceaan ons beïnvloedt en hoe wij de oceaan beïnvloeden, wat geïnformeerde beslissingen en verantwoorde acties voor de gezondheid van de oceaan mogelijk maakt. Zo is het UNESCO-IOC-programma voor oceaangeletterdheid een wereldwijde inspanning om een samenleving met oceaangeletterdheid te bevorderen via onderwijs, samenwerking en actie, terwijl het Blauwe Curriculum van UNESCO een vernieuwend educatief kader is dat oceaangeletterdheid integreert in schoolsystemen en zo duurzaamheid, actief burgerschap en het begrip van de vitale rol van de oceaan bevordert.

Hoewel er internationale initiatieven en politieke verbintenissen zijn ontwikkeld om de gezondheid van de oceaan te herstellen, staan zeegrasweiden niet centraal in het beleid en de beheersstrategieën. Bovendien is de samenleving zich grotendeels niet bewust van zeegras en de waarde ervan. Er is een grotere erkenning van de waarde van zeegras nodig om beleidsmakers en besluitvormers onder druk te zetten om deze waardevolle ecosystemen te beschermen. Het bovenstaande onderstreept de noodzaak om een samenleving op te bouwen met kennis van mariene zaadplanten, die in staat is om geïnformeerde en verantwoorde beslissingen te nemen over hun duurzaamheid. Daartoe werden de **Principes en Concepten over Zeegras** gedefinieerd, die de kennis omschrijven waarover een burger moet beschikken om als geïnformeerd over mariene zaadplanten te worden beschouwd.

De Principes en Concepten over zeegras kunnen als leidraad dienen voor wetenschappers, beleidsmakers en besluitvormers, niet-gouvernementele organisaties, belanghebbenden en de sector van de Blauwe Economie, om geïnformeerde en verantwoorde beslissingen over zeegras te nemen. Maar bovenal kunnen deze principes en concepten worden gebruikt voor educatieve doeleinden, zowel in de context van formeel als niet-formeel onderwijs. Ze kunnen worden geïntegreerd in de leerplannen van het basis- en secundair onderwijs, in schoolboeken en in onderwijspraktijken, samen met de essentiële principes en fundamentele concepten van oceaangeletterdheid.

Het Erasmus+-project **SEAQUEST** heeft tot doel de zeegrasgeletterdheid in het basisonderwijs in heel Europa te verbeteren, milieuverantwoord beheer te bevorderen en aan te sluiten bij wereldwijde behoudsinitiatieven. Via onderzoek, de ontwikkeling van een educatieve toolkit, lerarenopleiding, technologiegestuurd leren door middel van een interactief spel en betrokkenheid

van de gemeenschap, streeft dit project ernaar oceaanburgerschap op te bouwen en het bewustzijn te vergroten over de waarde van zeegras voor het milieu en voor de mens.

De **SEAQUEST Educatieve Toolkit** omvat het **SEAQUEST-curriculum voor leerkrachten** en de **SEAQUEST Educatieve Gids voor leerkrachten** (Lessen en Veldwerk/Buitenactiviteiten) om kennis over zeegras op doeltreffende wijze in basisscholen te introduceren, gecombineerd met een **interactief digitaal spel**. Het interactieve digitale spel vult de onderwijsinspanningen van de leerkrachten aan en creëert motiverend en interactief leren voor hun leerlingen tijdens het leerproces. De ontwikkeling van de SEAQUEST-toolkit was gebaseerd op de resultaten van het bureau- en veldonderzoek dat in het kader van het SEAQUEST-project werd uitgevoerd en dat specifieke uitdagingen, lacunes en een gebrek aan kennis over zeegras aan het licht bracht.

Het **SEAQUEST-curriculum voor leerkrachten** bestaat uit twee hoofddelen. Het belangrijkste doel van het eerste deel (Theoretisch Kader) is de lezer beknopt te informeren over kernthema's met betrekking tot (a) het behoud van de oceanen en het duurzaam gebruik van de oceaan en haar hulpbronnen, (b) de biologie van zeegras en de functies, diensten, het verlies en het behoud van het zeegrasecosysteem, (c) de beweging rond oceaangeletterdheid en (d) de noodzaak om zeegrasgeletterdheid te bevorderen.

In het tweede deel wordt het curriculum voor leerkrachten uitvoerig besproken (doel en doelstellingen, pedagogische benaderingen, competenties, evaluatiestrategieën en -instrumenten, thematische modules). Zeven thematische modules zijn ontstaan door de combinatie en evaluatie van de gegevens die werden verzameld via het bureau- en veldonderzoek dat in het kader van het SEAQUEST-project werd uitgevoerd. Om deze gegevens in modules te ordenen, werden ook de Essentiële Principes en Fundamentele Concepten van Oceaangeletterdheid in aanmerking genomen, evenals de Principes en Concepten over Zeegras. Als gevolg daarvan komt de eerste thematische module overeen met het vijfde Principe van Oceaangeletterdheid *(De oceaan ondersteunt een grote diversiteit aan leven en ecosystemen)*, terwijl elk van de overige thematische modules overeenkomt met een van de zes Principes over zeegras. In elke thematische module bieden synoptische teksten de noodzakelijke inhoudelijke kennis.

Achteraan in de handleiding bevindt zich een begrippenlijst die bedoeld is om het begrip van de lezer te vergemakkelijken. Daarnaast wordt achteraan in de handleiding, voor elk hoofdstuk afzonderlijk, een lijst met documenten en wetenschappelijke publicaties (tijdschriftartikelen, boeken en hoofdstukken, rapporten, enz.) gepresenteerd voor lezers die de onderwerpen verder willen uitdiepen.

A. THEORETISCH KADER

A1. BEHOUD EN DUURZAAM GEBRUIK VAN DE OCEAAN

Theodoros Kevrekidis
Democritus-universiteit van Thracië, Griekenland

Myrianthi Karantona
STANDO LTD, Cyprus

De oceaan, die meer dan 70% van de aarde bedekt, is van fundamenteel belang voor de regulering van het klimaat, de productie van zuurstof, de opname van CO2 en het behoud van de biodiversiteit. Hij voorziet in voedsel, geneesmiddelen, banen, kustbescherming, recreatieve activiteiten en culturele waarde, en ondersteunt de menselijke gezondheid en bestaansmiddelen. De versnelde klimaatverandering, vervuiling en overbevissing brengen echter het vermogen van de oceaan om deze functies en diensten te ondersteunen in gevaar. Er zijn internationale initiatieven ontwikkeld om de gezondheid van de oceanen te herstellen. Zo stelde de Algemene Vergadering van de VN in 2015 17 SDG's vast als een wereldwijde oproep om armoede te beëindigen, de planeet te beschermen en ervoor te zorgen dat alle mensen vrede en welvaart genieten tegen 2030 **(Agenda 2030 voor Duurzame Ontwikkeling)**. SDG 14 luidt: «De oceanen, zeeën en mariene hulpbronnen behouden en duurzaam gebruiken voor duurzame ontwikkeling». Daarnaast riep de Algemene Vergadering van de VN in 2017 het **Decennium van de Oceaanwetenschap voor Duurzame Ontwikkeling (2021-2030)** uit.

Het **Oceaandecennium** beslaat een periode van 10 jaar die begint op 1 januari 2021 en wordt gecoördineerd door de Intergouvernementele Oceanografische Commissie (IOC) van UNESCO. De **visie** van het Oceaandecennium is *«de wetenschap die we nodig hebben voor de oceaan die we willen»*. Specifiek verwijst dit naar de noodzaak om de huidige toestand van de wereldoceanen drastisch te verbeteren via wetenschappelijk onderbouwde oplossingen en meer samenwerking. Het Decennium zal het genereren van gegevens, informatie en kennis vergemakkelijken om van de *«oceaan die we hebben»* naar de «oceaan die we willen» te gaan. Het Oceaandecennium zal de wetenschappelijke capaciteit ontwikkelen en kennis genereren die rechtstreeks zal bijdragen aan de doelstellingen van de Agenda 2030 voor Duurzame Ontwikkeling en andere relevante wereldwijde juridische en beleidskaders. **Zeven resultaten** beschrijven de «oceaan die we willen» aan het einde van het Decennium:

Resultaat 1:
Een schone oceaan, waar de bronnen van vervuiling worden geïdentificeerd en verminderd of geëlimineerd.

Resultaat 2:
Een gezonde en veerkrachtige oceaan, waar mariene ecosystemen worden begrepen, beschermd, hersteld en beheerd.

Resultaat 3:
Een productieve oceaan die een duurzame voedselvoorziening en een duurzame oceaaneconomie ondersteunt.

Resultaat 4:
Een voorspelbare oceaan, waarin de samenleving de veranderende oceaanomstandigheden begrijpt en erop kan reageren.

Resultaat 5:
Een veilige oceaan, waar leven en bestaansmiddelen beschermd zijn tegen oceaangerelateerde gevaren.

Resultaat 6:
Een toegankelijke oceaan, met open en gelijke toegang tot gegevens, informatie, technologie en innovatie.

Resultaat 7:

Een inspirerende en betrekkende oceaan, waar de samenleving de oceaan begrijpt en waardeert in relatie tot het menselijk welzijn en duurzame ontwikkeling.

Het **Actiekader van het Oceaandecennium** zal het ontwerp en de uitvoering sturen van de initiatieven die tijdens het Oceaandecennium worden gerealiseerd. Dit kader omvat de **Uitdagingen van het Oceaandecennium**, die de meest onmiddellijke en dringende prioriteiten voor het Decennium vertegenwoordigen en die in de loop ervan kunnen evolueren, de **Doelstellingen van het Oceaandecennium**, die het noodzakelijke proces zullen sturen om de Uitdagingen aan te gaan, zodat we van de «oceaan die we hebben» naar de «oceaan die we willen» overgaan, en **de Acties van het Oceaandecennium**, oftewel concrete initiatieven en inspanningen (programma's, projecten, activiteiten en/of bijdragen) die door een breed scala aan belanghebbenden moeten worden uitgevoerd om de doelstellingen te halen en de Uitdagingen te realiseren.

De drie **Doelstellingen van het proces van het Oceaandecennium** worden hieronder beschreven. Voor elke Doelstelling wordt een niet-uitputtende lijst van **subdoelstellingen** voorgesteld die van fundamenteel belang zullen zijn bij het formuleren, structureren en groeperen van de Acties van het Oceaandecennium.

Doelstelling 1:

De kennis identificeren die nodig is voor duurzame ontwikkeling en de capaciteit van de oceaanwetenschap vergroten om de benodigde oceaangegevens en -informatie te leveren.

Doelstelling 2:

De capaciteiten versterken en omvattende kennis en begrip van de oceaan genereren, met inbegrip van de menselijke interacties en de interacties met de atmosfeer, de cryosfeer en het grensvlak tussen land en zee.

Doelstelling 3:

Het gebruik van kennis en begrip van de oceaan vergroten en capaciteiten ontwikkelen om bij te dragen aan oplossingen voor duurzame ontwikkeling.

De eerste **subdoelstelling** van **Doelstelling 3** wordt hieronder beschreven:

Subdoelstelling 3.1:

De rol van de oceaanwetenschap voor duurzame ontwikkeling breed verspreiden en bevorderen bij diverse groepen belanghebbenden, met name via formeel en informeel onderwijs en de uitbreiding van benaderingen van oceaangeletterdheid onder deze groepen.

In deze context werd de ontwikkeling van **oceaangeletterdheid** door de Verenigde Naties (VN) uitdrukkelijk erkend als een van de cruciale stappen naar een duurzame toekomst voor de oceaan.

A2.
DE GESCHIEDENIS VAN OCEAANGELET-TERDHEID EN HAAR PRINCIPES

Dominika Wojcieszek
European Marine Science Educators Association, België

DE NOODZAAK VAN OCEAANGELETTERDHEID

Volgens het Cambridge Dictionary is een van de betekenissen van **"geletterdheid"** «kennis van een bepaald onderwerp of een specifiek soort kennis». In deze context verwijst **Oceaangeletterdheid** (OG) naar het begrip van de invloed van de oceaan op ons – en van onze invloed op de oceaan.

De **oceaan** is het meest prominente en zichtbare kenmerk van de aarde. Hij bedekt meer dan 70% van het aardoppervlak en bevat 97% van al het water op aarde. De eerste levensvormen die zuurstof produceerden – waardoor onze atmosfeer inadembaar en de aarde bewoonbaar werd – kwamen voort uit de oceaan. Als bakermat van het leven is hij de thuisbasis van een buitengewone diversiteit aan organismen, gaande van de kleinste microscopische eencellige organismen tot het grootste dier dat ooit op aarde heeft bestaan – de blauwe vinvis.

De oceaanbodem herbergt de hoogste bergen van de planeet, de diepste troggen en de uitgestrektste vlakten, evenals het grootste systeem van vulkanische activiteit. De oceaan reguleert de systemen van onze planeet. Hij transporteert warmte, water en koolstofdioxide over de hele aardbol en beïnvloedt zo zowel het globale klimaat als het lokale weer. Hij voorziet de mensheid van voedsel, zoet water, geneesmiddelen, transport, energie en grondstoffen. Bovendien ondersteunt de oceaan de menselijke gezondheid, cultuur en economieën, waardoor de band tussen de mens en de oceaan onlosmakelijk is.

Ondanks zijn immense belang blijft de oceaan grotendeels onontgonnen – en ernstig ondervertegenwoordigd in onderwijssystemen over de hele wereld.

De **logica** achter Oceaangeletterdheid is eenvoudig: aangezien de oceaan het dominante kenmerk van onze planeet is, moeten we de oceaan begrijpen om de aarde werkelijk te begrijpen. Deze kennis is essentieel voor de duurzaamheid van onze planeet en voor het welzijn van de mensheid.

Oceaangeletterdheid helpt het bewustzijn te vergroten over de cruciale rol van de oceaan in het ondersteunen van leven en moedigt het verantwoorde en duurzame gebruik van zijn hulpbronnen aan. Naarmate oceaangerelateerde uitdagingen aan belang winnen op het gebied van wetenschap, beleid, onderwijs en het maatschappelijk middenveld, komt Oceaangeletterdheid naar voren als een vitaal instrument om betrokkenheid, verantwoord beheer en gedeelde verantwoordelijkheid te bevorderen.

In het afgelopen decennium heeft oceaangeletterdheid in Europa steeds meer aan belang gewonnen als een manier om oceaankwesties dichter bij het brede publiek te brengen en zo het begrip en de steun voor het duurzaam beheer van de oceanen en het behoud van mariene hulpbronnen te bevorderen. Dit belang wordt erkend in wereldwijde en regionale initiatieven. Zo heeft de missie van de Europese Unie «Onze oceanen en wateren herstellen» tot doel onderzoek, innovatie, investeringen en burgerparticipatie te mobiliseren om aquatische ecosystemen te beschermen en te herstellen. Evenzo omvat het Decennium van de Oceaanwetenschap voor Duurzame Ontwikkeling van de Verenigde Naties (2021–2030) Uitdaging 10: «De relatie van de samenleving met de oceaan herstellen», die rechtstreeks aansluit bij de doelstellingen van Oceaangeletterdheid.

OORSPRONG VAN OCEAANGELETTERDHEID

Het moderne concept van Oceaangeletterdheid begon vorm te krijgen in het begin van de jaren 2000. In die tijd erkende een coalitie van mariene wetenschappers en docenten in de Verenigde Staten een flagrante lacune: oceaangerelateerde onderwerpen waren vrijwel volledig afwezig in het formele onderwijs.

Als reactie hierop vormden verschillende organisaties – waaronder de National Marine Educators Association (NMEA), de Centers for Ocean Science Education Excellence (COSEE), de National Geographic Society, en de National Oceanic and Atmospheric Administration (NOAA) - in 2003 werkgroepen en commissies om deze kwestie aan te pakken.

In 2004 kreeg het initiatief vaart. Een cruciaal moment vond plaats in oktober 2004, toen ongeveer 100 deskundigen op het gebied van oceaanwetenschap, onderwijs en beleid deelnamen aan een virtuele workshop georganiseerd door het College of Exploration (CoE). Onder de deelnemers bevonden zich vertegenwoordigers van het Education Office van de NOAA, de Lawrence Hall of Science, COSEE, het Sea Grant-programma van de NOAA en andere belangrijke instellingen.

Het doel was een omvattend kader te creëren om de oceaanwetenschap te integreren in de nationale en deelstaatonderwijsnormen. Het resultaat was de **definitie** en het motto **van Oceaangeletterdheid** en de zeven **Essentiële** Principes **van Oceaangeletterdheid** het (OLP) met **45 fundamentele concepten**. De resultaten van dit proces leidden tot de publicatie van de eerste Gids voor Oceaangeletterdheid in 2005, die sindsdien regelmatig is bijgewerkt. Het belangrijkste doel was docenten een praktische en wetenschappelijk nauwkeurige hulpbron te bieden om oceaaninhoud te integreren in de leerplannen op alle onderwijsniveaus – van de kleuterschool tot het secundair onderwijs.

DEFINITIE VAN OCEAANGELETTERDHEID:

Oceaangeletterdheid is het begrip van fundamentele concepten over het functioneren van het systeem oceaan-atmosfeer-aarde. Een persoon **met oceaangeletterdheid** erkent de invloed van de oceaan op zijn dagelijks leven, kan op betekenisvolle wijze communiceren over oceaankwesties en is in staat geïnformeerde en verantwoorde beslissingen te nemen om ervoor te zorgen dat de oceaan het leven op aarde blijft ondersteunen.

Slogan:
Begrijp de invloed van de oceaan op jou en jouw invloed op de oceaan.

De zeven **essentiële principes van oceaangeletterdheid**:

1. De aarde heeft één grote oceaan met vele kenmerken.
2. De oceaan en het leven in de oceaan geven vorm aan de kenmerken van de aarde.
3. De oceaan oefent een grote invloed uit op het weer en het klimaat.
4. De oceaan maakt de aarde bewoonbaar.
5. De oceaan ondersteunt een grote diversiteit aan leven en ecosystemen.
6. De oceaan en de mens zijn onlosmakelijk met elkaar verbonden.
7. De oceaan is grotendeels onontgonnen.

Er werd ook het aanvullende document **«Ocean Literacy Scope and Sequence» voor de leerjaren K-12** (https://oceanliteracy.wp2.coexploration.org/ocean-literacy-framework/). De «Ocean Literacy Scope and Sequence» bestaat uit 28 conceptuele stroomdiagrammen. Er is een conceptueel stroomdiagram voor elk principe in elke leeftijdscategorie (K-2, 3-5, 6-8 en 9-12). Elk stroomdiagram vertegenwoordigt een mogelijke manier om de kernconcepten en ondersteunende ideeën voor elk principe in een bepaalde leeftijdscategorie op te splitsen en te ordenen. Ze kunnen worden gebruikt als een voorgestelde instructievolgorde, een ordening van ideeën en/of een indicator van de leervoortgang.

HET BEGRIP VAN DE EVOLUTIE VAN OCEAANGELETTERDHEID

Sinds de eerste ontwikkeling ervan is het concept van Oceaangeletterdheid voortdurend geëvolueerd – met name in de manier waarop het wordt opgevat als een instrument voor het behoud, de bescherming en het duurzaam beheer van de oceanen. De vroege definities en benaderingen gingen uit van een lineair verband tussen toegenomen kennis over de oceanen en pro-milieugedrag. Onderzoek bracht echter zwakke of onbestaande correlaties aan het licht tussen kennis over de oceanen en zowel milieugedrag als attitudes.

Door zich van dit simplistische model te distantiëren, werd Oceaangeletterdheid niet alleen wat we weten, maar ook wat we voelen (onze attitudes), hoe we handelen (ons gedrag) en hoe we communiceren over oceaankwesties, zowel in ons persoonlijke als professionele leven.

In 2019 stelden Brennan et al. een kader van zes dimensies van Oceaangeletterdheid voor:

1. Bewustzijn
2. Kennis
3. Attitude
4. Gedrag
5. Behavior
6. Activisme

Dit kader werd later uitgebreid door McKinley et al. (2023), die nog vier dimensies toevoegden om het volledige spectrum van betrokkenheid bij de oceaan te omvatten:

7. Emotionele verbinding
8. Toegang en ervaring
9. Aanpassingsvermogen
10. Vertrouwen en transparantie

Samen weerspiegelen deze dimensies een holistisch begrip van Oceaangeletterdheid – een begrip dat de cognitieve, emotionele, gedragsmatige en sociale factoren erkent bij het bepalen van de manier waarop individuen en gemeenschappen zich tot de oceaan verhouden. Als zodanig benadrukken hedendaagse definities Oceaangeletterdheid als een complex en veelzijdig concept, dat tot doel heeft individuen en samenlevingen in staat te stellen kennis over de oceaan om te zetten in betekenisvolle gedragsverandering en collectieve actie voor een duurzamere toekomst.

Daarnaast zijn er in de context van de evolutie van Oceaangeletterdheid inspanningen geleverd om de Essentiële Principes en Fundamentele Concepten van Oceaangeletterdheid regionaal aan te passen en thematisch te specialiseren. Met name werden ontwikkeld: **Geletterdheid van de Grote Meren, Geletterdheid van de Middellandse Zee, Estuariene Principes en Concepten en Principes** en **Concepten over Zeegras.**

A3. BEHOUD VAN ZEEGRAS

Theodoros Kevrekidis
Democritus-universiteit van Thracië, Griekenland

Paraskevi Malea
Aristoteles-universiteit van Thessaloniki, Griekenland

Zeegrassen, of mariene zaadplanten, zijn bloeiende planten die ondergedoken leven in ondiepe mariene en estuariene milieus. Er zijn ongeveer **zeventig soorten** mariene zaadplanten beschreven, gegroepeerd in 12 geslachten. Zeegrassen zijn **wijdverspreid** en komen voor in alle ondiepe kustwateren, behalve langs de Antarctische kusten. Er zijn zes **zeegras-bioregio's** gedefinieerd (Tropisch Atlantisch, Tropisch Indo-Pacifisch, Noord-Atlantisch Gematigd, Mediterraan, Noord-Pacifisch Gematigd en Antarctisch Gematigd Oceaangebied), elk met onderscheiden floristische kenmerken, waarbij de bioregio van het Tropisch Indo-Pacifisch gebied de grootste soortendiversiteit vertoont.

De meeste zeegraspopulaties zijn beperkt tot dieptes van minder dan 20 meter, maar er zijn mariene zaadplanten geregistreerd op veel grotere diepten, tot wel 90 meter, en sommige soorten verdragen blootstelling aan de lucht en vormen uitgestrekte intergetijdenpopulaties, in de zone tussen de getijden. Zeegrassen groeien doorgaans op zanderige tot modderige sedimenten, maar sommige soorten kunnen groeien op rotsachtige substraten. De meeste soorten verdragen een breed scala aan waarden van zoutgehalte. Daardoor worden ze vaak aangetroffen in estuaria. Zeegrassen vormen **uitgestrekte weiden**, die een uniek marien ecosysteem vormen. Zeegrassen kunnen ook groeien in geïsoleerde, onsamenhangende en kleine gebieden, of als onderdeel van een habitatmozaïek met andere habitats, zoals koralen, mangroven, schelpdierriffen of onbegroeide sedimenten. Zeegrassen bedekken een totale oppervlakte die overeenkomt met ongeveer 10% van de kustoceaan, en hun weiden ondersteunen vaak een hoge biomassa.

Zeegrasecosystemen vervullen **een veelheid aan functies** die waardevol zijn voor het globale functioneren van kustsystemen. Deze mariene planten zijn belangrijke primaire **producenten** en leveren **organisch voedsel aan een verscheidenheid aan voedselwebben**. Ze structureren de zeebodem tot een complexe omgeving die extra ruimte biedt aan veel organismen en dient als **habitat, kraamkamer en toevluchtsoord** voor een verscheidenheid aan ongewervelden, vissen en zoogdieren. Zeegrasecosystemen zorgen ook voor **trofische interacties** met andere belangrijke mariene ecosystemen.

De fysieke structuur van zeegras stabiliseert het substraat, dempt de energie van golven en wind, bevordert sedimentatie en voorkomt het opnieuw in suspensie brengen van deeltjes, waardoor **erosie en de troebelheid van de waterkolom worden verminderd**. Zeegrassen spelen een belangrijke rol in de **koolstof- en nutriëntenkringloop**. Hun weiden hebben een hoog vermogen om koolstof op te nemen en op te slaan en vormen daarom een belangrijke **koolstofput** op wereldschaal (**opslag van blauwe koolstof**). Bijgevolg helpen deze planten klimaatverandering te verzachten en kunnen ze de verzuring van de oceanen, afremmen, wat ten goede komt aan organismen met kalkstructuren, zoals koralen. Zeegrassen fungeren als een **filter voor de nutriënten** die het kustmilieu binnenkomen, verwijderen **verontreinigende stoffen** uit de waterkolom en de sedimenten en geven **zuurstof** af via de fotosynthese, waardoor ze **de waterkwaliteit** verbeteren**.** Ze kunnen ook **pathogene mariene bacteriën** uit het water verwijderen, die ziekten veroorzaken bij mariene organismen.

Zeegrassen leveren een **verscheidenheid aan ecologische, sociale, economische en cul-**

turele diensten aan de mens op wereldschaal. Zeegrassen zijn waardevol voor **het menselijk welzijn**, aangezien ze de mariene biodiversiteit ondersteunen, zeewater zuiveren, ziekten beheersen, zuurstof produceren, bijdragen aan de globale nutriënten- en koolstofkringloop en klimaatverandering en de gevolgen van de verzuring van de oceanen verzachten. **Ze beschermen de kusten** tegen erosie, overstromingen en stormen, ondersteunen **de wereldwijde visproductie**, worden gebruikt voor de productie van **materialen, geneesmiddelen en voedsel**, en hebben het potentieel om te worden gebruikt voor de **productie van biobrandstoffen, biogas en biomethaan**. Zeegrasweiden leveren **culturele diensten**, zoals kansen voor recreatieve activiteiten, en vormen **een belangrijk element van het cultureel erfgoed** van veel volkeren. Ze worden ook gebruikt als **indicatoren** van antropogene verstoringen van het mariene en estuariene milieu. De vele voordelen die zeegrasecosystemen bieden, plaatsen ze onder **de meest waardevolle mariene ecosystemen**.

Toch is er een **wereldwijde trend van zeegrasverlies** gedocumenteerd. Geschat wordt dat sinds de negentiende eeuw ongeveer twintig procent van de wereldwijde omvang van deze weiden verloren is gegaan, terwijl de toestand van meer dan 22 soorten verslechtert. Het verlies van zeegras is te wijten aan de wisselwerking van **antropogene en natuurlijke factoren**. De menselijke bedreigingen kunnen **van terrestrische oorsprong, marien of klimaatgerelateerd** zijn en kunnen zeegras direct of indirect beïnvloeden. De belangrijkste terrestrische bedreigingen voor deze planten zijn de afvloeiing van industrieel, agrarisch en stedelijk water en de ontwikkeling van de kust, terwijl de mariene bedreigingen onder meer ongecontroleerde visserij en scheepvaartactiviteiten omvatten, baggeren, exotische soorten en aquacultuur. Onvermijdelijk hebben de wereldwijde verliezen van zeegras aanzienlijke gevolgen voor de mens vanwege de belangrijke ecosysteemdiensten die ze leveren.

Zeegrassen staan niet centraal in de **beleids- en beheersstrategieën**. Slechts enkele landen hebben specifieke plannen ontwikkeld voor de bescherming van zeegrasecosystemen, terwijl slechts een kwart van het geregistreerde gebied binnen beschermde mariene gebieden ligt. Toch kunnen **het beheer, het behoud en het herstel** van zeegrasweiden hun verliezen ongedaan maken. Daarom is de ontwikkeling en uitvoering van doeltreffende wetgeving, beleid en beheersplannen dringend noodzakelijk.

Het doeltreffende behoud, herstel en beheer van zeegrasecosystemen vereisen een **omvattend begrip** van deze systemen. Toch hebben deze ecosystemen minder **onderzoeksinspanning**, gekregen in vergelijking met andere kustecosystemen die een vergelijkbaar scala aan ecosysteemdiensten leveren, zoals koraalriffen. De kennis over zeegras is in de loop van de afgelopen eeuw aanzienlijk uitgebreid, met snelle vooruitgang in het onderzoek naar deze mariene planten. Toch blijven er **aanzienlijke lacunes in onze kennis** over zeegras bestaan. Verschillende vraagstukken, die een breed scala aan onderzoeksgebieden bestrijken, zijn geïdentificeerd als prioriteiten voor toekomstig onderzoek. Het in kaart brengen en monitoren van de omvang en de toestand van zeegrasweiden, evenals beheers- en herstelvraagstukken, zijn in die prioriteiten opgenomen.

A4. ZEEGRASGELET-TERDHEID

Theodoros Kevrekidis
Democritus-universiteit van Thracië, Griekenland

Helena Barracosa
Centro de Ciências do Mar do Algarve, Portugal

Zeegrasweiden zijn **vitale, maar ondergewaardeerde mariene ecosystemen**. Zoals eerder vermeld, staan zeegrassen niet centraal in het beheersbeleid, hoewel het beheer, het behoud en het herstel van zeegrasweiden hun verliezen ongedaan kunnen maken. Bovendien is **de samenleving zich grotendeels niet bewust van** zeegras en de waarde ervan. Studies die de maatschappelijke erkenning van zeegras in veel delen van de wereld onderzochten, toonden aan dat de samenleving zich grotendeels niet bewust is van zeegras en het belang ervan. Er werd gemeld dat veel mensen nog nooit van zeegras hebben gehoord of het verwarren met macroalgen. Gebleken is dat de publieke erkenning van zeegras bijzonder beperkt is wanneer mensen geen directe ervaring hebben met zeegraseco-systemen of wanneer de diensten die deze ecosystemen aan mensen leveren indirect zijn, zoals de ondersteuning van de visproductie. Daarentegen bleek de erkenning van het belang van zeegras groter te zijn in lokale gemeenschappen die er voor hun levensonderhoud van afhankelijk zijn.

Daarom is er **een grotere erkenning van de waarde van zeegras** nodig om beleidsmakers en besluitvormers onder druk te zetten om deze waardevolle ecosystemen te beschermen. De bewustmaking van het publiek over deze planten is erkend als cruciaal voor de duurzame toekomst van deze belangrijke mariene ecosystemen. In deze context werd onlangs het eerste rapport van de Verenigde Naties over de waarde van zeegras gepubliceerd, met als doel het publiek te informeren over het belang van deze planten (Milieuprogramma van de Verenigde Naties, 2000. Out of the blue: The value of seagrasses to the environment and to people. UNEP, Nairobi).

Het bovenstaande onderstreept de noodzaak om **een samenleving** met **kennis van zeegras**, te creëren, die in staat is geïnformeerde en verantwoorde beslissingen te nemen over de duurzaamheid ervan. **Zeegrasgeletterdheid** verwijst naar het begrip van de fundamentele concepten met betrekking tot de biologie en structuur, functies, diensten, bedreigingen en het behoud van het zeegrasecosysteem, evenals naar het vermogen om over deze unieke planten te communiceren en hun bescherming en herstel actief te ondersteunen. Om dit doel te bereiken, werd de kennis geïdentificeerd waarover een burger moet beschikken om als zeegrasgeletterd te worden beschouwd. Specifiek werden de **Essentiële Principes en Fundamentele Concepten over Zeegras** gedefinieerd, die een thematische aanpassing vormen van de Principes van Oceaangeletterdheid (Apostoloumi, C., Malea, P., Kevrekidis, T., 2021. Seagrass principles and concepts: Towards a sustainable future for seagrass ecosystems. Marine Pollution Bulletin 173, 112936). Specifiek werden zes essentiële principes over zeegras geïdentificeerd. Elk principe wordt ondersteund door een reeks fundamentele concepten. Deze principes en concepten hebben betrekking op belangrijke vraagstukken van de zeegrasbiologie (Principes 1-4), de waarde (Principes 3-5), het verlies en de bescherming (Principe 5), maar ook op het wetenschappelijk onderzoek naar deze planten (Principe 6).

De **Principes en Concepten over Zeegras** zijn de volgende:

Principe 1.
Zeegrassen zijn unieke planten.

Principe 2.
Zeegrassen vormen uitgestrekte onderwaterweiden.

Principe 3.
Zeegrassen ondersteunen een grote diversiteit aan leven.

Principe 4.
Zeegrassen stabiliseren de zeebodem, verbeteren de waterkwaliteit en slaan koolstof op.

Principe 5.
Zeegrassen en de mens zijn onlosmakelijk met elkaar verbonden.

Principe 6.
Zeegrassen zijn grotendeels nog weinig bestudeerd.

De Principes en Concepten over Zeegras kunnen als **leidraad** dienen voor wetenschappers, beleidsmakers en besluitvormers, niet-gouvernementele organisaties, belanghebbenden en de sector van de Blauwe Economie, zodat zij geïnformeerde en verantwoorde beslissingen over zeegras nemen. Deze principes en concepten kunnen ook worden gebruikt om het publiek te informeren en worden ingezet in campagnes in de media en op sociale netwerken. Maar bovenal kunnen deze principes en concepten worden gebruikt voor **educatieve doeleinden**, zowel in de context van formeel als niet-formeel onderwijs. Ze kunnen worden geïntegreerd in de leerplannen van het basis- en secundair onderwijs, in schoolboeken en in onderwijspraktijken, samen met de essentiële principes en fundamentele concepten van Oceaangeletterdheid. Initiatieven voor zeegrasgeletterdheid kunnen ervaringsgerichte leerbenaderingen omvatten, zoals veldwerk, modelleringsactiviteiten, interdisciplinaire projecten en strategieën van actiegericht onderwijs, waarvan is aangetoond dat ze het begrip van het functioneren van ecosystemen en van de interacties tussen mens en ecosysteem bevorderen.

De opname van fundamentele vraagstukken over belangrijke thema's met betrekking tot zeegras in de leerplannen en onderwijspraktijken is verenigbaar met het UNESCO-kader voor Onderwijs voor Duurzame Ontwikkeling. Deze opname is ook consistent met een intergouvernementeel overeengekomen verklaring («Plannen ondersteunen om oceaangerelateerd onderwijs te bevorderen, bijvoorbeeld als onderdeel van de onderwijsleerplannen, om oceaangeletterdheid en een cultuur van behoud, herstel en duurzaam gebruik van onze oceanen te bevorderen»), die een resultaat vormde («Oproep tot Actie», Artikel 13.a) van de conferentie op hoog niveau «Our Ocean», bijeengeroepen door de Verenigde Naties in 2017 om de uitvoering te ondersteunen van het Duurzame Ontwikkelingsdoel 14 («De oceanen, zeeën en mariene hulpbronnen behouden en duurzaam gebruiken voor duurzame ontwikkeling») van de Agenda 2030 voor Duurzame Ontwikkeling. Zeegrasgeletterdheid is een bijdrage aan het Duurzame Ontwikkelingsdoel 14, aangezien het de wetenschappelijke kennis over een van de belangrijkste mariene ecosystemen vergroot. Lesgeven over zeegrasecosystemen, hun ecologische rol en hun kwetsbaarheid verbetert de kwaliteit van het onderwijs in de mariene wetenschappen, versterkt het milieubewustzijn, bereidt jonge leerlingen voor om het mariene leven te begrijpen en te beschermen en moedigt hen aan om toekomstige wetenschappers en natuurbeschermers te worden. De integratie van zeegrasgerelateerde thema's in de leerplannen en onderwijspraktijken is ook consistent met een subdoelstelling («bevordering van formeel en informeel onderwijs, met inbegrip van oceaangeletterdheid») van Doelstelling 3 van het Decennium van de Oceaanwetenschap voor Duurzame Ontwikkeling van de Verenigde Naties.

B.
SEAQUEST-CURRICULUM

B1.
DOEL EN DOELSTELLINGEN

Theodora Boubonari
Democritus-universiteit van Thracië, Griekenland

ALGEMENE DOELSTELLING

Het SEAQUEST-project heeft tot doel de kennis over zeegras te vergroten bij leerlingen van het basisonderwijs in heel Europa en zo oceaanburgers te vormen die de cruciale rol begrijpen van zeegrasecosystemen in het behoud van de mariene biodiversiteit, de regulering van het klimaat en de globale ecologische duurzaamheid. Het curriculum wil verantwoord milieubeheer bevorderen, in lijn met internationale behoudsinitiatieven, door het vermogen van leerlingen te ontwikkelen om geïnformeerde pleitbezorgers te worden en actieve deelnemers aan de inspanningen voor de bescherming en het herstel van zeegras. Door een omvattend onderwijs over zeegras zullen de leerlingen de kennis, vaardigheden en waarden ontwikkelen die nodig zijn om bij te dragen aan het behoud van mariene ecosystemen, terwijl ze tegelijkertijd zeegras erkennen als een fundamenteel onderdeel van gezonde oceaansystemen die zowel het mariene leven als het menselijk welzijn ondersteunen.

SPECIFIEKE DOELSTELLINGEN

KENNISDOELSTELLINGEN

De leerlingen moeten in staat zijn om:

- **Ecologisch begrip:**

Omvattende kennis aantonen van de kernvraagstukken van de zeegrasbiologie en van de structuur en functie van het zeegrasecosysteem

- **Ecologische verbanden:**

De relaties analyseren tussen zeegrasweiden en de bredere mariene en terrestrische ecosystemen

- **Ecosysteemdiensten:**

De vitale diensten identificeren die het zeegrasecosysteem aan de mens levert

- **Bewustzijn van behoud:**

De huidige bedreigingen voor zeegrashabitats identificeren en behoudsstrategieën evalueren vanuit een breder perspectief van wereldwijde milieu-uitdagingen en -oplossingen

VAARDIGHEIDS-DOELSTELLINGEN

De leerlingen moeten in staat zijn om:

- **Wetenschappelijk onderzoek:**

Onderzoek ontwerpen en uitvoeren met behulp van de wetenschappelijke methode om zeegrasecosystemen te bestuderen

- **Kritische analyse:**

Milieugegevens en onderzoeksresultaten evalueren om op bewijs gebaseerde conclusies te trekken

- **Communicatie:**

Wetenschappelijke concepten en behoudsboodschappen doeltreffend communiceren naar hun scholen en de lokale gemeenschap

- **Digitale geletterdheid:**

Digitale hulpbronnen gebruiken voor het onderzoek naar en de presentatie van milieuthema's

DOELSTELLINGEN VOOR ATTITUDES EN WAARDEN

De leerlingen moeten in staat zijn om:

- **Milieubeheer:**

Persoonlijke verantwoordelijkheid ontwikkelen voor de bescherming van het mariene ecosysteem

- **Wereldburgerschap:**

Begrip aantonen van hun rol bij het aanpakken van wereldwijde milieu-uitdagingen

- **Collaboratieve actie:**

Deelnemen aan collectieve milieuacties en aan op de gemeenschap gebaseerde behoudsinitiatieven

B2. PEDAGOGISCHE BENADERINGEN

Theodora Boubonari
Democritus-universiteit van Thracië, Griekenland

Het curriculum maakt gebruik van constructivistische principes, waarbij leerlingen actief kennis opbouwen door middel van praktijkervaringen en zo nieuwe concepten over zeegras koppelen aan hun reeds bestaande begrip van ecosystemen en milieuwetenschappen. De hierna volgende benaderingen erkennen dat betekenisvol leren plaatsvindt wanneer leerlingen hun eigen begrip opbouwen door interactie met hun omgeving en sociale contexten.

ONDERZOEKEND LEREN

De leerlingen nemen deel aan authentiek wetenschappelijk onderzoek, formuleren hypothesen over zeegrasecosystemen, verzamelen en analyseren gegevens en trekken op bewijs gebaseerde conclusies. Deze benadering weerspiegelt de werkelijke processen van wetenschappelijk onderzoek en ontwikkelt kritisch denkvermogen, terwijl ze tegelijkertijd een diep conceptueel begrip bevordert.

PROBLEEMGESTUURD LEREN (PGL)

De reële uitdagingen van het behoud van zeegras vormen de basis voor de leerervaringen. De leerlingen werken samen om echte problemen op te lossen, zoals het opstellen van herstelplannen of de ontwikkeling van bewustmakingscampagnes voor de gemeenschap. Onderzoek toont aan dat PGL de betrokkenheid van leerlingen vergroot en 21e-eeuwse vaardigheden ontwikkelt.

ERVARINGSGERICHT LEREN

De directe betrokkenheid bij zeegrasmilieus via veldwerk, laboratoriumonderzoek en virtualrealityervaringen biedt concrete leermogelijkheden die de ontwikkeling van abstracte concepten ondersteunen. Deze praktijkgerichte benadering is bijzonder doeltreffend voor milieueducatie en het leren van de wetenschappen.

COÖPERATIEF LEREN

Gestructureerde groepsactiviteiten bevorderen de interactie tussen leeftijdsgenoten, de gedeelde verantwoordelijkheid en de collaboratieve opbouw van kennis. De leerlingen werken in diverse teams om verschillende aspecten van zeegrasecosystemen te onderzoeken, wat volgens studies zowel de academische prestaties als de sociale vaardigheden verbetert.

TECHNOLOGIEGESTUURD LEREN

De integratie van digitale hulpmiddelen, interactieve spellen en virtualrealityervaringen biedt boeiende multimediale leermogelijkheden die zich aanpassen aan verschillende leerstijlen en -voorkeuren. Hedendaags onderzoek bevestigt de doeltreffendheid van immersieve technologieën in de milieueducatie.

B3.
COMPETENTIES

Theodora Boubonari
Democritus-universiteit van Thracië, Griekenland

Het SEAQUEST-curriculum ontwikkelt een omvattend geheel van competenties waarmee leerlingen kunnen uitgroeien tot doeltreffende milieubeheerders en wetenschappelijk geletterde burgers. Deze competenties integreren kennis, vaardigheden en attitudes in diverse domeinen en zorgen ervoor dat leerlingen zowel de technische vaardigheden ontwikkelen om zeegrasecosystemen te bestuderen als de communicatievaardigheden om hun bescherming te bepleiten.

VAARDIGHEDEN OP HET GEBIED VAN WETENSCHAPPELIJKE GELETTERDHEID

- De kenmerken van het zeegrasecosysteem systematisch observeren en registreren
- Sleutelsoorten identificeren
- De veranderingen in zeegrashabitats in de loop van de tijd documenteren
- Wetenschappelijke hulpmiddelen en instrumenten gebruiken voor het verzamelen van gegevens
- Kwantitatieve en kwalitatieve milieugegevens verzamelen, ordenen en analyseren
- Grafieken, tabellen en visuele weergaven van de resultaten maken
- Patronen en trends in de gegevens van het zeegrasecosysteem identificeren
- Op bewijs gebaseerde conclusies trekken uit de onderzoeksresultaten
- De onderzoeksresultaten presenteren met behulp van passend wetenschappelijk vocabulaire
- Rapporten, presentaties en tentoonstellingen opstellen
- Behoudsboodschappen op doeltreffende wijze communiceren

VAARDIGHEDEN OP HET GEBIED VAN MILIEUGELET-TERDHEID

- De onderlinge verbanden in zeegrasecosys-temen begrijpen
- De relaties tussen menselijke activiteiten en milieueffecten analyseren
- De milieu-uitdagingen identificeren die zee-grashabitats beïnvloeden
- De principes van duurzaam beheer begri-jpen
- De menselijke praktijken evalueren die zee-grasecosystemen beïnvloeden

DIGITALE VAARDIGHEDEN

- Digitale databanken en onderzoeksinstru-menten doeltreffend gebruiken
- Digitale hulpmiddelen gebruiken voor het verzamelen, analyseren en presenteren van gegevens
- Samenwerken met behulp van onlineplat-forms en communicatie-instrumenten

SOCIALE EN BURGER-SCHAPSVAARDIGHEDEN

- Doeltreffend in groep werken aan milieupro-jecten
- Verantwoordelijkheden delen en bijdragen aan collectieve doelstellingen
- Conflicten op constructieve wijze oplossen tijdens groepsactiviteiten
- Het leren tussen leeftijdsgenoten ondersteu-nen en aanmoedigen
- Anderen motiveren om deel te nemen aan behoudsactiviteiten
- De bescherming van het zeegrasecosysteem bepleiten

B4. BEOORDE-LINGSSTRATEGIEËN EN -INSTRUMENTEN

Theodora Boubonari
Democritus Universiteit van Thracië, Griekenland

Beoordeling in het SEAQUEST-curriculum maakt gebruik van diverse en authentieke strategieën die het leren van studenten in alle competentiegebieden vastleggen. Deze beoordelingsmethoden omvatten zowel traditionele academische metingen als innovatieve, prestatiegerichte beoordelingen, die praktijkgerichte natuurbeschermingspraktijken weerspiegelen.

- **Uitdagingen bij soortidentificatie:**

Praktische beoordelingen van het vermogen van studenten om zeegrassoorten en bijbehorende organismen te identificeren en te beschrijven

- **Milieugegevensverzameling:**

Beoordeling van de competenties van leerlingen in het gebruik van wetenschappelijke instrumenten en bij het verzamelen van nauwkeurige milieugegevens

- **Uitvoerbladen:**

Korte schriftelijke antwoorden aan het einde van de lessen om het directe begrip te beoordelen en misvattingen te identificeren

- **Digitale quizzen:**

Realtime beoordeling met behulp van onderwijstechnologieplatforms om begrip te beoordelen en het onderwijs aan te passen

- **Kennistesten:**

Gestructureerde beoordelingen die feitelijke informatie over zeegrasbiologie, ecologie en natuurbehoud bestrijken

- **Peer-to-peer feedbacksessies:**

Gestructureerde mogelijkheden voor studenten om constructieve feedback te geven op elkaars werk en ideeën

- **Concept mapping:**

Visuele weergaven van het begrip van studenten, die relaties tussen zeegrasconcepten tonen

- **Verhaalvertelling:**

Studenten maken presentaties die wetenschappelijke inhoud combineren met persoonlijke verhalen over zeegrasconservatie

- **Rollenspelscenario's:**

Studenten nemen de rollen van verschillende belanghebbenden op zich in debatten over het behoud van zeegras

- **Presentatie aan de gemeenschap:**

Openbare presentaties waarin studenten hun leer- en natuurbeschermingsaanbevelingen delen met leden van de gemeenschap

- **Ontwikkeling van digitale portefeuille:**

Uitgebreide verzameling van studentenwerk die groei en prestaties in meerdere competentiegebieden aantoont

- **Rubrieken en beoordelingscriteria:**

Beoordelingsrubrics behandelen meerdere dimensies van leerlingprestaties in relatie tot wetenschappelijke nauwkeurigheid, kritisch denken, communicatie en samenwerking

B5.
THEMATISCHE MODULES

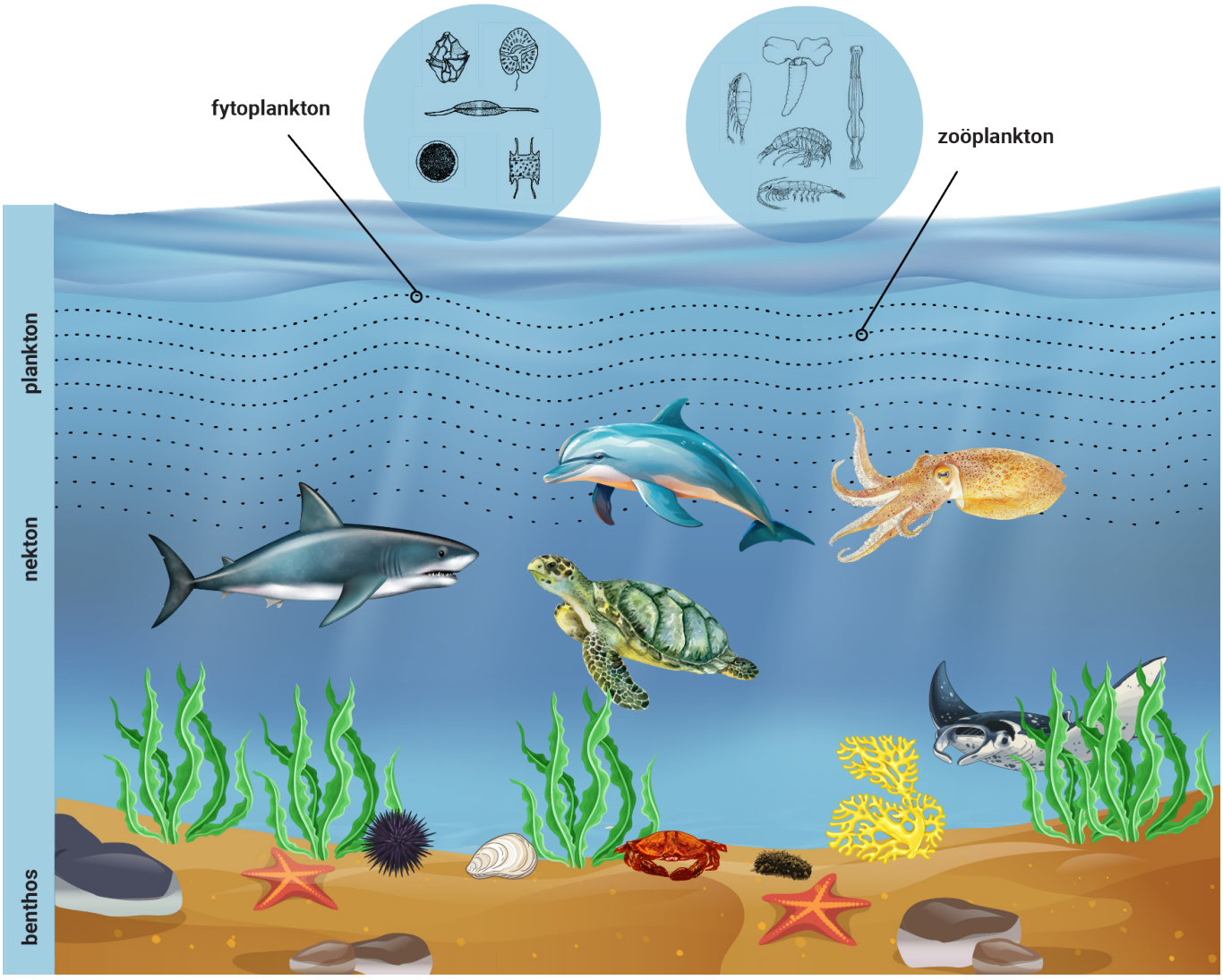
B5.1
DE OCEAAN ONDERSTEUNT EEN GROTE DIVERSITEIT AAN LEVEN EN ECOSYSTEMEN

Ana Alexandre
Algarve Mariene Wetenschapscentrum, Portugal

B5.1.1
DIVERSITEIT VAN HET LEVEN

Duizenden soorten bewonen de oceanen van de wereld, van microscopische organismen tot het grootste dier op aarde (de blauwe walvis), verspreid van het oppervlak tot de diepten van de zee, inclusief de poolgebieden. De mariene omgeving is het leefgebied van de meeste van de 34 erkende dierenfyla, waarvan vele uitsluitend marien zijn, wat de oorsprong van het leven in de zee weerspiegelt. Mariene organismen worden geclassificeerd volgens hun levenswijze in **plankton, necton** en **bentos** (zie Fig. 1.1).

Plankton zijn kleine, fluctuerende organismen, meestal microscopisch, die in de waterkolom leven. Ze kunnen niet tegen de heersende waterstromingen in zwemmen en worden door deze meegesleurd. Ze zijn onderverdeeld in fytoplankton, zoöplankton en bacterioplankton. Het grootste



Figuur 1.1

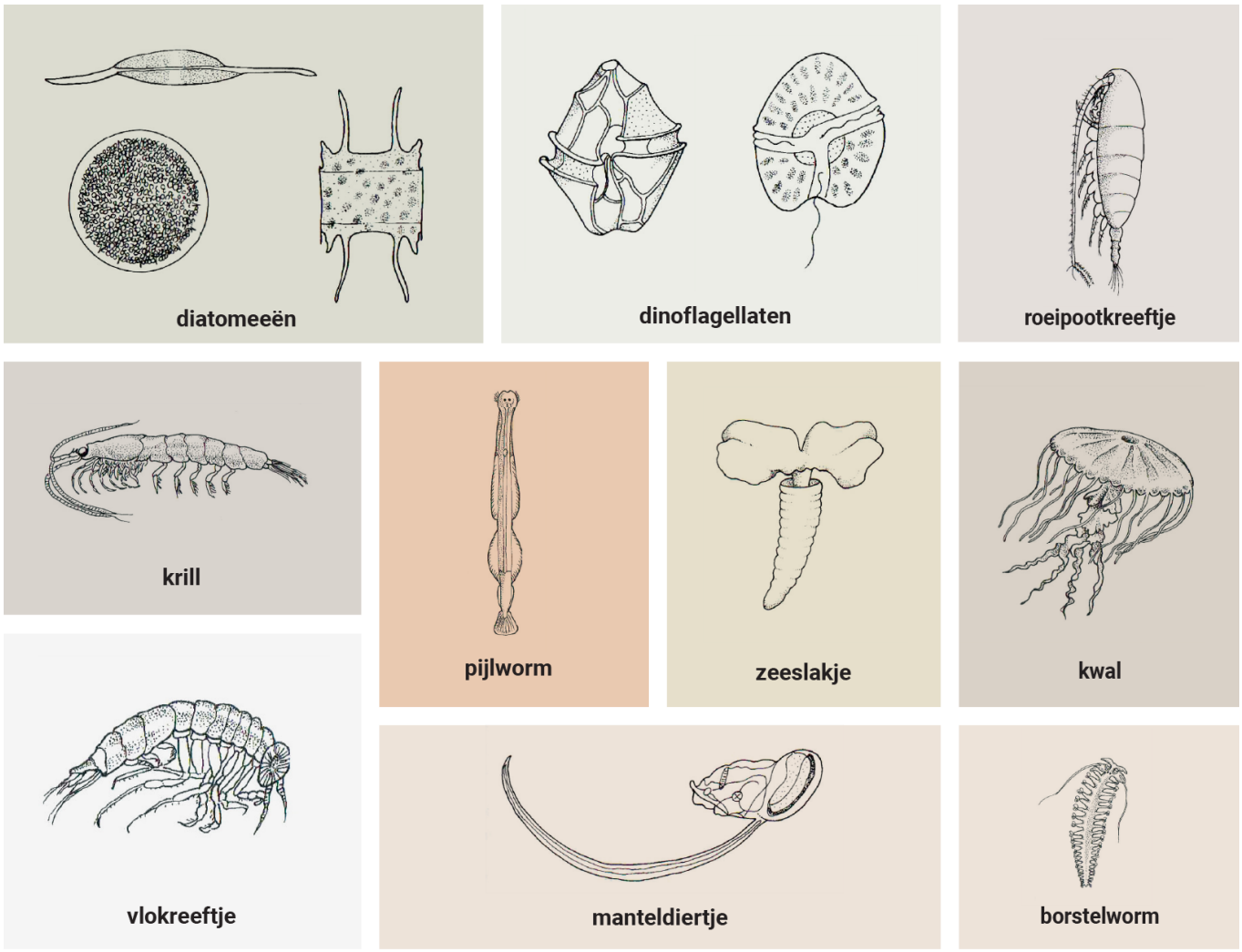
Schematische weergave van de classificatie van mariene organismen volgens hun levenswijze in plankton, necton en bentos (niet op schaal)

deel van de biomassa in de oceanen bestaat uit planktonische organismen.

- **Fytoplankton** zijn microscopische autotrofe organismen die energie produceren door fotosynthese en de basis vormen van veel aquatische voedselwebben (bijv. diatomeeën, dinoflagellaten) (zie Fig. 1.2). Deze organismen zijn verantwoordelijk voor ongeveer de helft van de wereldwijde fotosynthetische activiteit.

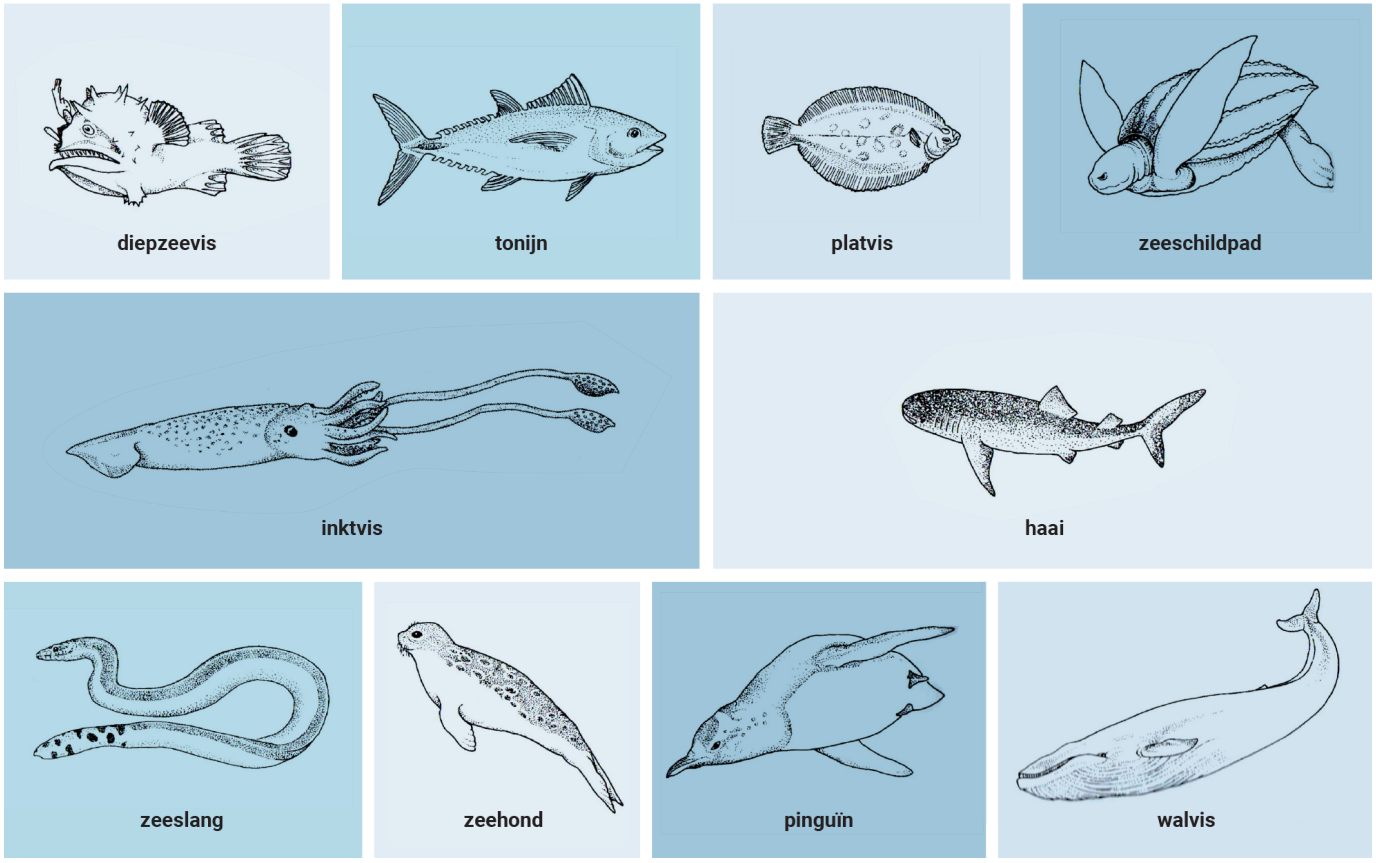
- **Zoöplankton** bestaat voornamelijk uit kleine dieren, waaronder de larven van grotere zeedieren, zoals krabben en zeesterren, die zich voeden met fytoplankton (Fig. 1.2). Krill, dat wil zeggen kleine kreeftachtigen die als voedsel dienen voor baleinwalvissen en een belangrijk deel van het zooplankton vormen. Kwallen worden als planktonische dieren beschouwd vanwege hun beperkte vermogen om sterke stromingen te weerstaan.

- **Bacterioplankton** zijn eencellige autotrofe en heterotrofe organismen die microscopisch groot zijn maar vaak zeer talrijk (miljoenen of miljarden cellen per milliliter water). Ze vervullen essentiële biogeochemische functies, zowel in de nutriëntencyclus als bij de afbraak van organisch materiaal.



Figuur 1.2.

Schematische diagrammen van representatieve leden van diatomeën, dinoflagellaten en zoöplankton (niet op schaal, aangepast van Barnes en Hughes, 1999. Een introductie tot mariene ecologie, 3e editie, Blackwell Science)



Figuur 1.3

Schematische diagrammen van representatieve leden van necton (niet op schaal, aangepast van Barnes and Hughes, 1999. Een introductie tot mariene ecologie, 3e editie, Blackwell Science)

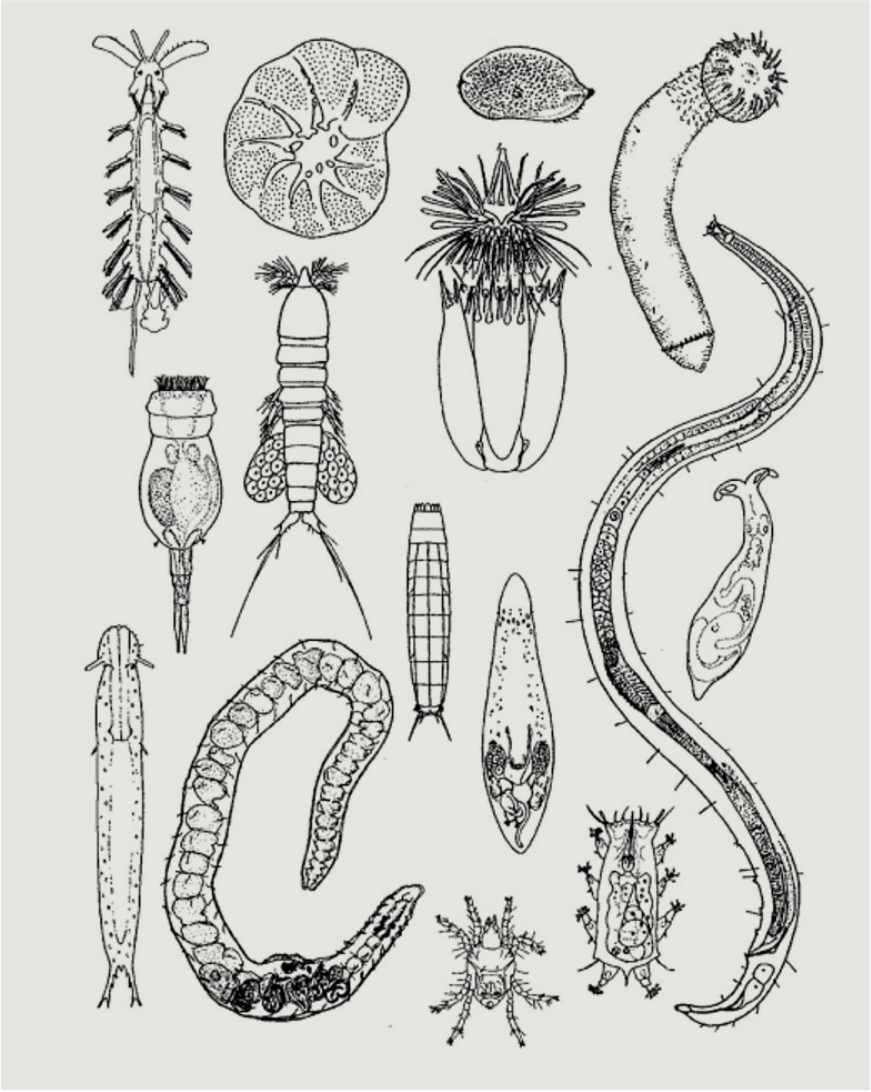
Necton is een groep organismen die het vermogen heeft ontwikkeld om tegen oceaanstromingen in te zwemmen en te bewegen. Ze bewegen in de waterkolom, maar gebruiken de zeebodem ook om zich te verstoppen, voedsel te zoeken en zich voort te planten. Nekton-organismen worden onderverdeeld in:

- Weekdieren (bijv. inktvis, octopus)
- Kreeftachtigen (bijv. garnalen, krabben)
- Benige en kraakbraakvissen (bijv. zalm, haaien)
- Reptielen (bijv. zeeschildpadden)
- Vogels (bijv. pinguïns)
- Mariene zoogdieren (bijv. walvissen, zeeleeuwen)

Schematische diagrammen van representatieve leden van het necton zijn weergegeven in Figuur 1.3.

Benthos is een groep organismen die op, in of nabij de zeebodem leven. Zij vormen meer dan 98% van de 250.000 bekende mariene soorten samen. Benthische organismen worden onderverdeeld in:

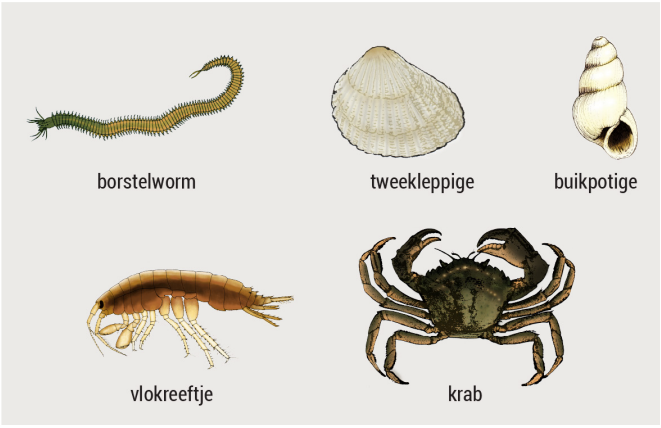
- **Micro bentes** bestaat uit organismen kleiner dan 0,1 mm en omvat sedimentaire bacteriën, cyanobacteriën en diatomeën.
- **Het benthische medium** bestaat uit organismen van 0,1 tot 0,5 mm en omvat dieren, samen met enkele grote protisten (Fig. 1.4).



Figuur 1.4

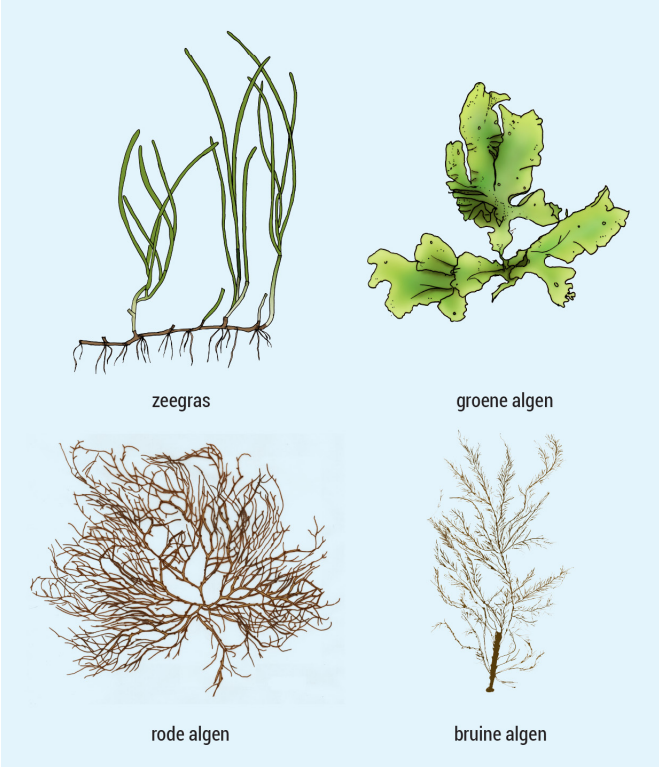
Schematische diagrammen van representatieve half-benthische dieren (niet op schaal, aangepast van Higgins, R.P. en H. Thiel, 1988. Inleiding tot de studie van meiofauna. Smithsonian Institution Press, Washington, D.C.)

- **Macro benthos** bestaande uit dieren over 0,5 mm die op het oppervlak van de zeebodem leven (bijv. zeesterren, krabben, koralen) of in sedimenten (bijv. wormen, kokkels). Vissen met gespecialiseerde lichaamsvormen, zoals boten en roggen, of ongewervelden dieren zoals octopussen en sepies, worden als benthische organismen beschouwd omdat ze in direct contact leven met de zeebodem. Zittende benthische organismen hebben geen eigen voortbeweging en zijn permanent gehecht aan een ander organisme of substraat. Enkele voorbeelden zijn zeepokken, oesters en Mosselen. Schematische diagrammen van representatieve macrobenthische dieren zijn weergegeven in Figuur 1.5.
- **Mariene benthische flora** omvat **zeegras** en **macroalgen** (of **zeewier**). Macroalgen worden onderverdeeld in groen (Chlorophyta), rood (Rhodophyta) en bruin (Phaeophyta), inclusief laminaria (kelps). Schematische diagrammen van een soort zeegras en macroalgen zijn weergegeven in Figuur 1.6.



Figuur 1.5

Schematische diagrammen van benthische macrodieren



Figuur 1.6

Schematische diagrammen van een soort zeegras en macroalgen

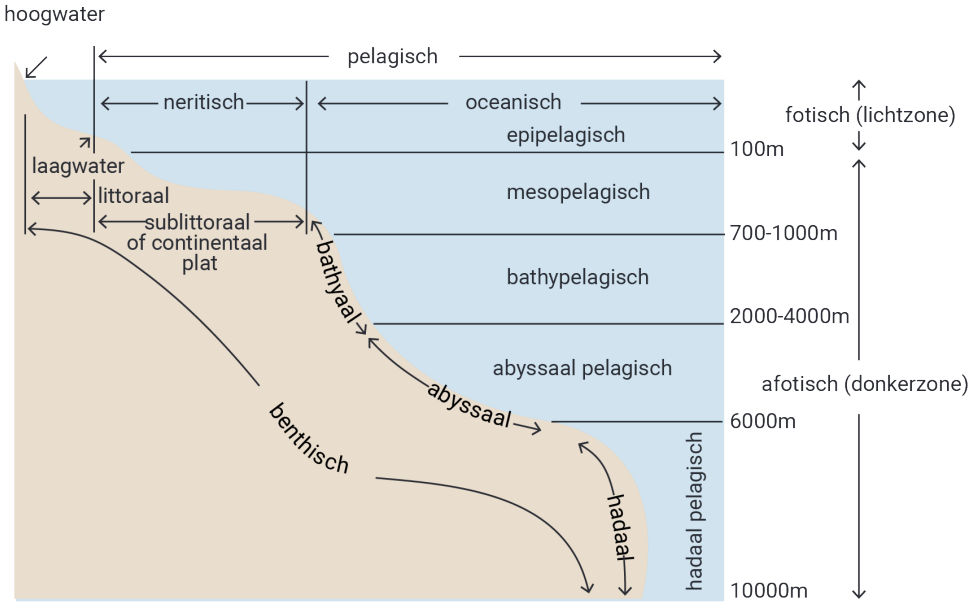
Mariene organismen hebben unieke aanpassingen om in zee te leven. Dieren die diep duiken (zeeschildpadden of olifantzeehonden) kunnen minuten tot uren hun adem inhouden. Dieren die zijn aangepast aan de hoge druk op de zeebodem kunnen niet overleven in de oppervlaktelagen van de oceaan. Veel benthische soorten hebben planktonische fasen tijdens hun levenscyclus als een vorm van verspreiding, waarna ze zich vestigen en metamorfoseren in een andere volwassen vorm (zeesterren, kwallen en koralen). Naarmate geluid zich efficiënt voortplant in het water, zullen veel zeedieren, waaronder walvissen, dolfijnen, vissen en kreeftachtigen, gebruiken ze onderwatergeluiden om te communiceren, te navigeren en voedsel te vinden. Polaire zeezoogdieren hebben een dikke vetlaag onder hun huid, de zogenaamde onderhuidse vetlaag, die bescherming biedt tegen koud water. De exclusieve voortplantingsrol van mannelijke zeepaardjes, die zwanger worden en hun jongen baren, is uniek onder alle bekende diersoorten.

B5.1.2
DIVERSITEIT ECOSYSTEMEN

Mariene ecosystemen worden gevormd door verschillende omgevingsfactoren en de organismen die erin leven. De belangrijkste abiotische factoren zijn temperatuur, zoutgehalte, licht, zuurstof- en nutriëntenbeschikbaarheid, nabijheid van land en diepte; biotische factoren omvatten planten, dieren, microben en hun interacties. Omdat zonlicht de belangrijkste abiotische factor is, is de oceaan verdeeld in hoofdlichtzones: **fototisch** (tot 100-200 meter diep), waar zonlicht doordringt voor fotosynthese; **dysfotisch** (tussen 200 en 1000 meter), waar wat licht is, maar niet genoeg voor fotosynthese; en **afotisch** (> 1000 meter), een volledig donker gebied zonder zonlicht (Fig. 1.7). De fototische zone is het zenuwcentrum van primaire productiviteit en ondersteunt de grootste populaties marien leven.

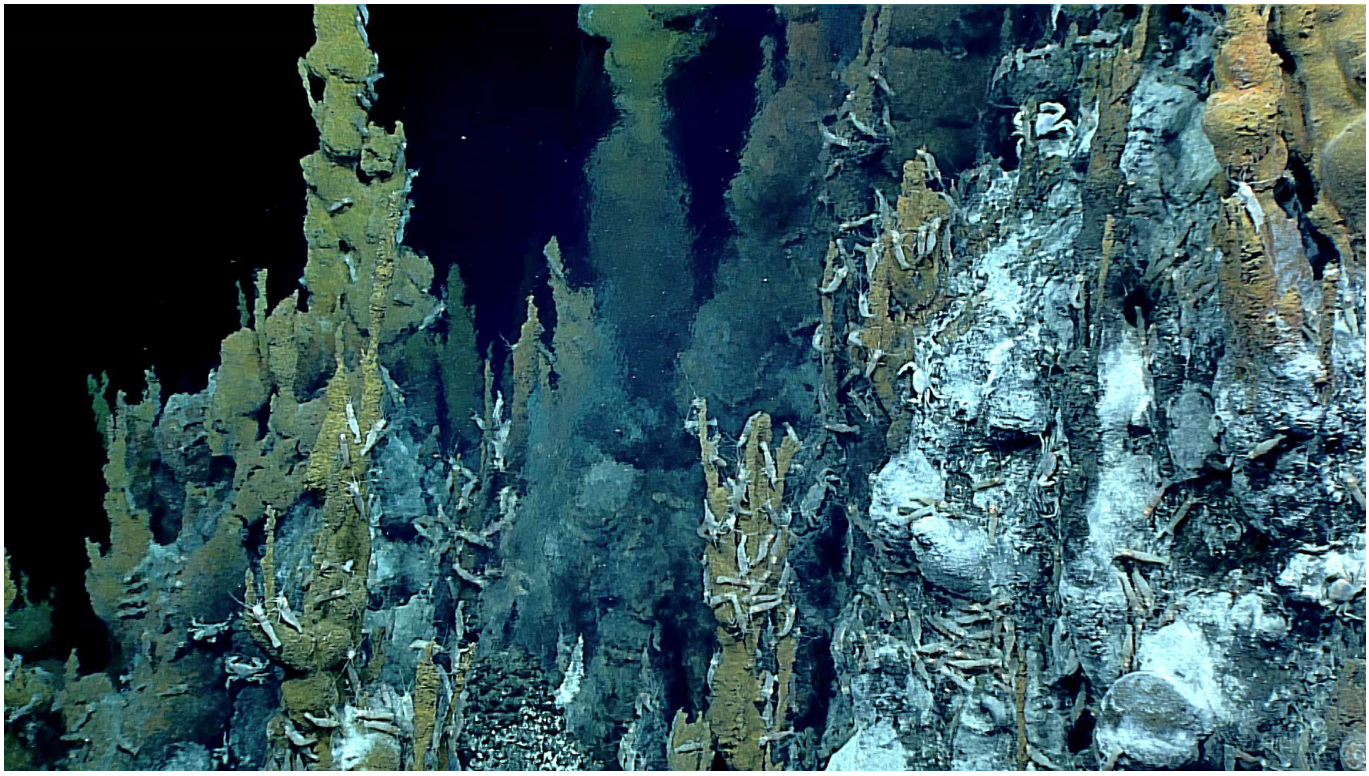
Er zijn drie hoofdmariene ecosystemen: de **diepzee**, de **open oceaan** en de **kust- en kustzone**, die met elkaar verbonden zijn door complexe trofische webben, vaak met meer niveaus dan terrestrische ecosystemen.

De diepzee wordt gekenmerkt door totale duisternis, extreme druk en lage temperaturen. Slechts enkele zeer gespecialiseerde diepzeedieren (bijv. duivelsvis, reuzenbuiswormen) bewonen deze oceaanzone, afhankelijk van het gebruik van chemische energie om organisch materiaal te produceren (chemosynthese) of van organismen die uit de fototische zone zinken om te voeden. Voorbeelden van diepzeehabitats zijn hydrothermale bronnen (Fig. 1.8) en koude bronnen.



Figuur 1.7

Belangrijke verdelingen van de oceanen van de wereld (niet op schaal), aangepast van J.W. Nybakken, Marine Biology: An Ecological approach. 5e editie, Benjamin Cummings)



Figuur 1.8

Schoorsteen van een hydrothermale bron. De bronvloeistof lijkt op donkere rook vanwege de hoge niveaus mineralen en sulfiden die het bevat; de schoorsteen wemelt van garnalen en krabben (afbeelding: NOAA Ocean Exploration, 2016 Deep Water Exploration of the Marians)



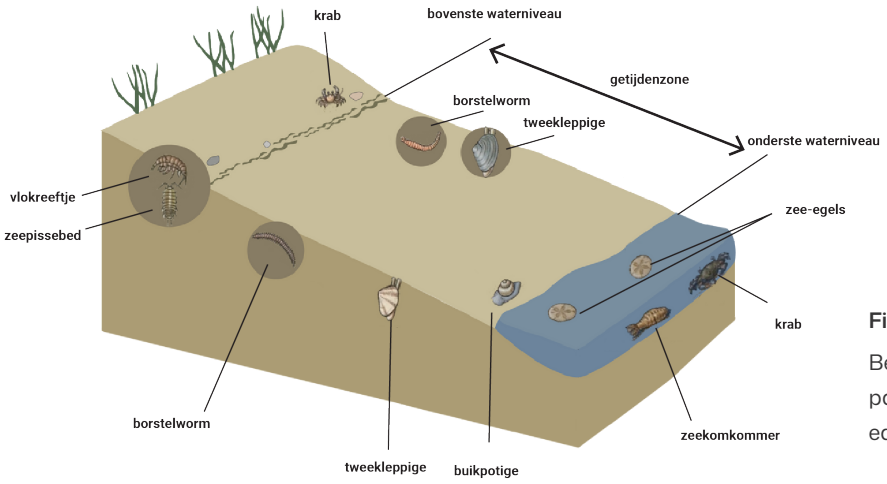
Figuur 1.9

Rotsachtig rif met laminariabos, Zuid-Australië (fotocredit: Stefan Andrews/Ocean Image Bank)

De open oceaan begint aan de rand van het continentaal plat en bedekt ongeveer 70% van het aardoppervlak. In dit uitgestrekte en diepe habitat zijn de dieren aangepast om lange afstanden te zwemmen en te overleven. Omdat er geen land in de buurt is om voedingsstoffen te leveren, is de productiviteit over het algemeen laag, behalve in opwellende gebieden nabij de westkusten. In deze gebieden vervangen door de wind aangedreven stromingen en het Coriolise-ffect warmere, voedingsarme oppervlaktewater- en door koudere, voedingsrijke diepwateren. Zeewierbossen gevormd door reuzenbruine algen (Fig. 1.9) gedijen in opwellende gebieden.

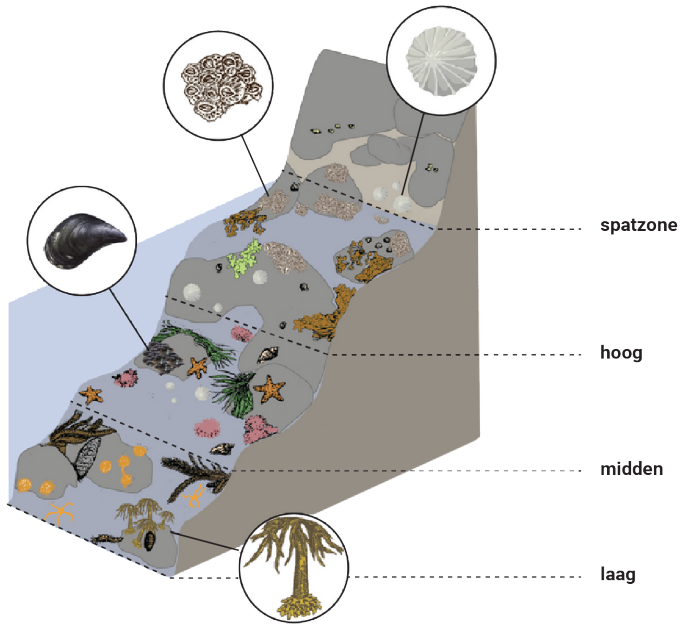
Kust- **en kustecosystemen** behoren tot de meest productieve en biologisch rijke op de planeet. Gelegen op de grens tussen land en oceaan, omvatten ze een breed scala aan omgevingen met een rijke soortendiversiteit, zoals zanderige en rotsachtige kusten, estuaria, mangroven, zoutmoerassen, koraalriffen en zeegrasweiden.

- **Zandstranden** zijn het leefgebied van kreeftachtigen en tweekleppigen, die vaak zich ingraven om fysieke stress en roofdieren te ontvluchten (Fig. 1.10); **De rotsachtige stranden** zijn georganiseerd in verticale zones (hoog-



Figuur 1.10

Bestemmingsplan voor een zandstrand (aangepast van P. Castro en M. Huber, Marine Biology, 11e editie, Mc Graw-Hill Education)



Figuur 1.11

Schematische weergave van een typisch bestemmingspatroon van de rotsachtige kust (aangepast van J. McCrae en L. Osis, Planten en dieren van Oregons rotsachtige getijdenhabitat, Oregon Department of Fish and Wildlife).

waterzone, middeltijdzone en laagwaterzone) gebaseerd op hun blootstelling aan lucht, licht en golven (Fig. 1.11).

- **Estuaria, mangroven** (Fig. 1.12) en **zoutmoerassen** bevinden zich in de overgangszone tussen zoet en zout water, ondergedompeld door getijdenoverstromingen.
- **Koraalriffen** (Fig. 1.13) zijn kolonies van zeedieren uit het fylum Cnidaria, die vaak voorkomen in warme, voedingsarme wateren van tropische gebieden (hoewel sommige koralen in koud, diep water leven); koralen delen een symbiotische relatie met eencellige fotosynthetische algen (zooxanthellae) die in koraalweefsels leven.
- **Zeegrasweiden**(Fig. 1.14), gevormd door bloeiende zeeplanten, komen meestal voor in ondiepe kustwateren; deze zeer productieve ecosystemen bieden habitat, beschutting en voedsel voor zeeleven, beschermen kusten en slaan grote hoeveelheden koolstof op in sedimenten.

Voorbeelden van oceaanhabitats in https://encounteredu.com/cpd/subject-updates/all-about-ocean-habitats.

Menselijke activiteiten, zoals kustontwikkeling, overbevissing en vervuiling, samen met klimaatverandering, veranderen de milieuomstandigheden en veroorzaken negatieve gevolgen voor mariene organismen en biodiversiteit.



Figuur 1.12

Mangroven in Raja Ampat, Indonesië (foto: The Ocean Agency/Ocean Image Bank)

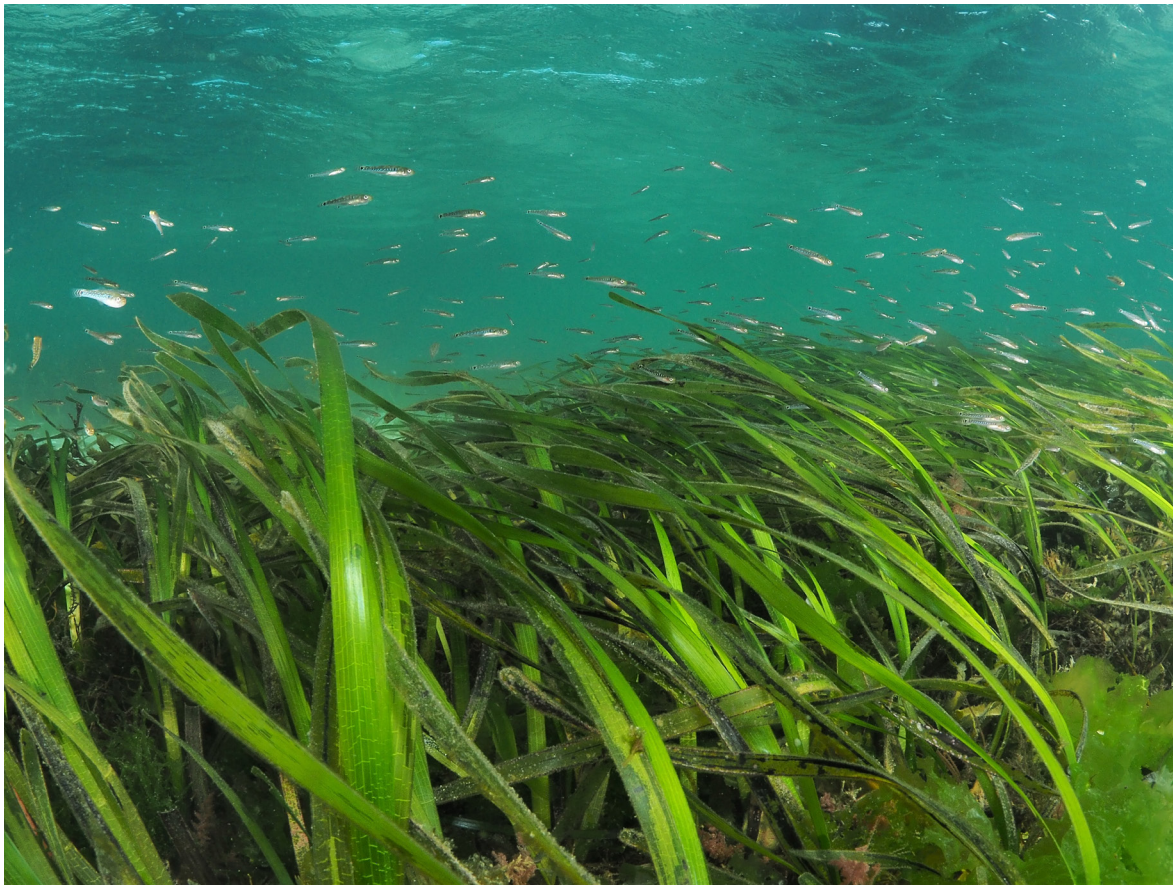


Figuur 1.13

Koraalrif in Sharm el Sheikh, Egypte (fotocredit: Renata Romeo/Ocean Image Bank)

Figuur 1.14

Seagrasses, Isles of Scilly, Cornwall, VK (Foto: Michiel Vos/Ocean Image Bank)



B5.2
ZEEGRASSEN ZIJN UNIEKE PLANTEN

Paraskevi Malea
Aristoteles Universiteit van Thessaloniki, Griekenland

Theodoros Kevrekidis
Democritus Universiteit van Thracië, Griekenland

B5.2.1 PRINCIPE 1 VAN ZEEGRASGELETTERDHEID: ZEEGRASSEN HET ZIJN UNIEKE PLANTEN

B5.2.2 FUNDAMENTELE CONCEPTEN

a. Zeegrassen zijn bloeiende planten die volledig ondergedompeld groeien en wortelen in mariene en estuariene omgevingen.

b. Zeegrassen voltooien hun levenscyclus onder water, inclusief bestuiving, kieming en zaadvorming, evenals de ontwikkeling en groei van rhizomen en wortels.

c. Zeegrassen zijn ongeveer 100 miljoen jaar geleden geëvolueerd en hebben een polyfyletische oorsprong. De mogelijke voorouders van zeegrassen zijn zoetwaterhydrofyten en kustplanten.

d. Zeegrassen vormen een ecologische groep van ongeveer zeventig soorten, gegroepeerd in twaalf geslachten. Drie van deze geslachten (*Halophila, Zostera en Posidonia*) omvatten de meeste zeegrassoorten.

e. Zeegrassen komen zeer wijdverspreid voor. Ze komen voor in alle kustgebieden van de wereld, behalve langs de kusten van Antarctica.

f. Er werden zes zeegrasgebieden gedefinieerd, twee tropisch en vier gematigd, elk met duidelijke bloemkenmerken. De grootste diversiteit aan zeegrassoorten komt voor in Zuidoost-Azië.

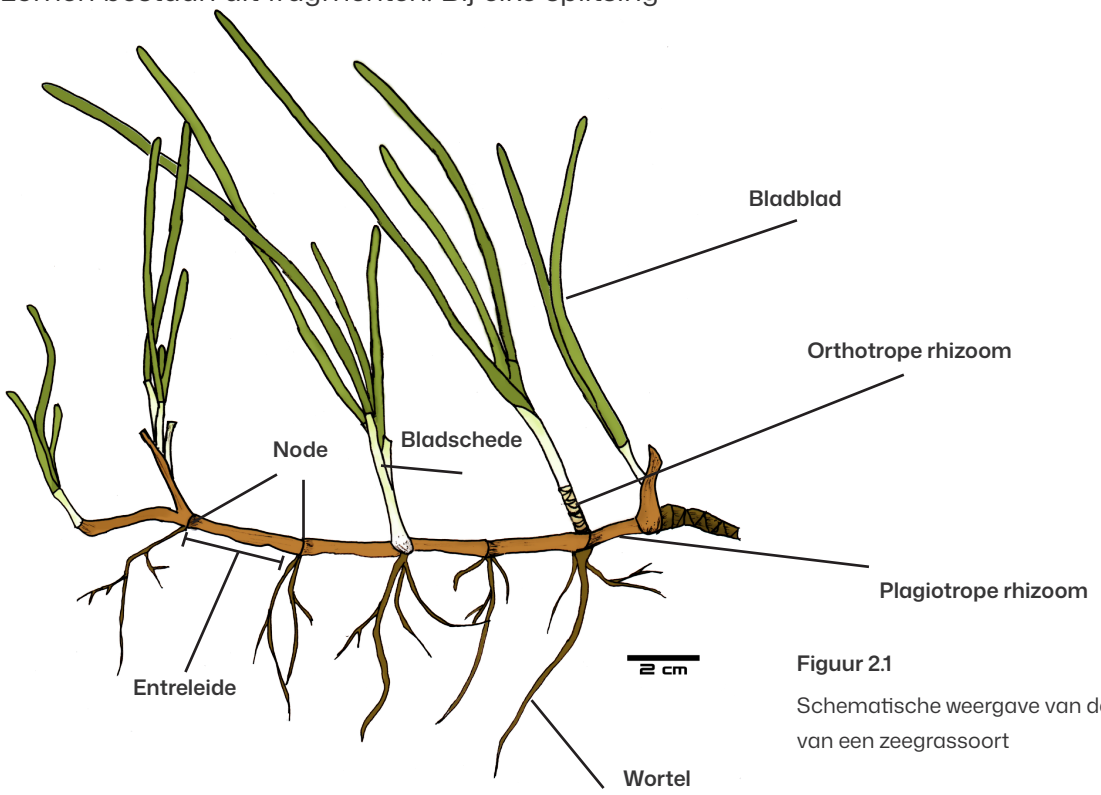
B5.2.3
KENNIS:
KENMERKEN, TAXONOMIE, OORSPRONG, EVOLUTIE EN WERELDWIJDE VERSPREIDING VAN ZEEGRASSEN

A. KENMERKEN VAN ZEEGRASSEN

Zeegrassen, of mariene angiospermen, zijn vaatplanten met bloemen, wortels en een intern transportsysteem, die volledig ondergedompeld groeien in mariene en estuariene omgevingen. Zeegrassen hebben organen en weefsels die lijken op die van terrestrische bloeiende planten. Zeegrassen vertonen echter ook verschillende morfologische en anatomische aanpassingen, zoals aanpassingen aan het mariene milieu, die hen onderscheiden van terrestrische planten.

Zeegrassen hebben ondergedompelde delen en emer-delen (Fig. 2.1). De ondergedompelde delen bestaan uit vasthoudende rhizomen en wortels, die belangrijk zijn bij nutriëntentransportprocessen. Zeegrassen hebben een goed ontwikkelde kruipende rhizoom (horizontaal of plagiotroop) dat langs of eronder groeit het substraat. Rhizomen bestaan uit fragmenten. Bij elke splitsing van fragmenten, een knoop genoemd, of bij bepaalde knopen, bevinden zich een of meer vertakte of niet-vertakte wortels en een scheut. Het gedeelte van de rhizoom tussen twee knopen wordt de interknoop genoemd.

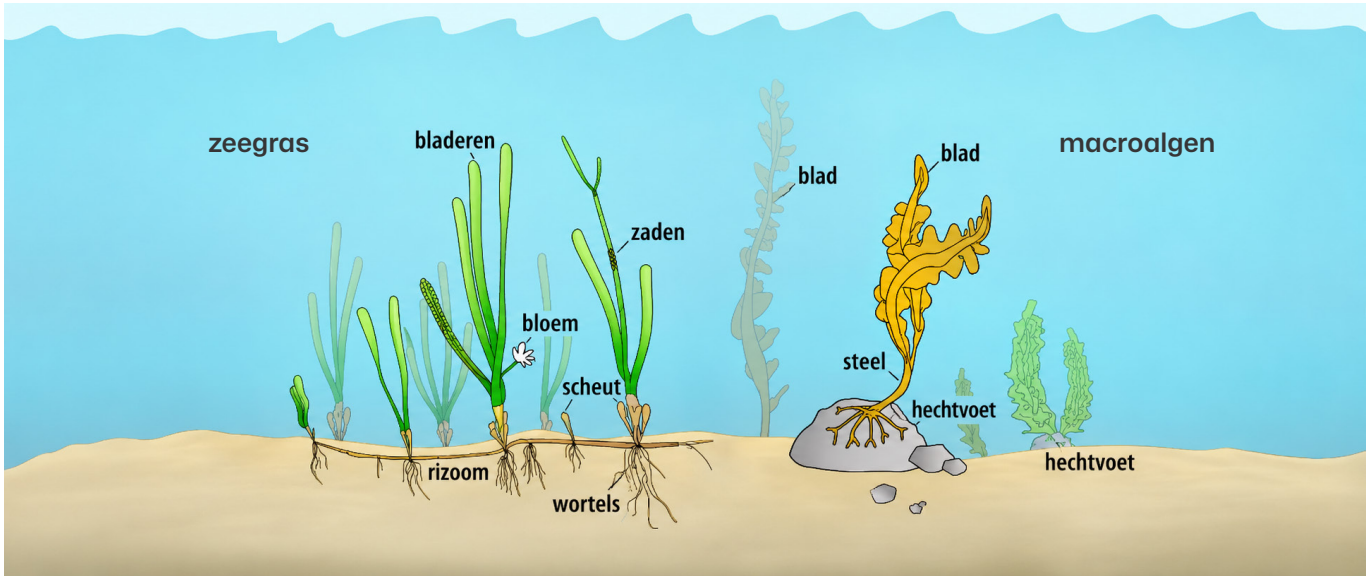
Veel zeegrassoorten, behalve die met horizontale wortelstokken, hebben ook verticale (orthotrope) wortelstokken, meestal met kortere internoden. De delen boven het substraat zijn bladscheuten. De term scheut duidt op bladeren die meer rizoom zijn, horizontaal of verticaal. Zeegrassen hebben gespecialiseerde bladeren met een sterk verminderde cuticula en een epidermis zonder stoma's. Een blad heeft meestal een basale schede om zich ontwikkelende bladeren te beschermen en een distale lamina voor fotosynthese.



Figuur 2.1

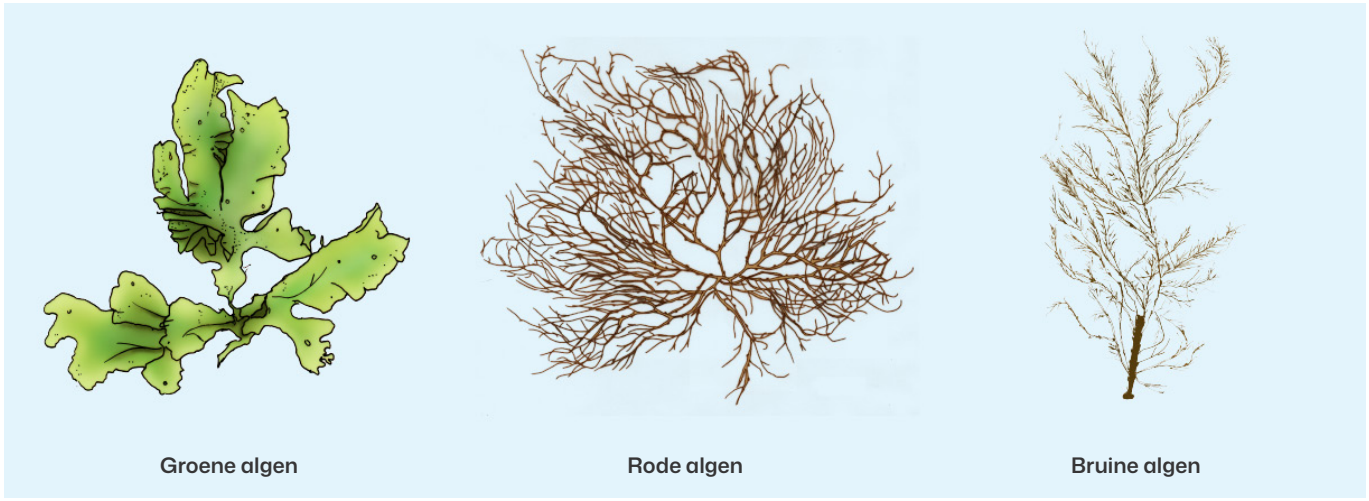
Schematische weergave van de basiscomponenten van een zeegrassoort

Zeegrassen worden vaak verward met **macroalgen**. Zeegras en macroalgen zijn echter heel verschillende organismen. In het bijzonder zijn zeewieren veel eenvoudigere organismen dan zeegrassen (Fig. 2.2). Macroalgen, ook wel zeewier genoemd, zijn meercellige en macroscopische organismen. In tegenstelling tot zeegras heeft zeewier geen echt wortelstelsel, maar eenvoudige **bevestigingen**, om zich te verankeren aan harde substraten zoals stenen of schelpen. Zeewier heeft geen geleidende vaten die moleculen door de plant vervoeren, zoals zeegrassen; Ze nemen mineralen en voedingsstoffen op van de waterkolom. Fotosynthese in zeewier wordt door alle cellen uitgevoerd, terwijl het bij zeegrassen beperkt is tot bladcellen. Voortplanting bij zeewier vindt niet plaats via bloemen, vruchten en zaden, zoals bij zeegras, maar via sporen. Macroalgen worden taxonomisch ingedeeld in drie verschillende groepen op basis van de stengelkleur, namelijk **Chlorophyta** (groene algen), **Rhodophyta** (rode algen) en **Phaeophyta** (bruine algen) (Fig. 2.3). Afgezien van kleur verschillen deze drie groepen echter aanzienlijk in veel ultrastructurele en biochemische kenmerken.



Figuur 2.2

Schematische diagrammen van een zeegras en een macroalg (aangepast van Seagrass-Watch https://www.seagrasswatch.org/).



Figuur 2.3

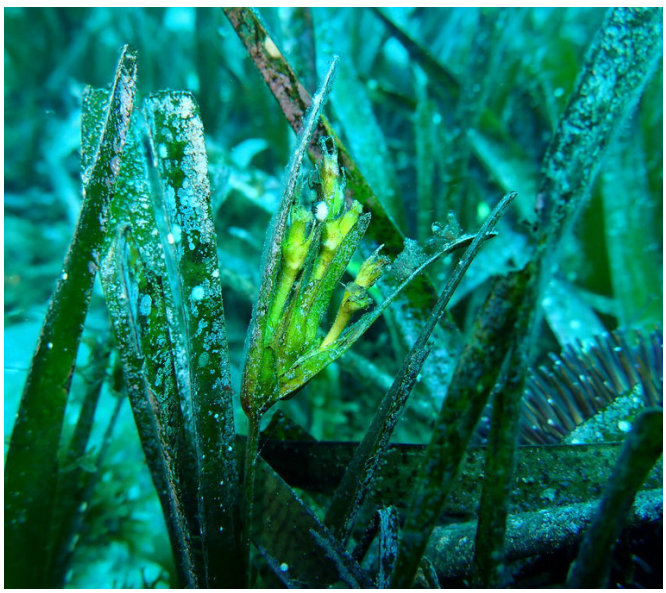
Schematische diagrammen van groene, rode en bruine macroalgen

B. LEVENSCYCLUS EN VOORTPLANTING

Zeegrassen voltooien hun volledige levenscyclus onder water of, in specifieke gevallen, aan het wateroppervlak, inclusief seksuele voortplanting (bestuiving), kieming en zaadvestiging (fig. 2.4 en 2.5), evenals de ontwikkeling en groei van scheuten/rhizomen en wortels. In het bijzonder vertonen alle zeegrassoorten behalve *Enhalus acoroides*, hydrofiele bestuiving, waarbij stuifmeelkorrels in de waterkolom worden vrijgegeven om de vrouwelijke bloem te bevruchten. *Enhalus acoroides* s de enige zeegrassoort met oppervlaktebestuiving. De stuifmeelkorrels worden bij hoogtij vrijgegeven en reizen naar het oppervlak om de vrouwelijke bloem bij eb te bevruchten.

De verlenging en vertakking van de wortelstokken van zeegras zijn het belangrijkste mechanisme waarmee ze zich bezetten de habitatruimte. Deze vegetatieve groei is een cruciaal proces voor het voortbestaan en de voortplanting van zeegrasweiden. Het onderhoud en de verspreiding van graslanden hangt ook af van seksuele voortplanting, wat het belangrijkste regulerende mechanisme is voor de vorming van zeegrasvelden.

De groeisnelheid varieert sterk tussen zeegrassoorten. Deze variabiliteit hangt grotendeels af van verschillen in plantgrootte; Kleinere zeegrassoorten groeien doorgaans sneller dan grotere. Zo variëren de groeisnelheden van horizontale (plagiotroope) zeegras-rhizomen tussen 2 cm

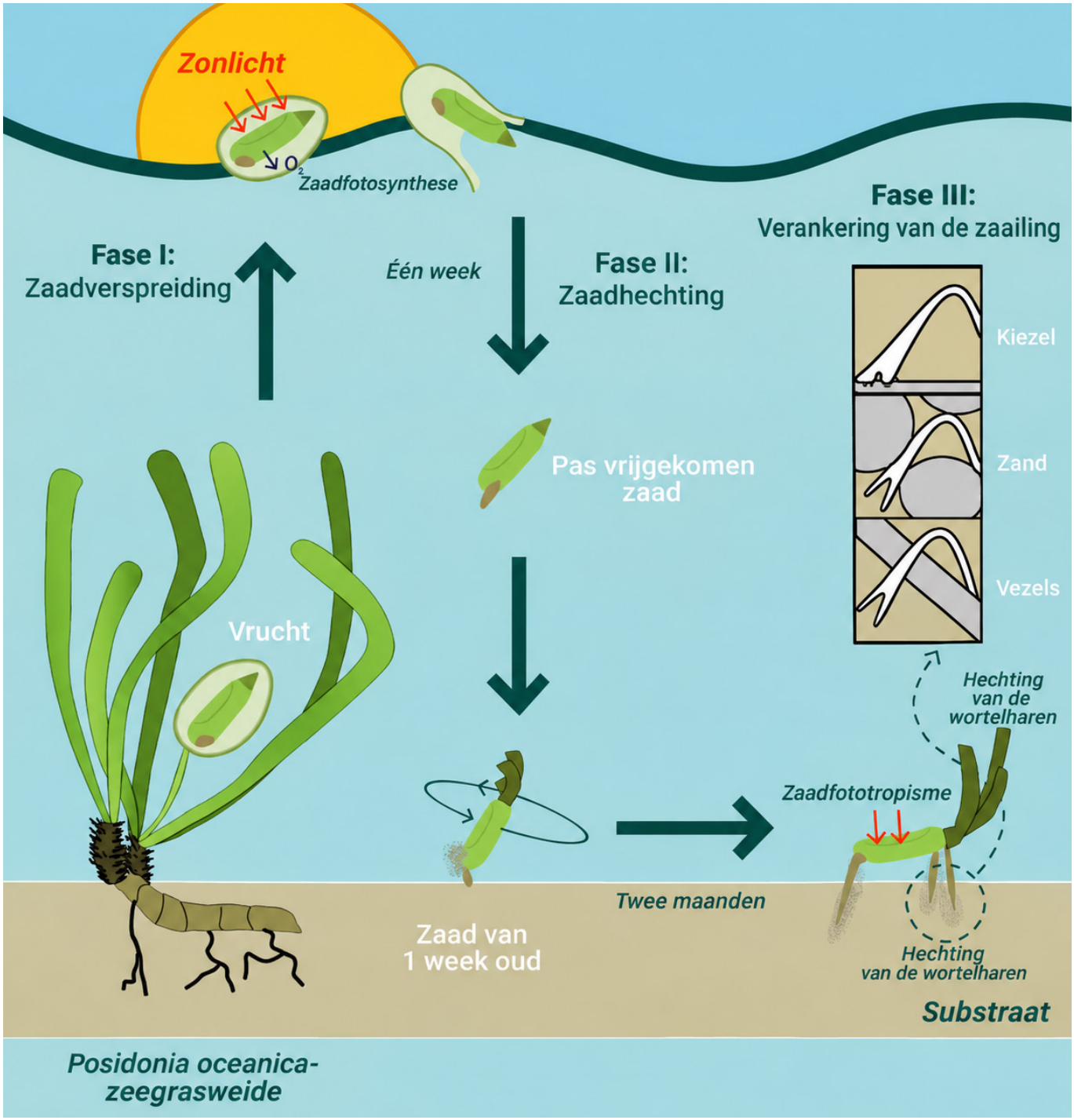




Figuur 2.4

Bloemen (links) en vruchten verzameld op het strand (rechts) van het zeegras *Posidonia oceanica* (fotocredit: Maria Altamirano Jeschke (links) en Eduardo Infantes Ordas (rechts)/AlgaeBase)

per jaar bij de soort *Posidonia oceanica*, die een strikt mediterrane soort is, en meer dan 2 meter per jaar bij de soort *Cymodocea nodosa*. *Posidonia oceanica* is een langlevende, zeer langzaam groeiende zeegrassoort. De lage horizontale verlengingssnelheid van de rhizoom van *posidonia oceanica* verklaart de extreem trage voortplanting en wijst op trage hersteltijden voor deze soort (van eeuwen tot millennia). Aan de andere kant duiden de horizontale extensiesnelheden van de rhizoom en de frequentie van vertakking die voor andere zeegrassoorten in de kustwateren van Europa aanwezig zijn, op hersteltijden van decennia.



Figuur 2.5

Schematische weergave van de seksuele rekruteringsfasen van het zeegras *Posidonia oceanica* (aangepast van Guerrero-Meseguer L, Sanz-Lázaro C, Marín A (2018)). PLoS ONE 13(11): e0207345)

C. TAXONOMIE

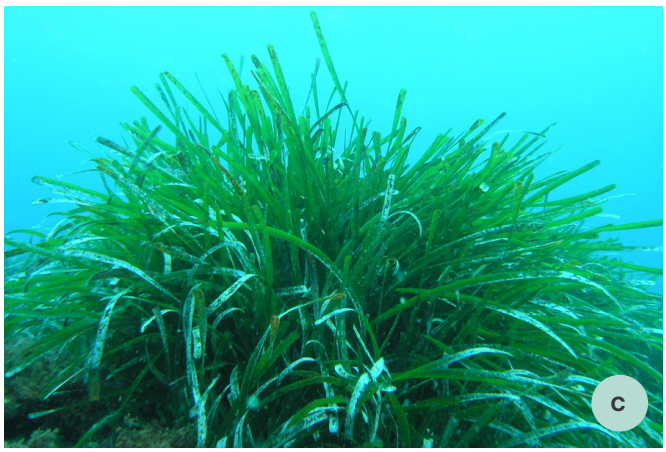
Zeegrassen zijn een biologische groep die bestaat uit zeeplanten met ondergedompelde bloemen. Alle zeegrassen zijn eenzaadbladen en behoren tot de orde **Alismatales**, die voornamelijk uit waterplanten bestaat. Er zijn ongeveer zeventig soorten zeegras geregistreerd, gegroepeerd in twaalf geslachten die tot vier families behoren. Drie van de vier families, namelijk de Zosteraceae, de Cymodoceaceae en de Posidoniaceae, bestaan uitsluitend uit zeegrassen. Een vierde familie, de Hydrocharitaceae, bevat drie geslachten die als zeegrassen worden beschouwd, maar de overige veertien geslachten in deze familie zijn beperkt tot zoetwater.

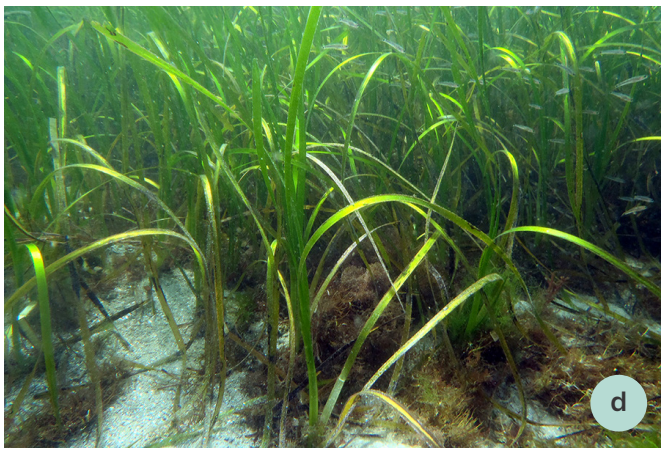
De familie **Hydrocharitaceae** omvat de zeegrasgeslachten *Enhalus, Thalassia* en *Halophila* (Fig. 2.6a), de familie **Cymodoceaceae** het geslacht *Cymodocea* (Fig. 2.6b) , *Thalassodendron*, *Amphibolis*, *Syringodium* en *Halodule*, de familie **Posidoniaceae** het geslacht *Posidonia* (Fig. 2.6c), en de familie **Zosteraceae** de geslachten *Phyllospadix*, *Zostera* (Fig. 2.6d) en *Heterozostera*.

Het moet worden opgemerkt dat het geslacht *Heterozostera* momenteel tot het geslacht *Zostera behoort*. Aan de andere kant erkennen verschillende auteurs drie geslachten: *Zostera*, *Nanozostera* en *Heterozostera*.









Figuur 2.6

Soorten van de geslachten *Halophila* (a), *Cymodocea* (b), *Posidonia* (c) en *Zostera* (d)

(fotocredits: Katrin Østerlund (a), Isabel Rubio Perez (b), Eduardo Infantes Ordas (c) en Ignacio Barbara (r)/AlgaeBase)

Drie van de geslachten, namelijk *Halophila*, *Zostera* en *Posidonia*, vormen het merendeel van de zeegrassoorten, terwijl het geslacht *Enhalus* wordt vertegenwoordigd door één enkele soort (*Enhalus acoroides*) (Fig. 2.7).

Het moet worden opgemerkt dat sommige auteurs soorten van de geslachten *Ruppia* in de groep zeegrassen opnemen (familie Ruppiaceae) en *Lepilaena* (familie Potamogetonaceae). Beide families, Ruppiaceae en Potamogetonaceae, behoren ook tot de orde Alismatales.



Figuur 2.7

Enhalus acoroides
(fotocredit: Steven Victor/AlgaeBase)

D. OORSPRONG EN EVOLUTIE

Zeegrassen stammen allemaal af van één orde van bloeiende planten, de orde van eenzaambladige Alismatales. De orde Alismatales, voornamelijk bestaande uit waterplanten van alle vormen – opgekomen, ondergedompeld, zoetwater, estuarium en marien – ontstond in een vroeg stadium in de evolutie van monocoots. Deze groep is waarschijnlijk meer dan 100 miljoen jaar geleden geëvolueerd. Hoewel alle zeegrassen afkomstig zijn van de orde Alismatales, hebben ze geen enkele evolutionaire oorsprong, maar vormen ze een **polyfyletische groep**. Er zijn meerdere onafhankelijk afgeleide zeegraslijnen. In het bijzonder bevat Alismatales **vier polyfyletische lijnen** waaronder zeegrassen. Moderne zeegrasfamilies begonnen meer dan 70 miljoen jaar geleden te divergeren. De verschillende moderne familielijnen van zeegras verschillen echter in leeftijd en de meesten zijn aanzienlijk jonger.De **vier lijnen** ijn (1) een mariene groep van de Hydrocharitaceae, waaronder *Enhalus*, *Halophila* en *Thalassia*, (2) drie families samen aangeduid als het Cymodoceaceae 'complex', waaronder de Cymodoceaceae, Ruppiaceae en Posidoniaceae, (3) de Zosteraceae, bestaande uit *Zostera* (inclusief *Heterozostera* en *Nanozostera*) en *Phyllospadix*, en (4) enkele soorten *Lepilaena* uit de familie Potamogetonaceae.

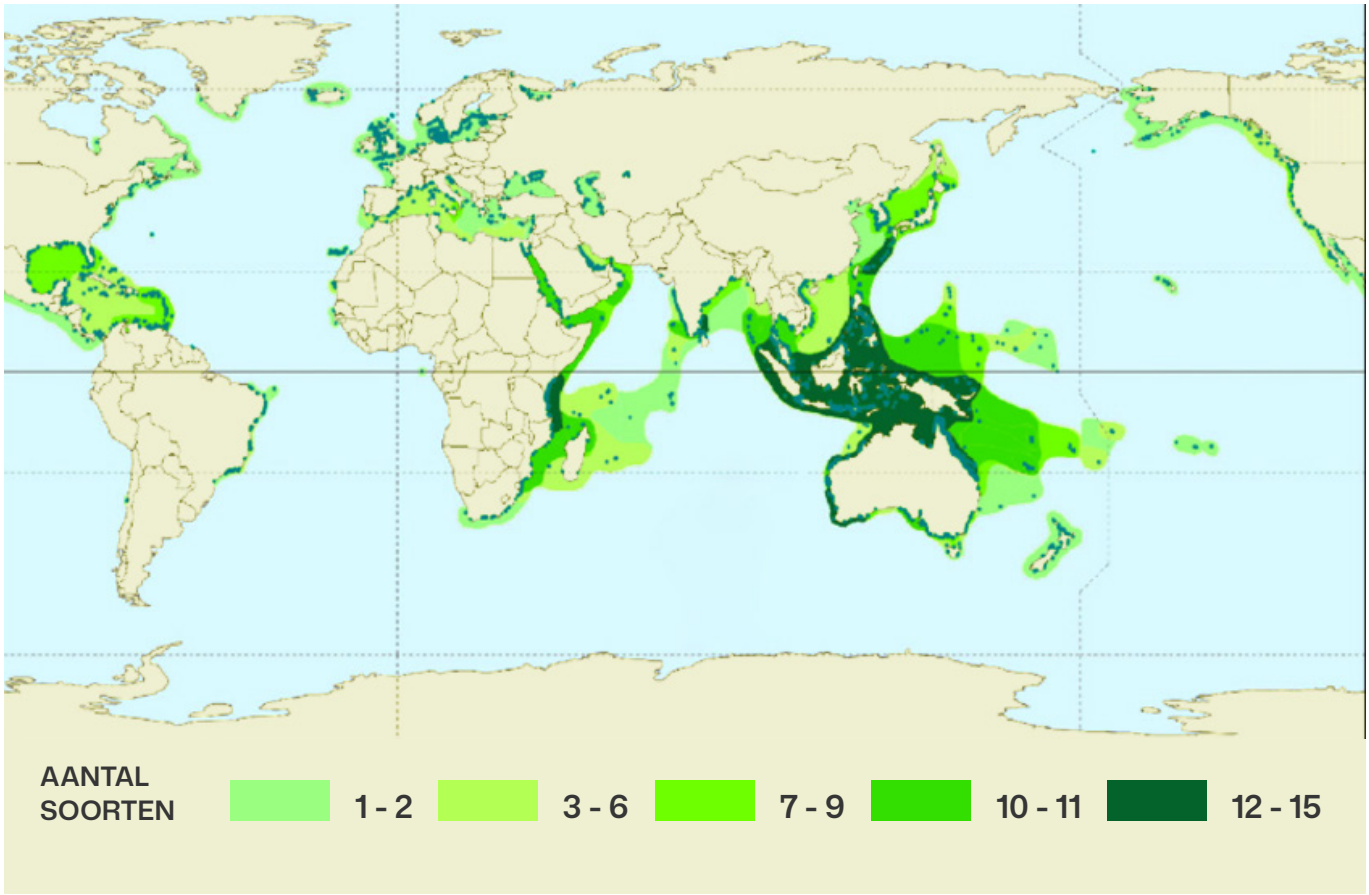
E. WERELDWIJDE DISTRIBUTIE

Zeegrassen komen **zeer wijdverspreid** voor. Ze komen voor in alle kustgebieden van de wereld, behalve langs de Antarctische kusten. In het bijzonder is de aanwezigheid van zeegras vastgesteld in meer dan 160 landen.

Zeegrasgeslachten worden vaak onderverdeeld in **gematigde** en **tropische geslachten**. Zeven geslachten, namelijk *Thalassia*, *Halophila*, *Syringodium*, Halodule, *Cymodocea*, *Thalassodendron* en *Enhalus*, komen voornamelijk voor langs tropische kusten. Vijf andere geslachten, namelijk *Zostera*, *Phyllospandix*, *Heterozostera*, *Posidonia* en *Amphibolis*, zijn voornamelijk verspreid langs de gematigde kusten. De koel-gematigde soort *Zostera marina* steekt de poolcirkel over in Europa en de Noordelijke Stille Oceaan. De Antarctische kusten zijn vrij van zeegras, mogelijk door erosie veroorzaakt door ijs, dat zeegrassen zwaar beschadigt.

Er zijn echter veel uitzonderingen op de indeling van zeegrassoorten in gematigde en tropische geslachten. Zo wordt het geslacht *Cymodocea* als tropisch geslacht beschouwd, maar de soort *Cymodocea nodosa* is wijdverspreid overal de gematigde kusten van de Middellandse Zee, de Atlantische kusten van Zuid-Portugal en Noordwest-Afrika. Hoewel het geslacht Zostera als een gematigd geslacht wordt beschouwd, komen soorten van Zostera ook voor langs tropische kusten.

erspreidingskaarten werden gemaakt voor alle zeegrassoorten. Daarnaast is door het samenvoegen van de verspreidingskaarten van soorten een **wereldwijde kaart van de biodiversiteit van zeegras** ontwikkeld (zie Fig.2.8 en https://data-gis.unep-wcmc.org/portal/home/webscene/viewer.html?layers=917c4dc3350e4ef7bffd8ef583247e6d). Deze kaart geeft het aantal zeegrassoorten in verschillende delen van de wereld aan. De wereldwijde biodiversiteitskaart van zeegras toont de drie centra van hoge diversiteit. Al deze centra bevinden zich op het oostelijk halfrond, waarbij het grootste zich bevindt boven het eiland Zuidoost-Azië, terwijl de andere twee centra aan deze regio grenzen maar toch gescheiden blijven, zoals Japan/Republiek Korea en het zuidwesten van Australië. Andere gebieden met aanzienlijke zeegrasdiversiteit zijn Zuid-India en Oost-Afrika.



Figuur 2.8

Diversiteit en wereldwijde verspreiding van zeegrassen. Groentinten geven het aantal soorten aan dat in een gebied is geregistreerd; de blauwe stippen en veelhoeken geven gedocumenteerde meldingen van zeegras aan (Short et al. 2007, Journal of Experimental Marine Biology and Ecology 350:3-20)

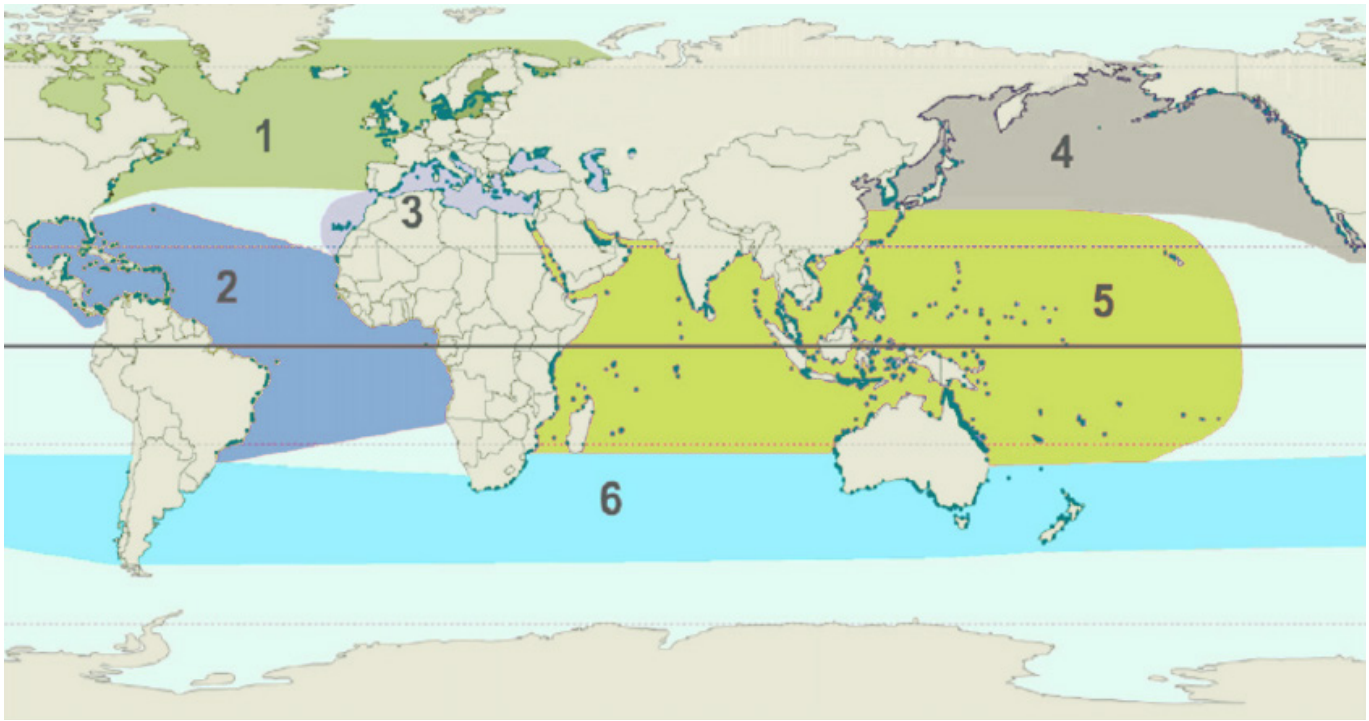
F. ZEEGRASBIOREGIO'S

Zeegrasbioregio's werden gedefinieerd om de verspreiding van zeegras en soortengemeenschappen te beschrijven (dat wil zeggen, groepen van verschillende soorten die op dezelfde locatie tegelijk samenleven). In het bijzonder werden zes wereldwijde bioregio's gedefinieerd, vier **gematigde** en twee **tropische** (Fig. 2.9). De gematigde bioregio's zijn de **gematigde Noord-Atlantische Oceaan**, de **gematigde Noordelijke Stille Oceaan**, de **Middellandse Zee**, en de **gematigde zuidelijke oceanen**. Tropische bioregio's omvatten de **tropische Atlantische Oceaan** en de **tropische Indo-Pacific**.

De zes bioregio's en hun beschrijving worden hieronder gepresenteerd:

1. *Noordelijke Gematigde Atlantische Oceaan* (van North Carolina, VS, tot Portugal). Gematigde zeegrassen met een lage diversiteit (5 soorten), voornamelijk in estuaria en lagunes. De belangrijkste soort is *Zostera marina*.

2. *Tropische Atlantische Oceaan* (inclusief de Caribische Zee, de Golf van Mexico, Bermuda, de Bahama's en beide tropische Atlantische kusten). Tropisch zeegras van hoge diversiteit (10 soorten) die groeien op secundaire riffen en ondiepe zandbanken in helder water. Het wordt gedomineerd door *Thalassia testudinum*, waarbij het geslacht *Halophila* het grootste aantal soorten vertegenwoordigt.



Figuur 2.9

Wereldwijde zeegrasverdeling weergegeven door blauwe stippen (2005 UNEP-WCMC data) en geografische bioregio's: 1. Gematigde Noord-Atlantische Oceaan,, 2. Tropische Atlantische Oceaan, 3e semester Middellandse Zee, 4. Gematigde Noordelijke Stille Oceaan, 5. Tropisch Indo-Pacific, 6. Gematigde Zuidelijke Oceanen (aangepast van Short, F., Carruthers, T., Dennison, W., WaycoM, M., 2007. Journal of Experimental Marine Biology and Ecology 350, 3–20)

Tabel 2.1

Zeegrassoorten die voorkomen in bioregio's 1 en 3*

Bioregio 1: *Gematigde Noord-Atlantische Oceaan* (5 soorten).	
Noord-Amerikaanse kust::	*Zostera marina* (dominant), *Ruppia maritima*, *Halodule wrightii* – North Carolina only.
Europa:	*Zostera marina* (dominante), *Zostera noltei*, *Ruppia maritima*, *Cymodocea nodosa*.
Bioregio 3: *Mediterrane* (9 soorten).	
Middellandse Zee:	*Posidonia oceanica* (dominant), *Cymodocea nodosa*, *Ruppia cirrhosa*, *Ruppia maritima*, *Zostera marina*, *Zostera noltei*, *Halophila stipulacea* (geïntroduceerd).
Noordwest-Atlantisch Afrika, Canarische Eilanden:	*Cymodocea nodosa, Halodule wrightii, Halophila decipiens, Zostera noltei.*
Zwarte Zee:	*Zostera marina, Zostera noltei, Ruppia maritima, Ruppia cirrhosa.*
Kaspische Zee en Aralzee:	*Zostera noltei.*

Opmerking: Ruppia cirrhosa wordt vaak verkeerd geïdentificeerd als *Ruppia marina* en ondergaat momenteel een taxonomische herziening.

*Combase em Short et al., 2007. Tijdschrift voor Experimentele Mariene Biologie en Ecologie 350, 3–20

3. *Middellandse* Zee (inclusief de Middellandse Zee, de Zwarte Zee, de Kaspische en Aralzee, en Noordwest-Afrika). Uitgestrekte, diepe onderwaterweiden van matige diversiteit en een gematigde/tropische mix van zeegrassen (9 soorten) die groeien in helder water. Het wordt gedomineerd door *Posidonia oceanica* die groeit in diep water..

4. *Gematigde Noordelijke Stille Oceaan* (van Korea tot Baja, Mexico). Hoge diversiteit aan gematigde zeegrassen (15 soorten) in estuaria, lagunes en kustbrandzones. Soorten van het geslacht Zostera in estuaria en lagunes, en soorten van het geslacht *Phyllospadix* in de brandingszone.

5. *Tropisch Indo-Pacific* (Oost-Afrika, Zuid-Azië en tropisch Australië tot de oostelijke Stille Oceaan). De grootste en meest diverse bioregio; tropisch zeegras (24 soorten) voornamelijk in rifvlakten, maar ook in diep water, waarvan vele vaak worden begraasd door megaherbivoren. Het geslacht *Halophila* vertegenwoordigt het grootste aantal soorten.

6. *Gematigde Zuidelijke Oceanen* (Nieuw-Zeeland en gematigde Australië, Zuid-Amerika en Zuid-Afrika). Uitgestrekte graslanden met lage tot hoge diversiteit gematigde zeegrassen (18 soorten), vaak groeiend onder extreme omstandigheden. Ze worden gedomineerd door verschillende soorten *Posidonia* en *Zostera*.

De namen van de zeegrassoorten die in Bioregio's 1 en 3 voorkomen, worden weergegeven in Tabel 2.1.

G. ZEEGRASSOORTEN IN DE KUSTWATEREN VAN EUROPA

Er zijn vijf soorten zeegras in de kustwateren van Europa, namelijk *Cymodocea nodosa*, *Halophila stipulacea*, *Posidonia oceanica*, *Zostera marina* en *Zostera noltei* (deze naam wordt nu beschouwd als synoniem voor *Nanozostera noltei*). Onlangs werd een populatie van de soort *Halophila decipiens* in de Saronische Golf in de Egeïsche Zee.

Wat betreft brak zeegras van het geslacht *Ruppia*, erwijzen sommige auteurs slechts naar één soort, *Ruppia maritima*, n Europese habitats, terwijl anderen twee soorten erkennen, *Ruppia maritima* and *Ruppia cirrhosa*. In de Middellandse Zee waren ze gerapporteerd: *Ruppia maritima*, *Ruppia cirrhosa* en *Ruppia drepanensis*, waarbij de laatste wordt erkend als een variëteit (*Ruppia cirrhosa* var. *drepanensis*). In feite, wordt *Ruppia cirrhosa* vaak ten onrechte geïdentificeerd als *Ruppia maritima* en ondergaat momenteel een taxonomische herziening.

De geografische verspreiding van de soorten *Cymodocea nodosa*, *Halophila stipulacea*, *Posidonia oceanica*, *Ruppia maritima* (Europese beoordeling), *Zostera marina* en *Zostera noltei* s weergegeven in Figuren 2.10 en 2.11. Daarnaast geeft Tabel 2.2 een beschrijving van de geografische verspreiding van deze soorten, inclusief een gedetailleerde verspreiding in de kustwateren van Europa.



Figuur 2.10

Geografische verspreiding van de soort: (a) *Cymodocea nodosa*, (b) *Halophila stipulacea* en (c) *Posidonia oceanica* (de Short et al., 2010). IUCN Rode Lijst van Bedreigde Soorten 2010, en Pergent et al., 2016. IUCN Rode Lijst van Bedreigde Soorten 2016)



Figuur 2.11

Geografische verspreiding van de soort: (a) *Ruppia maritima* (Europese beoordeling), (b) *Zostera marina* en (c) *Zostera noltei* (van Lansdown, 2011). IUCN Rode Lijst van Bedreigde Soorten 2011, en Short et al., 2010. IUCN Rode Lijst van Bedreigde Soorten 2010)

Tabel 2.2

Beschrijving van het verspreidingsgebied van zeegrassoorten in de kustwateren van Europa*

	Range description
Cymodocea nodosa	het ligt aan de overkant van de Middellandse Zee en strekt zich uit tot de Atlantische Oceaan, noordwaarts tot centraal Portugal en zuidwaarts tot Madeira, de Canarische Eilanden en Kaapverdië, evenals Mauritanië en Senegal voor de kust van Afrika.
	Gedetailleerde verspreiding op de Atlantische eilanden en Europa: *Atlantische Eilanden:* Canarische Eilanden, Madeira. *Europa*: Balearen, Corsica, Kroatië, Frankrijk, Frankrijk (Middellandse Zee), Griekenland, Italië, Malta, Middellandse Zee, Venetiaanse lagune.
Halophila stipulacea	het komt voor van de Perzische Golf tot aan de Rode Zee, langs de kust van Oost-Afrika tot aan Mozambique. Hij komt voor rond het grootste deel van Madagaskar en de eilanden van de westelijke Indische Oceaan. Hij is ook geregistreerd in Oost-India. In de Middellandse Zee komt *Halophila stipulacea* voor van Egypte tot Zuid-Italië en Tunesië, en mogelijk via het Suezkanaal is geïntroduceerd. In de Caribische Zee is *Halophila stipulacea* recentelijk verzameld in de West-Indië, op de eilanden Grenada, Dominica en Saint Lucia.
	Gedetailleerde verspreiding in Europa: *Europa*: Albanië, Cyprus, Griekenland, Italië, Malta.
Posidonia oceanica	het is aanwezig in het hele Middellandse Zeegebied, met uitzondering van de grote estuaria en de koudste delen van de Middellandse Zee, zoals het grootste deel van de Golf van León, het noordelijke deel van de Adriatische Zee en het westelijkste deel van de Alboránzee, nabij de Straat van Gibraltar. Daarnaast lijkt de afwezigheid ervan in het uiterste zuidoostelijke deel van het bekken direct verband te houden met de omgevingsomstandigheden, met zeer hoge watertemperaturen in de zomer. De soort komt ook voor langs de oostkust van de Egeïsche Zee, van de provincie Alanya tot aan de Dardanellenstraat, en in de Zee van Marmara.
	Gedetailleerde verspreiding in Europa: *Europa*: Albanië, Kroatië, Cyprus, Frankrijk (Middellandse Zee - vasteland, Corsica), Gibraltar, Griekenland, Italië (vasteland, Sardinië, Sicilië), Malta, Monaco, Montenegro, Slovenië; Spanje (Balearen, vasteland), Turkije in Europa.
Ruppia maritima	Het is een circumborele soort, wijdverspreid in gematigde en tropische gebieden.
	Gedetailleerde verspreiding in Europa: *Europa*: Oostzee, Krim, Frankrijk, Frankrijk (Middellandse Zee), Duitsland, Griekenland, Noorwegen, Spanje, Zweden, Veneto.. Als *Ruppia cirrhosa*: *Europa*: Balearen, Oostzee, Zwarte Zee, Corsica, Krim, Frankrijk, Duitsland, Griekenland, Noorwegen, Spanje, Veneto, Veneto-lagune.
Zostera marina	hij is wijdverspreid en circumglobe in noordelijke breedtegraden, en ligt verspreid over de Noord-Atlantische en Noordelijke Stille Oceaan, evenals in de Middellandse Zee en de Zwarte Zee. *Zostera marina* strekt zich uit tot het Noordpoolgebied in Alaska, Canada, Groenland en Noord-Europa, en tot de tropen in Baja California, Mexico. *Zostera marina* is een zeegrassoort die veel voorkomt in het westelijke Middellandse Zeegebied, maar lijkt zeldzaam, zo niet geen, in het oostelijke Middellandse Zeegebied.
	Gedetailleerde verspreiding op de Atlantische eilanden en Europa: *Atlantische Eilanden:* Groenland, IJsland. *Europa*: Oostzee, Zwarte Zee, Groot-Brittannië, Kanaaleilanden, Krim, Denemarken, Finland, Frankrijk, Frankrijk (Atlantische Oceaan), Frankrijk (Bretagne), Duitsland, Ierland, Italië, Nederland, Noorwegen, Polen, Portugal, Roemenië, Rusland (Europa), Spanje, Zweden, Veneto.
Zostera noltei	hij komt voor in de oostelijke Atlantische Oceaan, evenals in de Oostzee, Middellandse Zee, Zwarte Zee, Kaspische en Aralzee. *Zostera noltei* komt ook voor in West-Afrika, Mauritanië, de Canarische Eilanden en Kaapverdië.
	Gedetailleerde verspreiding op de Atlantische eilanden en Europa: *Atlantische Eilanden:* Canarische Eilanden. *Europa*: Balearen, Oostzee, België, Zwarte Zee, Groot-Brittannië, Krim, Kroatië, Denemarken, Frankrijk, Frankrijk (Atlantische Oceaan), Frankrijk (Bretagne), Frankrijk (Middellandse Zee), Duitsland, Griekenland, Italië, Middellandse Zee, Nederland, Noorwegen, Portugal, Roemenië, Slovenië, Spanje, Zweden, Veneto.

*Voornamelijk gebaseerd op de IUCN Rode Lijst van Bedreigde Soorten (https://www.iucnredlist.org/) en AlgaeBase (https://www.algaebase.org/)

H.
VEGETATIEVE MORFOLOGIE VAN ZEEGRASSOORTEN AANWEZIG IN DE KUSTWATEREN VAN EUROPA

Zostera-soorten hebben alleen horizontale wortelstokken, terwijl *Cymodocea nodosa* en *Posidonia oceanica* owel horizontale als verticale wortelstokken hebben. Zostera-soorten hebben een bladscheut ij elke knoop van het horizontale rhizoom, terwijl *Posidonia oceanica* en *Cymodocea nodosa* bladeren hebben op zowel horizontale als verticale rhizomknopen.

De soorten van *Posidonia*, *Cymodocea* en *Zostera* hebben lange, relatief smalle, lintvormige bladeren, variërend van de kleine bladeren van *Zostera noltei* tot de grote bladeren van *Posidonia oceanica*. Bladeren verschijnen vaak in bundels op scheuten, met tot 8 bladeren per scheut bij *Posidonia oceanica*, 2 tot 5 bladeren bij *Cymodocea nodosa* en *Zostera noltei,* en 3 tot 7 bladeren in *Zostera marina*.

Halophila stipulacea heeft geen lintvormige bladeren en verschilt aanzienlijk van de soorten *Posidonia*, *Cymodocea* en *Zostera*. Zijn kruipende rhizoom heeft lange internoden, een extreem korte rechtopstaande laterale scheut en een ongevertakte wortel bij elke knoop. Elke laterale scheut heeft 2 scheden aan de basis en een paar bladsteelvormige bladeren aan de bovenkant. De kruipende rhizoom eindigt in een apicale scheut met 3 paar bladeren.

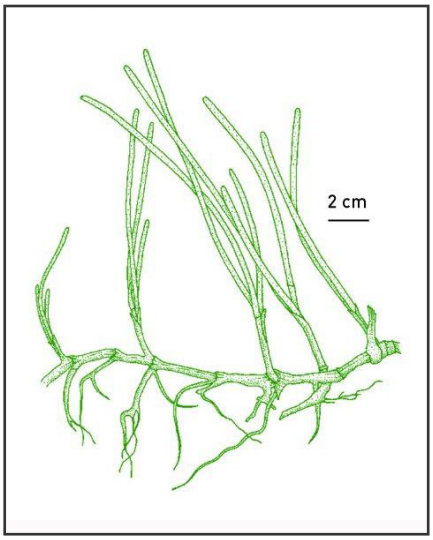
De bloemen, zaden en vruchten van zeegras variëren sterk in grootte, van de kleine bloemen van *Zostera noltei* tot de grote bloeiwijzen van *Posidonia oceanica*, die grote vruchten produceren die bekend staan als zeeolijven.

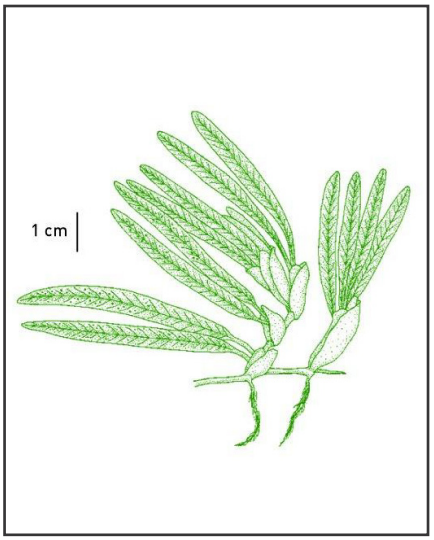
Foto's en schematische weergaven van exemplaren van *Cymodocea nodosa*, *Halophila stipulacea*, *Posidonia oceanica*, *Zostera marina*, *Zostera noltei* en *Ruppia maritima* zijn te zien in fig. 2.12 - 2.17. Daarnaast wordt een meer gedetailleerde beschrijving van de vegetatieve kenmerken van deze soorten gepresenteerd in Tabel 2.3.

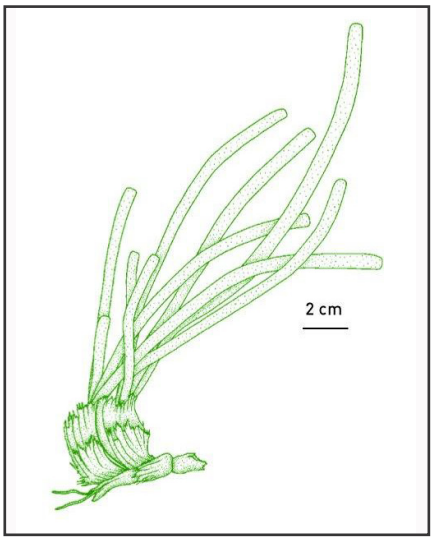












Figuur 2.12

Cymodocea nodosa
(fotocredit: Paraskevi Malea; schematische weergave door Green E.P. en Short F.T., 2003. Wereldatlas van Zeegras. Opgesteld door het World Conservation Monitoring Centre van UNEP. University of California Press, Berkeley, VS)

Figuur 2.13

Halophila stipulacea
(fotocredit: Paraskevi Malea; schematische weergave door Green E.P. en Short F.T., 2003. Wereldatlas van Zeegras. Opgesteld door het World Conservation Monitoring Centre van UNEP. University of California Press, Berkeley, VS)

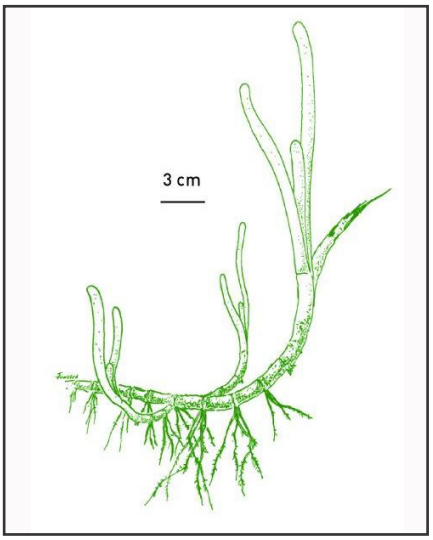
Figuur 2.14

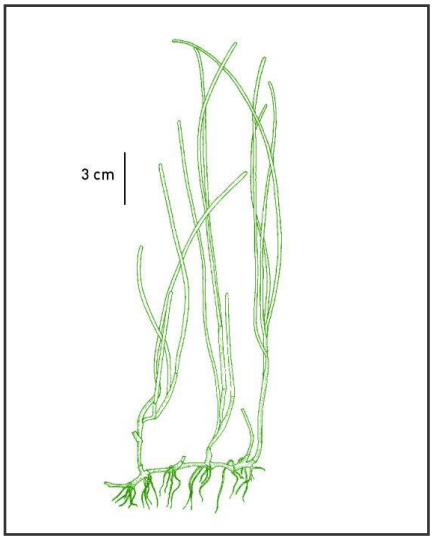
Posidonia oceanica
(fotocredit: Paraskevi Malea; schematische weergave afkomstig van Green E.P. en Short F.T., 2003. Wereldatlas van Zeegras. Opgesteld door het World Conservation Monitoring Centre van UNEP. University of California Press, Berkeley, VS)

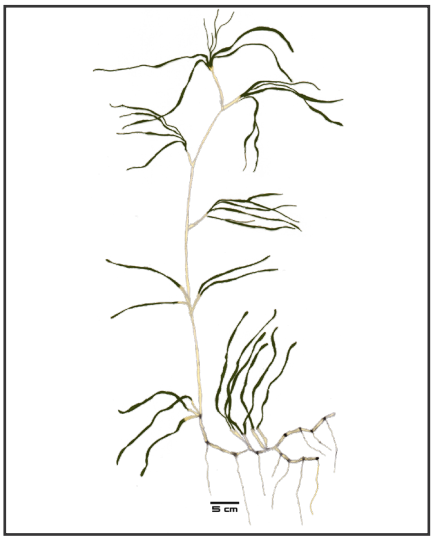












Figuur 2.15

Zostera marina
(fotocredit: Michael Guiry/AlgaeBase; schematische weergave door Green E.P. en Short F.T., 2003. Wereldatlas van Zeegras. Opgesteld door het World Conservation Monitoring Centre van UNEP. University of California Press, Berkeley, VS)

Figuur 2.16

Zostera noltei
(fotocredit: Ignacio Barbara/AlgaeBase; schematische weergave door Green E.P. en Short F.T., 2003. Wereldatlas van Zeegras. Opgesteld door het World Conservation Monitoring Centre van UNEP. University of California Press, Berkeley, VS)

Figuur 2.17

Ruppia maritima
(fotocredit: Paraskevi Malea; schematische weergave door T. Kevrekidis et al., 2024.

Kustlagunes verkennen, Helleense Stichting voor Onderzoek en Innovatie)

Tabel 2.3

Plantmorfologie van zeegrassoorten die voorkomen in de kustwateren van Europa*

Cymodocea nodosa	Kruipende, dunne rhizoom, met een diameter tot 4 mm, met zijtakken; Bij elke knoop bevindt zich 1 sterk vertakte wortel en een korte, rechtopstaande stengel met 2-5 bladeren. Lineaire tot licht obconische bladschede, waarbij bij het vallen een cirkelvormige litteken op de rechtopstaande steel wordt gesloten. Lineaire bladbladen, meestal tot 40 cm lang en 2-4 mm breed, met 7-9 lengteribben; afgeronde apex, soms licht gehakt. De soort is het gemakkelijkst te herkennen aan zijn verticale rhizomen (rechtopstaande stengels) en de lange witte of roze internoden van de horizontale rhizomen.
Halophila stipulacea	Hij verschilt aanzienlijk van de soorten *Posidonia*, *Cymodocea* en *Zostera* wat betreft bladeren, wortelstokken en wortelstelsel. De rhizoom is laag, met lange internoden, een extreem korte rechtopstaande laterale scheut en een ongevertakte wortel bij elke knoop. Elke laterale scheut heeft twee scheden aan de basis en een paar bladsteelvormige bladeren aan de bovenkant. De topale scheut heeft 3 paar bladeren. De scheden zijn groot, elliptisch of omgekeerd ovaal, transparant, 12-17 mm lang en 6-10 mm breed, gevouwen bij de knopen van de wortelstok, waardoor de korte bladsteeltjes worden bedekt. De bladen zijn lineair tot langwerpig, elliptisch, tot 60 mm lang en 10 mm breed; gekartelde marge; centrale rib en intramarginale laterale venen verbonden door transversale ribben. Het meest opvallende kenmerk is een paar grote, hardnekkige, transparante scheden die de korte bladsteeltjes bedekken.
Posidonia oceanica	Verticale wortelstokken zijn bevestigd aan horizontale wortelstokken die vertakken en uitzetten vanaf de uiteindelijke toppen. De internoden van de wortelstokken zijn kort (0,5 tot 2 mm), wat de langzame horizontale groei van de plant weerspiegelt, en de dikte van de wortelstokken varieert tussen 5 en 10 mm. De wortels zijn 3-4 mm dik, tot 40 cm lang en rijk vertakt. Deze zeegrassoort heeft bladbundels bestaande uit 5 tot 10 bladeren die aan een verticale rhizoom zijn bevestigd. Hij heeft lintvormige platen van 5-12 mm breed en 40-50 cm lang, en kan tot 1 m lang worden, met 13-17 lengteribben; stompe tot emarginate top. *Posidonia oceanica* is het meest robuuste zeegras in de Middellandse Zeeregio en is gemakkelijk te herkennen aan de talrijke bruine, vezelige resten van oude scheden die de wortelstokken als een penseel bedekken.
Maritieme ruppia	Zeer slanke stengels, tot 0,4 m lang, met steile tot overvloedige vertakkingen. De bladeren zijn felgroen van kleur, 0,4-1,0 mm breed en 20-115 mm lang, met puntige (scherpe) en licht getande punten. De bladeren zijn in membraneuze scheden geplaatst, 5-22 mm lang aan de basis. Een systeem van dunne en slanke wortelstokken (breedte van 0,8 tot 1,0 mm) en fijne wortels bindt de planten aan het substraat. De groeivorm is zeer variabel, met lange, hoge planten in relatief dieper water, of korte, licht vertakte planten in ondiep, helder water. Ook werden dwergvormen waargenomen.
Geslacht Zostera	Planten met kruipende kruidachtige wortelstok, met 1 tot meerdere wortels en een scheut met 2-7 bladeren bij elke knoop. Open of gesloten schede, lineair blad, gevleugeld, met 3-11 longitudinale ribben, top variabel.
Zostera marina	Matige tot robuuste soort met een lage rhizoom en internoden van 1 tot 3 cm lang. Bladbladen zijn meestal 30 tot 60 cm lang en 3 tot 12 mm breed; lengteribben 5 tot 11; De top van het lemmet afgerond tot licht gemutuleerd. Gesloten bladschede. De soort is gemakkelijk te herkennen aan de terminale scheuten die zich alleen op de horizontale wortelstokken ontwikkelen.
Zostera noltei	Bladbladen tot 30 cm lang en 0,5 tot 1,5 mm breed, met 3 lengteribben; Apex vaak asymmetrisch genotched. Open bladschede.

*Voornamelijk gebaseerd op Kuo, J. en den Hartog, C., 2001. Zeegrastaxonomie en identificatiesleutel. In: Wereldwijde zeegrasonderzoeksmethoden, F.T. Short en R.G. Cole (red.). Elsevier Science B.V., en Borum, J. en Greve, T.M., 2004. De vier Europese soorten zeegras. In: Europese zeegrassen: een inleiding tot monitoring en beheer. J Borum, C. M. Duarte, D Krause-Jensen en T. M. Grev (red.). De M&MS.

*Verwarring tussen soorten**

- Tijdens het proces van **voorlopige identificatie** van zeegrassoorten kan er verwarring ontstaan tussen bepaalde soorten. Om dit proces te vergemakkelijken, wordt hieronder nuttige informatie verstrekt.
- Jonge exemplaren van *Zostera marina* kunnen worden verward met *Zostera noltei* in de overgangszone tussen de getijden- en subgetijdengebieden. De bladeren van *Zostera noltei* zijn echter smaller dan die van *Zostera marina*.
- Waar *Zostera marina* en *Cymodocea nodosa* in gemengde groepen voorkomen, zijn hun bladeren moeilijk te onderscheiden, maar *Cymodocea nodosa* s gemakkelijk te herkennen aan de lange, witte tot roze horizontale internodien en verticale rhizomen met samengeperste internoden van de rhizoom.
- *Zostera marina* kan worden verward met jonge exemplaren van de zoetwaterplant *Potamogeton pectinatus* die groeit in brak water. *Potamogeton pectinatus* wordt echter gekenmerkt door groei van een kruipende stolon, die de vorm aanneemt van vertakkende stengels en bladeren in een dichotome en cilindrische vorm. Het wortelt alleen vanuit de overgang tussen de stolon en de steel.
- *Zostera noltei* kan groeien in dezelfde getijdenhabitats als *Ruppia*-soorten. Hoewel *Ruppia* species ook smalle bladeren hebben, zijn ze te herkennen aan hun lange witte rhizom-internoden. Elke knoop vormt een bundel bladeren en een lange wortel.

*Gebaseerd op Borum, J. en Greve, T.M., 2004. De vier Europese soorten zeegras. In: Europese zeegrassen: een inleiding tot monitoring en beheer. J Borum, C. M. Duarte, D Krause-Jensen en T. M. Greve (red.). De M&MS.

B5.3
ZEEGRASSEN VORMEN UITGESTREKTE ONDERWATERWEIDEN

Theodoros Kevrekidis
Democritus Universiteit van Thracië, Griekenland

Paraskevi Malea
Aristoteles Universiteit van Thessaloniki, Griekenland

B5.3.1 PRINCIPE VAN ZEEGRASGELETTERDHEID 2: ZEEGRAS VORMEN UITGESTREKTE ONDERWATERGRASLANDEN

B5.3.2 FUNDAMENTELE CONCEPTEN

a. De groei en verspreiding van zeegrassen worden beïnvloed door verschillende fysisch-chemische factoren, waaronder licht, diepte en waterbeweging, getij, kenmerken van het substraat, zoutgehalte en temperatuur. Zeegrassen hebben vooral een marien milieu nodig, voldoende onderdompeling in zeewater, voldoende beschikbaarheid van licht en een geschikt substraat om te groeien.

b. Zeegrassen groeien doorgaans in ondiepe kustwateren, geworteld in zandige tot slibrijke sedimenten. Zeegrassen komen ook in veel diepere wateren voor, terwijl sommige soorten algemeen zijn in de intergetijdenzone. Zeegrassoorten komen vaak voor in estuaria.

c. Zeegrassen kunnen uitgestrekte weiden vormen. De meeste zijn monospecifiek, maar tropische en subtropische weiden kunnen meer dan tien zeegrassoorten bevatten. Zeegrassen vormen ook geïsoleerde plekken of «mozaïek»-habitats met andere mariene habitats, zoals schelpdierbanken, rotsachtige bodems, mangroven, koralen of onbegroeide sedimenten.

d. Zeegrassen bedekken een totale wereldwijde oppervlakte die overeenkomt met ongeveer 10% van de kustoceaan. Zeegrasweiden dragen vaak een hoge biomassa.

B5.3.3 KENNIS: ECOLOGIE VAN ZEEGRASSEN

A. HABITAT VAN ZEEGRASSEN

Zeegrassen bezetten een goed afgebakend marien habitat. Verschillende parameters zijn cruciaal om te bepalen waar zeegrassen kunnen voorkomen langs eender welk deel van de kust. Deze omvatten fysische parameters, die de fysiologische activiteit van zeegrassen reguleren, zoals zoutgehalte, temperatuur, diepte, substraat, golven en stromingen, en natuurlijke verschijnselen die de fotosynthetische activiteit van de planten beperken, zoals licht, nutriënten en epifyten. De combinatie van deze parameters zal de aanwezigheid van zeegrassen op een specifieke mariene locatie mogelijk maken, bevorderen of verhinderen.

Bovenal hebben zeegrassen een **marien milieu** nodig, **voldoende onderdompeling** in het zeewater, **voldoende beschikbaarheid van licht** en een geschikt substraat om te groeien.

In het bijzonder hebben zeegrassen vooral een **marien milieu** nodig om te groeien (Fig. 3.1). Zeewater is zuiver water waarin verschillende vaste stoffen en gassen zijn opgelost. Een monster van 1000 g zeewater bevat ongeveer 35 g opgeloste verbindingen. De totale hoeveelheid opgeloste verbindingen wordt aangeduid als zoutgehalte. Als een typisch zeewatermonster 35 g opgeloste verbindingen per 1000 g bevat, dan is het zoutgehalte gelijk aan 35. Het zoutgehalte van verschillende delen van de open oceaan, ver van de kustzones, varieert binnen een smal bereik, doorgaans tussen **34 en 37.** De verschillen in zoutgehalte zijn te wijten aan verschillen in verdamping



Figuur 3.1

Cymodocea nodosa op een diepte van 8–9 m in de Golf van Pagasitikos, noordelijke Egeïsche Zee, Griekenland (fotocredit: Christos Zoumbos/Theodoros Kevrekidis)



Figuur 3.2

Luchtfoto van een kustlagune (Fleet Lagoon, Engeland) met subtidale bedden bedekt met soorten *Zostera* en *Ruppia* species subtidal beds (fotocredit Matt Doggett/https://www.flickr.com/photos/naturalengland/52993194113/in/photostream/)

en neerslag. In kustgebieden en gedeeltelijk afgesloten zeeën is het zoutgehalte veranderlijker en kan het dicht bij 0 liggen, waar grote rivieren zoet water lozen (zoutgehalte doorgaans lager dan 0,5), tot bijna 40 in de Rode Zee en de Perzische Golf. De variaties in het zoutgehalte, die gaan van hypersalien water tot zoet water, komen voor langs de gradiënt die loopt van de open zee tot het beschutte estuarium en in zoetwaterrivieren.

De meeste zeegrassoorten kunnen een breed bereik van zoutgehalte verdragen, van zeewater (met een zoutgehalte rond de 35) tot brak water (zoutgehalte van 0,5 tot 30) of hypersalien water (zoutgehalte hoger dan 40). Zo komen zeegrassoorten vaak voor in estuaria en kustlagunes (Fig. 3.2).

Bij zowel lage als hoge zoutgehaltes ondervinden de weefsels van zeegrassen echter osmotische stress, wat resulteert in functieverlies, waardoor ze uiteindelijk afsterven. Zeegrassen groeien vaak in estuaria, in contact met brakwatersoorten, zoals die van het geslacht *Ruppia*, die kunnen worden aangetroffen van zoet water tot zout water en zelfs in hypersalien water.

Zeegrassen hebben ook v**oldoende onderdompeling** in zeewater nodig om te groeien. Toch kunnen zeegrassoorten populaties ontwikkelen in de intergetijdenzone, namelijk het kustgebied tussen de uitersten van hoog- en laagwater. De grens van een zeegrasweide in de intergetijdenzone wordt bepaald door de stress die de planten ondervinden door blootstelling bij laagwater, waaronder uitdroging, schade door overmatige blootstelling aan de zon en UV-B-straling, en door bevriezing. Toch zijn niet alle zeegrassoorten al-



Figuur 3.3

Zostera noltei groeiend in de lagere intergetijdenzone, Ría de Arousa, Galicië, Spanje (fotocredit: Ignacio Barbara/AlgaeBase)



Figuur 3.4

Zeegrassen die groeien onder geschikte lichtomstandigheden (fotocredit: Michiel Vos/Ocean Image Bank)



Figuur 3.5

Zeegrassen die groeien op zandige sedimenten (fotocredit: Lilly Palmer/Ocean Image Bank)

gemeen in de intergetijden zone. Onder de zeegrassoorten is *Zostera noltei* wijdverspreid in de intergetijdenzone van de kusten van West-Europa en Noordwest-Afrika (Fig. 3.3), soorten van het geslacht *Phyllospadix* ontwikkelen zich in de intergetijdenzone langs de rotsachtige kusten van de noordelijke Stille Oceaan, terwijl soorten van het geslacht *Halophila* grote intergetijdenweiden vormen op slikvlakten in de Indo-Pacifische regio.

Zeegrassen hebben ook **voldoende licht** nodig om te groeien (Fig. 3.4). Fotosynthese levert de planten chemisch vastgelegde energie en koolstofskeletten voor een verscheidenheid aan biosynthetische processen die verband houden met de groei en de werking van de planten. De lichtdoordringing door natuurlijke wateren is ten minste drie ordes van grootte kleiner dan door lucht. Zo neemt de lichtintensiteit snel af met de waterdiepte en dringt zelfs in helder oceaanwater vrijwel geen fotosynthetisch actieve straling voorbij een diepte van 200 meter door. Naast de absorptie door zuiver water dragen ook deeltjes en opgeloste stoffen elk bij aan de totale verzwakking van het licht in de waterkolom. Door de doorgaans hogere belasting met deeltjes en opgeloste organische stoffen is de lichtdoorlating in kustwateren veel lager dan in helder oceaanwater.

Bijgevolg varieert de dieptegrens voor de doordringing van fotosynthetisch actieve straling in kustzeeën in de meeste gevallen tussen minder dan een meter en enkele tientallen meters.

Bijgevolg wordt de maximale dieptegrens voor zeegrassen grotendeels bepaald door de diepte waarop voldoende lichtintensiteit om de groei van zeegrassen in stand te houden de zeebodem bereikt. Vastgesteld is dat de minimale lichtbehoefte voor zeegrassen 10-20% van het oppervlaktelicht bedraagt, wat hoger is dan die van andere fotosynthetische mariene organismen (macroalgen, microalgen). Verschillende zeegrassoorten hebben verschillende lichtbehoeften en daarom kan de dieptespreiding van de verschillende zeegrassoorten sterk variëren. De grootste geregistreerde diepte voor een zeegras betreft een soort van het geslacht *Halophila* en bedraagt 90 meter. De meeste zeegrasweiden zijn echter beperkt tot dieptes van minder dan 200 meter.

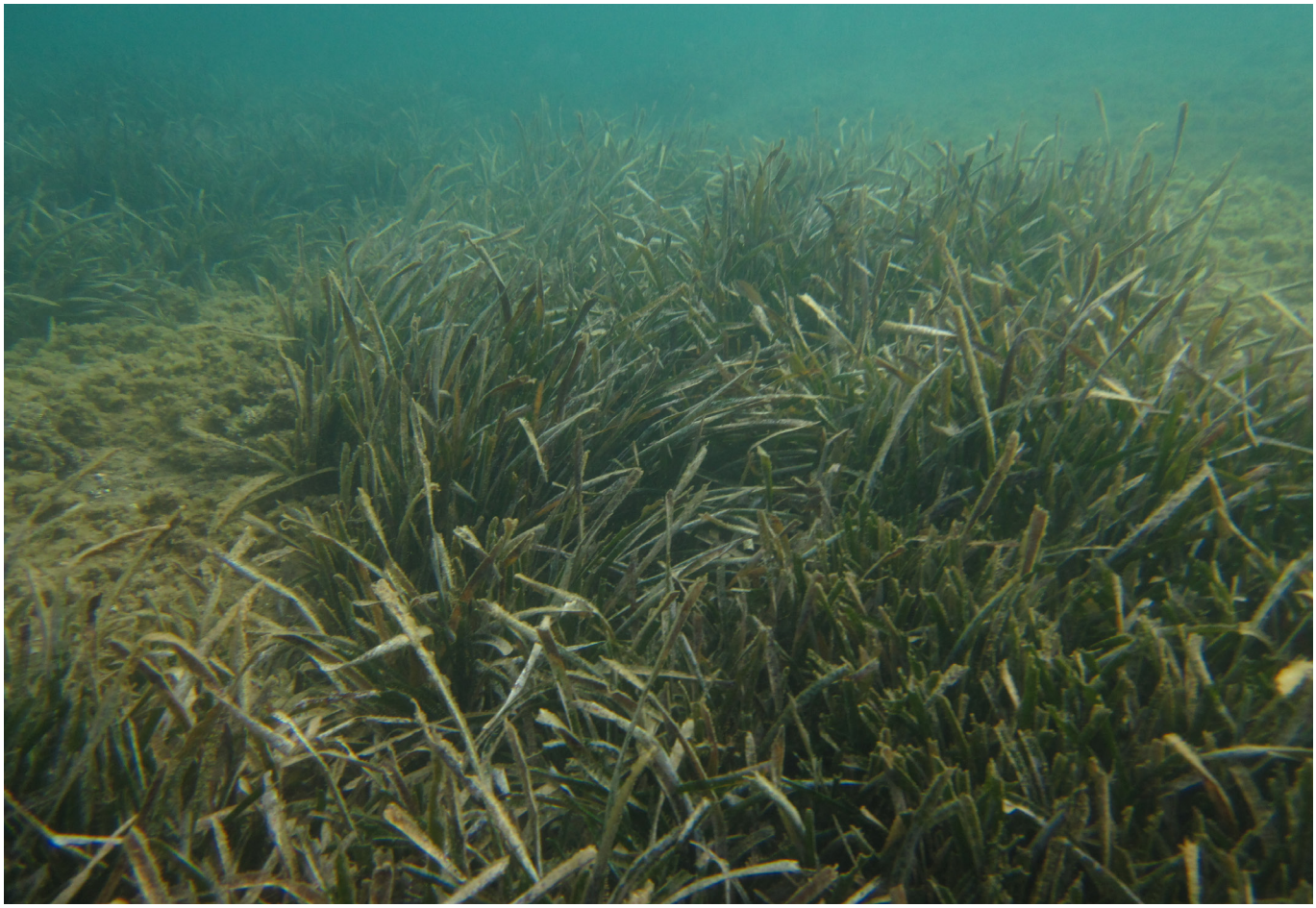
De verticale en horizontale verspreiding van zeegrassen wordt beperkt door de **beschikbaarheid van een** geschikt substraat voor hun groei. In het bijzonder wordt de groei van zeegrassen vaak beperkt doordat de ruimte wordt ingenomen door andere biologische gemeenschappen. Op plaatsen waar ruimte beschikbaar is, kunnen zeegraspopulaties alleen groeien als het substraat geschikt is. De meeste zeegrassoorten groeien op zachte substraten, met name op zandige tot slibrijke sedimenten (Fig. 3.5), die gemakkelijk door de wortels van zeegrassen worden doordrongen. Sommige zeegrassoorten, zoals de soorten van het geslacht *Phyllospadix*, kunnen echter op rots groeien (hard substraat) (Fig. 3.6). Deze zeegrassoorten kenmerken zich door robuuste wortels, die in de spleten van de rotsen dringen en de plant verankeren.



Figuur 3.6

Phyllospadix iwatensis groeiend op intergetijdenplateaus, Sotogawa-cho, Choshi, prefectuur Chiba, Japan (fotocredit: Hideki Haga/Algae-Base)

B.
ZEEGRASECOSYSTEEM



Figuur 3.7

Weide van *Posidonia oceanica* meadow in de kustwateren van Thracië, noordelijke Egeïsche Zee, Griekenland (fotocredit: Stavros Bachtsevanidis/Theodoros Kevrekidis)

Zeegrassen kunnen uitgestrekte en dichte **onderwaterecosystemen**, vormen, bekend als **weiden** of **zeegrasvelden** (Fig 3.7 en 3.8). Zeegrasweiden vormen een uniek marien ecosysteem. De meeste weiden zijn monospecifiek, dat wil zeggen samengesteld uit slechts één zeegrassoort, in het bijzonder die van de gematigde zone. Dit geldt echter ook voor tropische en subtropische gebieden met multispecifieke zeegrasflora's.

De weiden met het grootste aantal soorten komen voor in de Indo-Pacifische regio en de Rode Zee, waar gemengde velden overvloedig aanwezig zijn, met tot 12 zeegrassoorten. Zeegrassen kunnen ook groeien in geïsoleerde plekken, of als onderdeel van een mozaïek van habitats met andere habitats, zoals koralen (Fig. 3.9), mangroven, schelpdierbanken, rotsachtige bodems of onbegroeide sedimenten.



Figuur 3.8

Weide van *Cymodocea nodosa* meadow in de Golf van Pagasitikos, noordelijke Egeïsche Zee, Griekenland (fotocredit: Christos Zoumbos/ Theodoros Kevrekidis)



Figuur 3.9

Zeegrassen en koraalrif, Lord Howe-eiland, Australië (fotocredit: MaM Curnock/Ocean Image Bank)

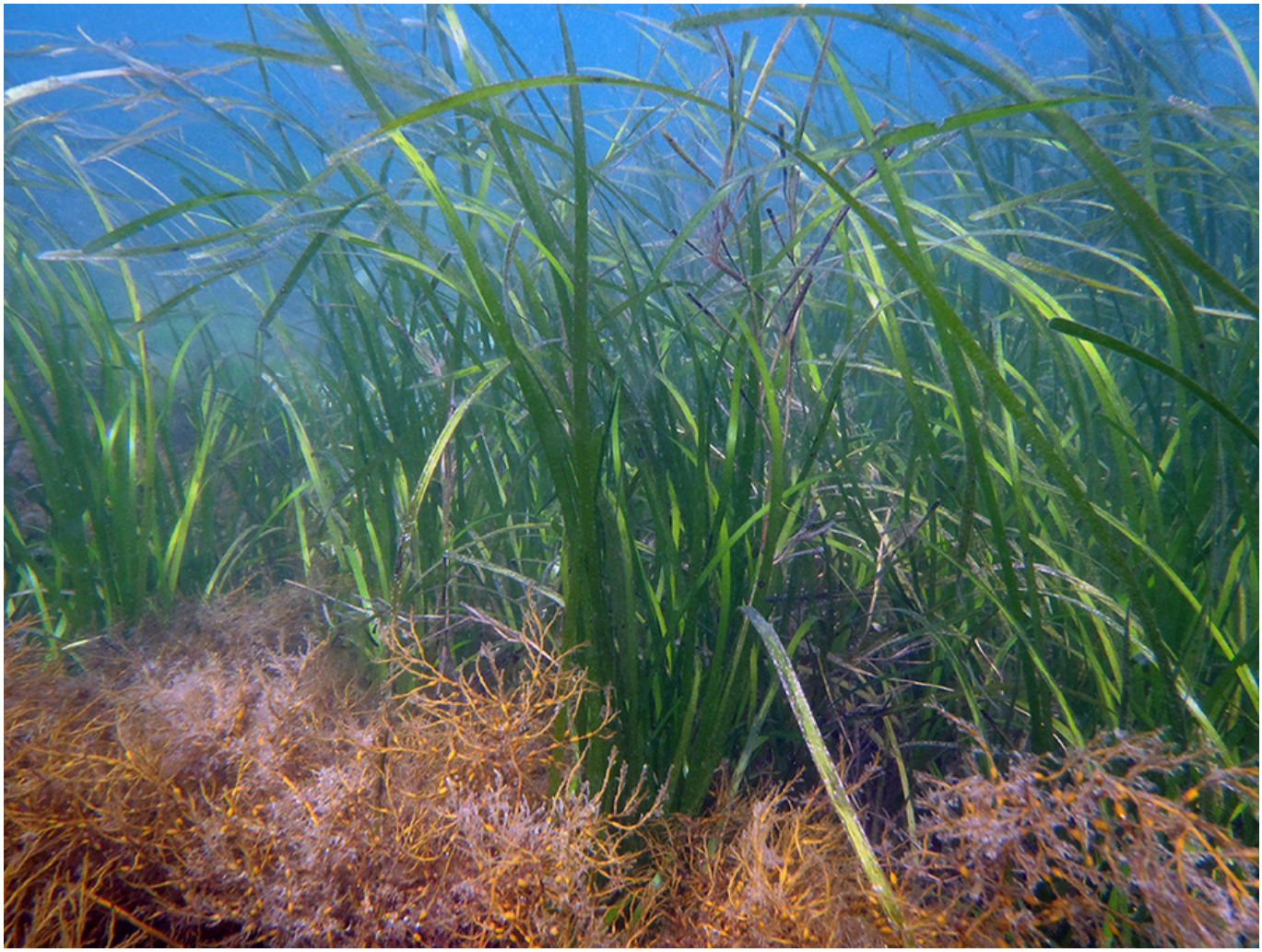
C.
OVERVLOED VAN ZEEGRASSEN

De schattingen van de wereldwijde ruimtelijke verspreiding van zeegrassen variëren aanzienlijk in de gepubliceerde literatuur, schommelend tussen 160 000 - 180 000 en 600 000 km². Over het algemeen bedekken zeegrassen een totale wereldwijde oppervlakte die ongeveer overeenkomt met tot 10% van de kustoceaan. Opmerkelijk is dat de totale wereldwijde zeegrasoppervlakte vergelijkbaar is met die van zeewieren, mangroven en koraalriffen. Bovendien dragen zeegrasbedden vaak een hoge biomassa. Een gemiddelde biomassa van een zeegrasbed van ongeveer 460 g drooggewicht per m2 werd geschat op basis van een compilatie van gegevens van zeegrasbedden over de hele wereld. In het bijzonder neigen de bedden van de soorten *Amphibolis*, *Phyllospadix* en *Posidonia* er in het bijzonder toe een hoge biomassa te dragen. Daarentegen vertonen de bedden van de soorten *Halophila*, die kleine bladeren hebben, zelden een hoge biomassa.

D.
ZEEGRASBEDDEN IN DE KUSTWATEREN VAN EUROPA

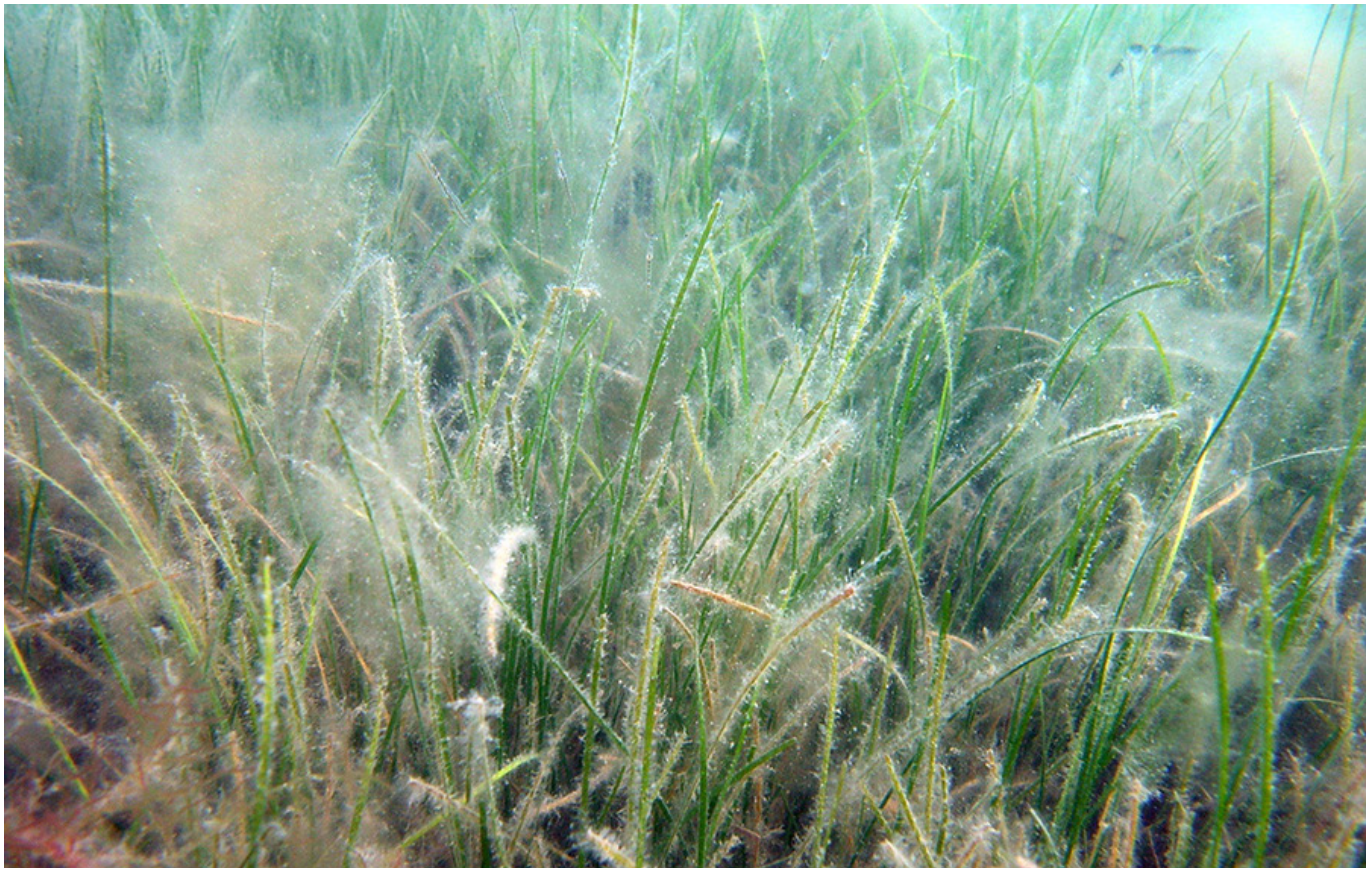
Zostera marina (groot zeegras) is wijdverspreid in de kustwateren van Europa. Dit zeegras komt voor in subarctische en gematigde streken, van de Arctische wateren van Noorwegen tot de Middellandse Zee, de Zwarte Zee en de Zee van Azov. *Zostera marina* bewoont voornamelijk de subtidale zone (Fig. 3.10), doorgaans tot10-15 meter diepte, afhankelijk van de watertransparantie. Ze kan ook voorkomen in de intergetijdenzone. Ze verkiest zandige of slibrijke substraten en beschutte kustmilieus, zoals ondiepe baaien, inhammen, estuaria en kustlagunes.

In het bijzonder komt *Zostera marina* oor in Arc-



Figuur 3.10

Weide van *Zostera marina* in de bovenste subtidale zone, Ría de Camariñas, Galicië, Spanje (fotocredit: Ignacio Barbara/AlgaeBase)



Figuur 3.11

Weide van *Zostera noltei* in de bovenste subtidale zone, Ría de Ares, Galicië, Spanje (fotocredit: Ignacio Barbara/AlgaeBase)

tische wateren langs de noordkust van Noorwegen, waar ze meerdere maanden ijsbedekking kan overleven. Ze is overvloedig aanwezig in de Noordzee en langs de Atlantische kusten tot Noord-Spanje. Deze soort is ook zeer overvloedig in de Oostzee, waar ze uitgestrekte weiden vormt. In het westelijke Middellandse Zeegebied vormt *Zostera marina* meerjarige weiden die verspreid zijn van de intergetijdenzone tot enkele meters diepte. Ze kan groeien op zandige en slibrijke substraten en komt ook voor in kustlagunes. In de Zwarte Zee komt *Zostera marina* voor in bedden van één enkele soort en ook in gemengde gemeenschappen, op dieptes van 0,5-15 meter op zandig-slibrijke substraten.

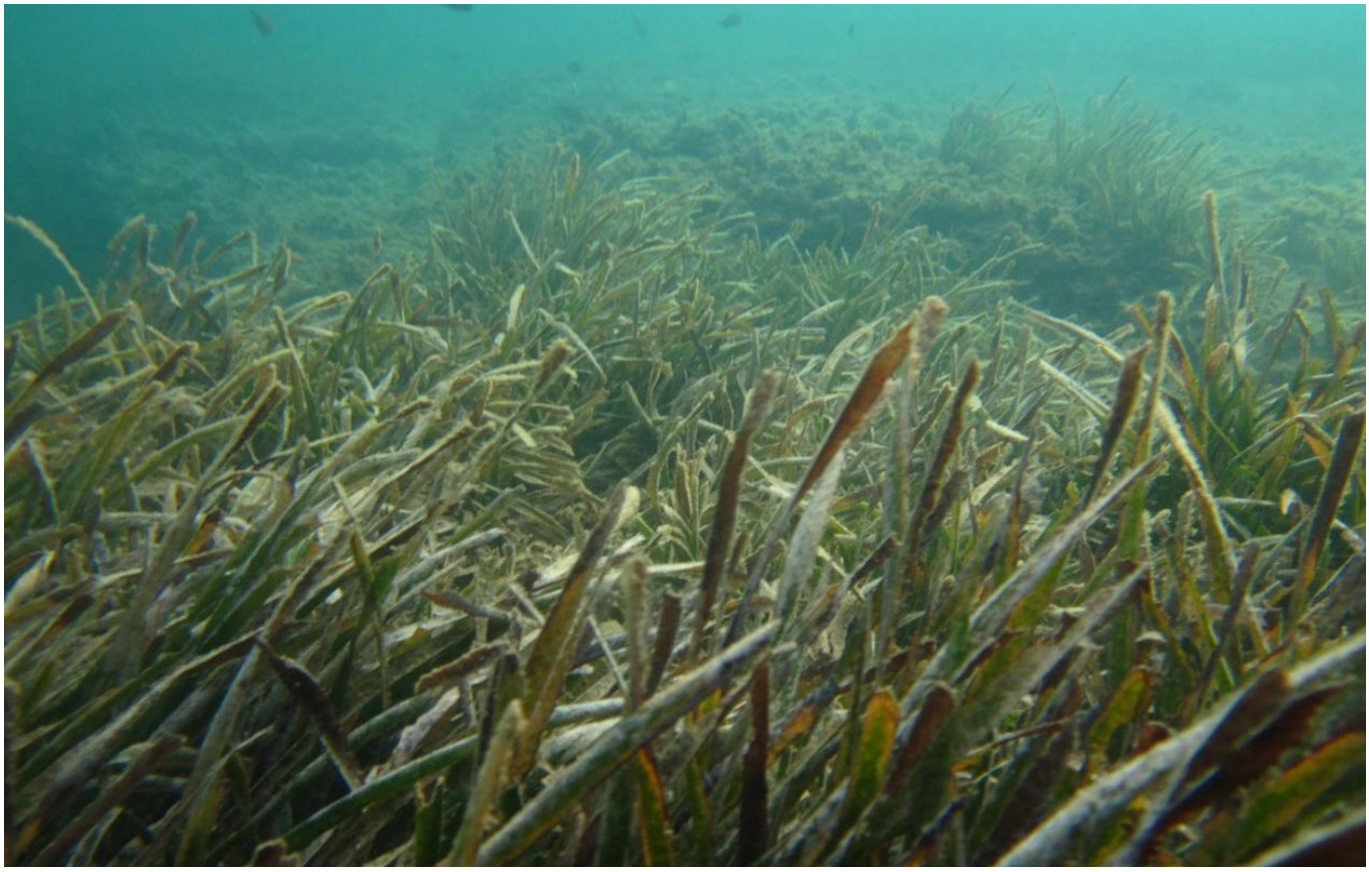
Zostera noltei klein zeegras) komt voor langs de kusten van Europa (Fig. 3.11). Ze komt voor in de intergetijdenzone, vaak samen met *Zostera marina*, die zich uitstrekt tot grotere dieptes. Klein zeegras wordt aangetroffen in de Oostzee, de Waddenzee, het Verenigd Koninkrijk, Ierland, de Golf van Morbihan en het Bekken van Arcachon, waar het uitgestrekte weiden vormt op de intergetijdenslikken. In de Middellandse Zee wordt *Zostera noltei* aangetroffen van de intergetijdenslikken tot dieptes van 1-2 meter, en coëxisteert ze met *Cymodocea nodosa* en *Zostera marina*. *Zostera noltei* omt ook voor in de Zwarte Zee, de Zee van Azov, de Kaspische Zee en het Aralmeer, waar ze groeit in ondiepe baaien en inhammen, maar ook op dieptes tot 10 meter.

Cymodocea nodosa kleine zeegras) wordt aangetroffen in de hele Middellandse Zee en strekt zich uit tot de Atlantische Oceaan, ten noorden van Portugal en ten zuiden van Senegal, en is ook algemeen op de Canarische Eilanden.



Figuur 3.12

Weide van *Cymodocea nodosa* in de Golf van Pagasitikos, noordelijke Egeïsche Zee, Griekenland
(fotocredit: Christos Zoumbos/Theodoros Kevrekidis)



Figuur 3.13

Weide van *Posidonia oceanica* in de kustwateren van Thracië, noordelijke Egeïsche Zee, Griekenland
(fotocredit: Stavros Bachtsevanidis/Theodoros Kevrekidis)



Figuur 3.14

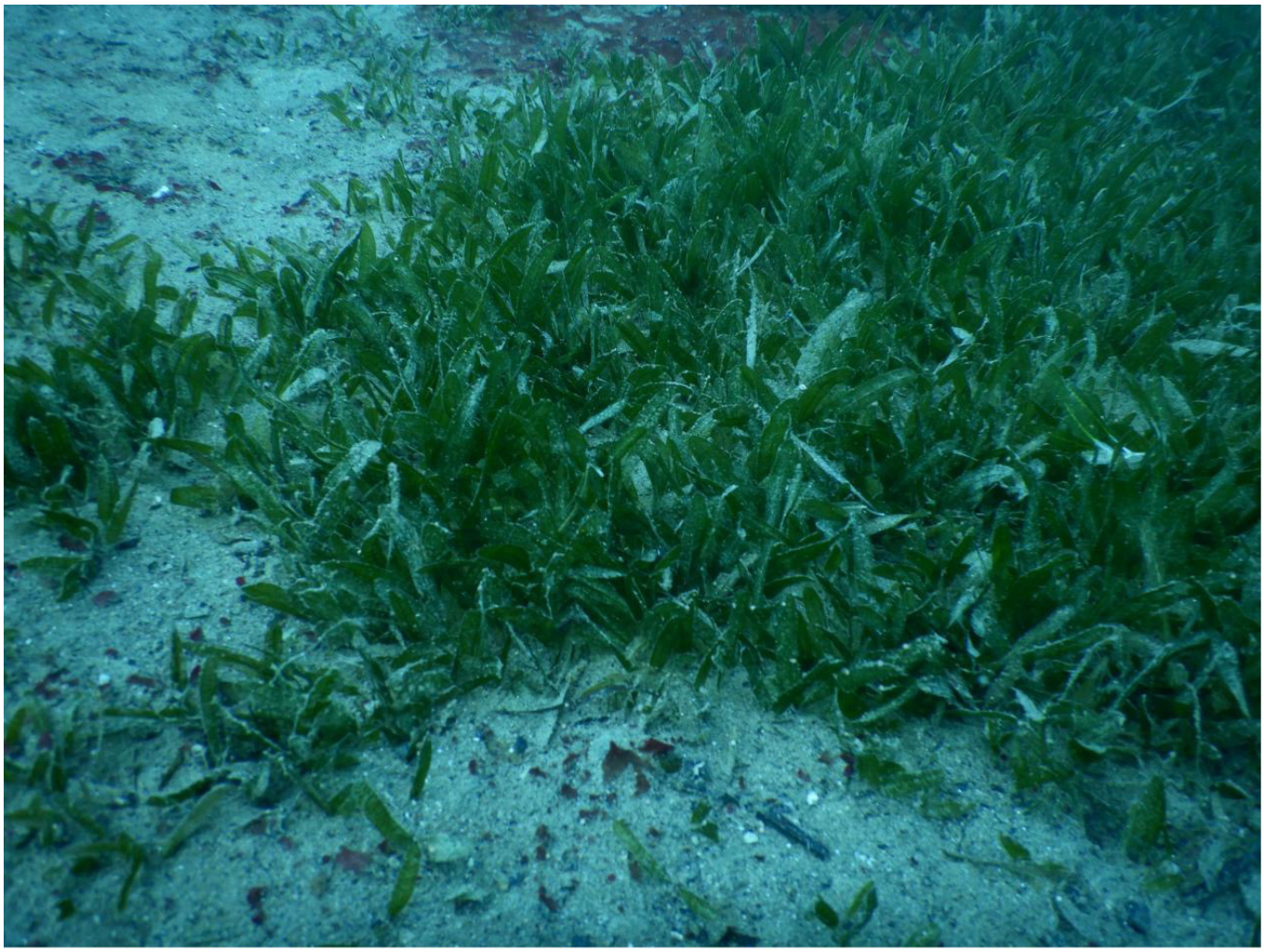
Weide van *Halophila stipulacea* in de Golf van Pagasitikos, noordelijke Egeïsche Zee, Griekenland (fotocredit: Christos Zoumbos/Theodoros Kevrekidis)

Cymodocea nodosa is, samen met *Posidonia oceanica* de meest voorkomende zeegrassoort in de Middellandse Zee. *Cymodocea nodosa* s verspreid van de intergetijdenzone tot dieptes van 33-35 meter en kan worden aangetroffen van slibrijke sedimenten tot grof zand. Deze zeegrassoort kan verschillende soorten milieu koloniseren, zoals open kustwateren, estuaria en kustlagunes, en vormt monospecifieke (Fig. 3.12) en gemengde velden. *Cymodocea nodosa* heeft een groot aanpassingsvermogen aan milieuvariabiliteit en bijgevolg een groot vermogen om nieuwe substraten te koloniseren. Dit vermogen verklaart waarom *Cymodocea nodosa Posidonia oceanica* vervangt in gebieden waar de milieuomstandigheden ongunstig zijn voor deze laatste soort.

Posidonia oceanica Neptunusgras) is een zeegras dat endemisch is voor de Middellandse Zee en wijdverspreid is langs de mediterrane kusten. In het bijzonder is *Posidonia oceanica* e meest overvloedige zeegrassoort in de Middellandse Zee (Fig. 3.13). Deze zeegrassoort vormt aaneengesloten weiden op dieptes tussen 0,5 en 45 meter, maar in troebel water ligt de ondergrens van de weiden rond de 9 meter. *Posidonia oceanica* is algemeen op verschillende substraten, van rotsen tot zandige bodems. Deze zeegrassoort lijkt lichte schommelingen van het zoutgehalte

roebelheid en een toename van de sedimentatiesnelheid niet te verdragen. Ze wordt dan ook niet aangetroffen in estuaria waar de instroom van zoet water en fijne sedimenten te hoog is voor haar groei. *Posidonia oceanica* vormt doorgaans monospecifieke weiden, maar kan ook gemengde velden vormen. Opmerkelijk is dat de weiden van *Posidonia oceanica* beschouwd worden als een van de climaxgemeenschappen van de mediterrane kustzone. De weiden van *Posidonia oceanica* zijn zeer dicht.

Posidonia oceanica is een groot, langlevend zeegras, maar met een zeer trage groei. De scheuten van deze soort kunnen ten minste 30 jaar leven. Deze scheuten worden in een traag tempo geproduceerd vanuit wortelstokken die horizontaal groeien met een snelheid van slechts enkele centimeters per jaar. De horizontale en verticale groei van de wortelstokken van *Posidonia oceanica* en de trage afbraak van deze wortelstokken resulteren in de vorming van een biogene structuur die «matte» wordt genoemd. Deze structuur verheft zich vanaf de bodem tot enkele meters en kan duizenden jaren oud zijn. Wanneer de dode bladeren en wortelstokken van *Posidonia oceanica* naar de kust worden gevoerd, vormen zich strandophopingen of «banquettes», die een



Figuur 3.15

Halophila stipulacea meadow in the Pagasetic Gulf, Northern Aegean Sea, Greece
(photo credit Christos Zoumbos/Theodoros Kevrekidis)



Figuur 3.16

Veld van *Ruppia maritima* in de Lagune van Monolimni, estuaria van de rivier de Evros, Griekenland (fotocredit: Theodoros Kevrekidis)

belangrijke rol spelen in de kustdynamiek en de biodiversiteit.

Halophila stipulacea is een zeegras dat inheems is in de Indische Oceaan en de Rode Zee, en dat in de Middellandse Zee werd geïntroduceerd. Deze zeegrassoort is ook een invasieve soort in de Caribische Zee. In de Middellandse Zee komt *Halophila stipulacea* voor van Egypte tot Zuid-Italië en Tunesië. Dit is een snelgroeiende soort; ze kan zich dan ook snel uitbreiden vanuit kleine populaties. De weiden van *Halophila stipulacea* bevinden zich in ondiepe wateren. Toch komt deze zeegrassoort ook, zij het schaars, voor in veel diepere wateren, zelfs op dieptes van meer dan 50 meter. In het oosten van de Middellandse Zee is *Halophila stipulacea* beperkt tot zachte substraten. Deze zeegrassoort kan dichte begroeiingen vormen (Fig. 3.14 en 3.15).

Ruppia maritima waarvan de gewone naam in Portugal erva-sal is, heeft een brede tolerantie voor het zoutgehalte. In het bijzonder vertoont deze brakwaterplant de hoogste tolerantie voor het zoutgehalte die bekend is onder alle ondergedoken zaadplanten. *Ruppia maritima* kan overleven bij zoutgehaltes die variëren tussen 0 en 70. Zo komt deze soort voor in zoet water, brak water, mariene milieus en kan ze ook overvloedig aanwezig zijn in hypersaline omstandigheden. *Ruppia maritima* komt daarom voor in een zeer brede verscheidenheid aan habitats, waaronder estuaria, kustlagunes, aquacultuurbekkens, zoutpannen en schorren (Fig. 3.16).

B5.4
ZEEGRASSEN ONDERSTEUNEN EEN GROTE DIVERSITEIT AAN LEVEN

Paraskevi Malea
Aristoteles-universiteit van Thessaloniki, Griekenland

Theodoros Kevrekidis
Democritus-universiteit van Thracië, Griekenland

B5.4.1 PRINCIPE 3 VAN ZEEGRASGELETTERDHEID: ZEEGRASSEN ONDERSTEUNEN EEN GROTE DIVERSITEIT AAN LEVEN

B5.4.2 FUNDAMENTELE CONCEPTEN

a. Zeegrassen zijn belangrijke primaire producenten

b. Zeegrassen leveren organisch voedsel aan een verscheidenheid aan onderling afhankelijke voedselwebben.

c. Zeegrassen structureren de zeebodem tot een complex milieu dat dient als habitat, kraamkamer en toevluchtsoord voor een oneindig aantal ongewervelden, vissen en zoogdieren. De plantaardige structuur van zeegrassen biedt een ruimte voor epifyten en epifauna.

d. Zeegrasecosystemen bieden trofische interacties met andere mariene ecosystemen, zoals schorren, weekdierriffen, mangroven en koraalriffen.

B5.4.3
KENNIS:
FUNCTIE EN WAARDE VAN HET ZEEGRASECOSYSTEEM VOOR HET MILIEU - WAARDE ALS ONDERSTEUNING

A.
PRIMAIRE PRODUCTIE

Zeegrassen zijn belangrijke primaire producenten, dat wil zeggen dat deze planten zonlicht en koolstofdioxide efficiënt omzetten in organisch materiaal. Geschat wordt dat de gemiddelde netto productie van zeegrasvelden ongeveer 1012 g drooggewicht/m^2/jaar bedraagt (of 2,7 g drooggewicht/m^2/dag). Deze waarde is zeer hoog voor mariene gemeenschappen, aangezien de gemiddelde netto productie van algengemeenschappen werd geschat op 1 g drooggewicht/m^2/dag, en die van fytoplankton op 0,35 g drooggewicht/m^2/dag. Wereldwijd plaatst deze waarde van de gemiddelde netto primaire productie van zeegrasweiden hen bij de meest productieve ecosystemen van de biosfeer.

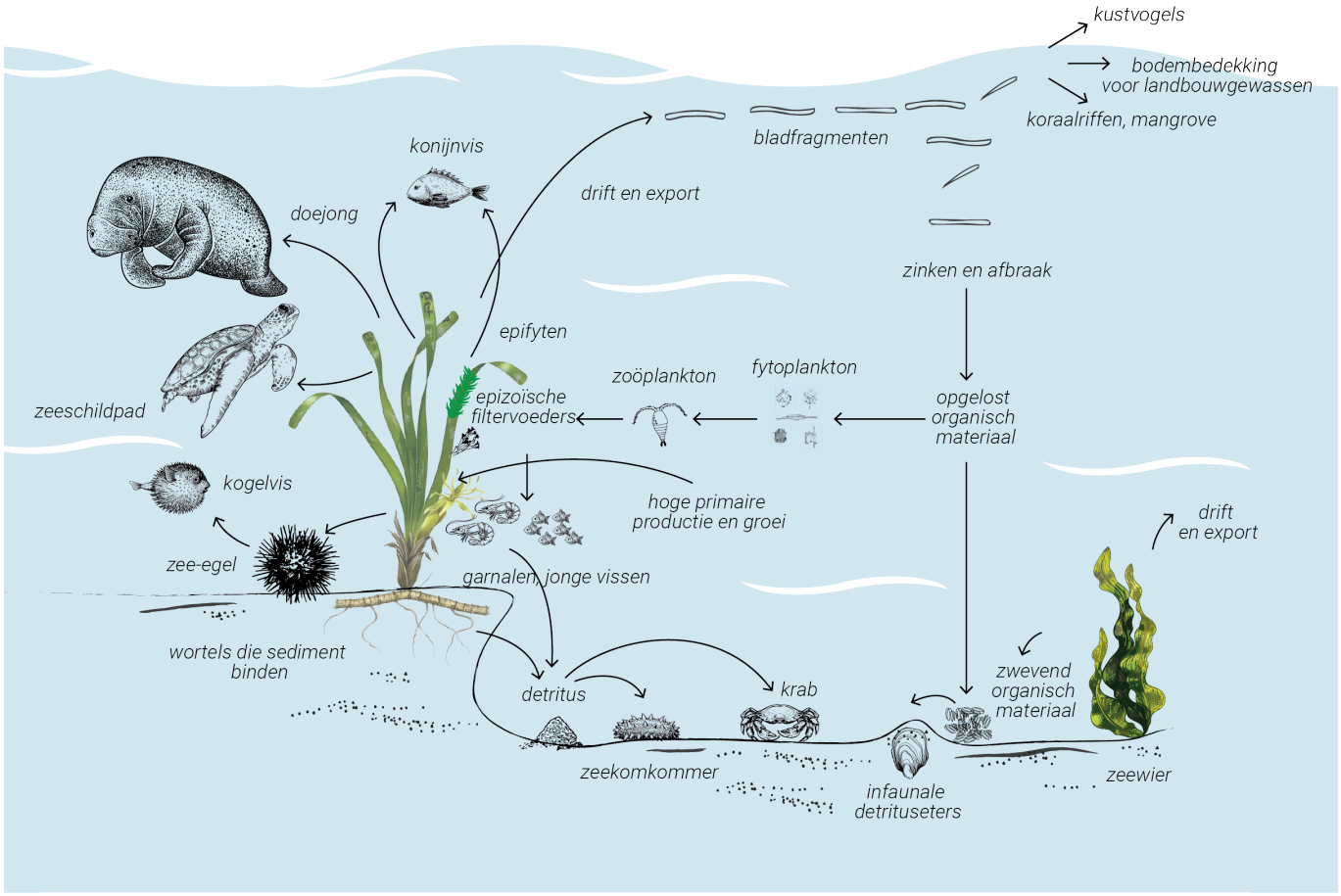
B.
VOEDSELVOORZIENING VOOR ANDERE MARIENE ORGANISMEN

Zeegrassen leveren organisch voedsel aan een verscheidenheid aan afhankelijke voedselketens. Zeegrassen spelen een cruciale rol als voedsel voor veel herbivoren, zoals doejongs, zeekoeien (of lamantijnen), schildpadden, vissen, watervogels, enz. In het bijzonder kan een aanzienlijk deel van de zeegrasproductie rechtstreeks worden geconsumeerd door herbivoren in tropische habitats (Fig. 4.1). Zo consumeert een volwassen doejong ongeveer 28 tot 40 kg zeegras per dag, terwijl een volwassen groene zeeschildpad ongeveer 2kg per dag kan consumeren. In gematigde kustwateren vindt het grootste deel van de begrazing enkel plaats op verouderende zeegrasplanten aan het einde van het groeiseizoen. Ongewervelden, zoals slakken (gastropoden) en schaaldieren, voeden zich met epifyten die groeien op het oppervlak van de bladeren van zeegrassen. Deze ongewervelden worden op hun beurt geconsumeerd door grotere schaaldieren, vissen en vogels, en vormen belangrijke schakels in de voedselketen van de kust.



Figuur 4.1

Een lamantijn of zeekoe die zich voedt met zeegras in Crystal River, Florida (credit: David Schrichte/Ocean Image Bank)



Figuur 4.2

Diagram dat de complexe voedselketen illustreert die een tropische zeegrasweide ondersteunt (aangepast van Fortes, M.D. 1989. ICLARM Education Series 5, 46p. International Center for Living Aquatic Resources Management, Manila, Filipijnen)

Onder de zeegrassoorten wordt *Zostera marina* vaak geconsumeerd door isopode schaaldieren en slakken (gastropoden). Ze wordt ook geconsumeerd door vogels, met name knobbelzwanen (*Cygnus olor*) in ondiepe kustlagunes. *Posidonia oceanica* wordt geconsumeerd door de groene zeeschildpad en door vissen van de soort *Sarpa salpa*. *Halophila stipulacae* is een belangrijke voedselbron voor de doejongs in de Indische Oceaan en ook voor de groene zeeschildpadden in hun hele verspreidingsgebied.

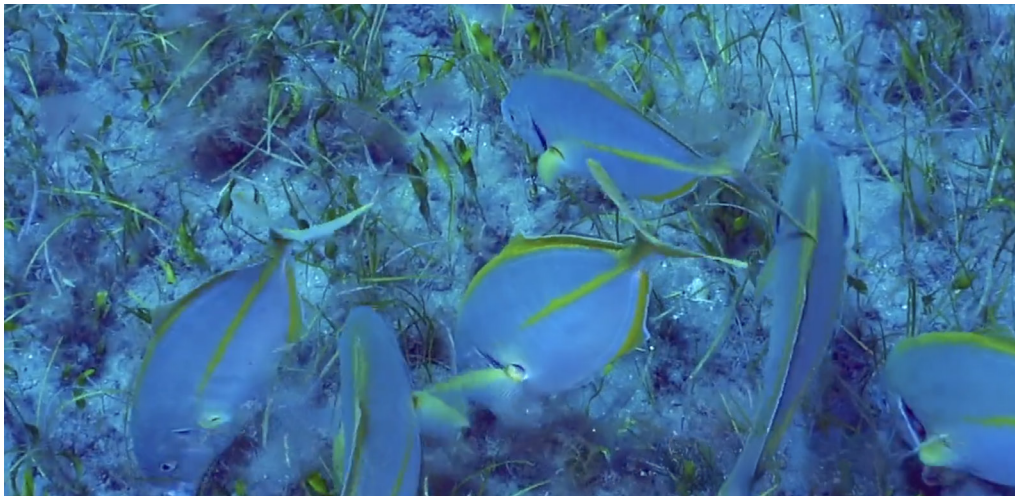
Toch komt een groot deel van de biomassa van zeegrassen in de mariene voedselketens terecht als detritus. Het organische materiaal van de wortels, wortelstokken en bladeren van zeegrassen kan in het sediment achterblijven, of zich ophopen aan aangrenzende kusten of andere habitats, en zo andere voedselketens ondersteunen. Veel zeegrasecosystemen zijn netto-exporteurs van organisch materiaal, en ondersteunen de productiviteit aan de kust en verder uit de kust.

Fig. 4.2 toont een diagram dat de complexe voedselketen illustreert die door een tropische zeegrasweide wordt ondersteund.

C.
HABITATVOORZIENING





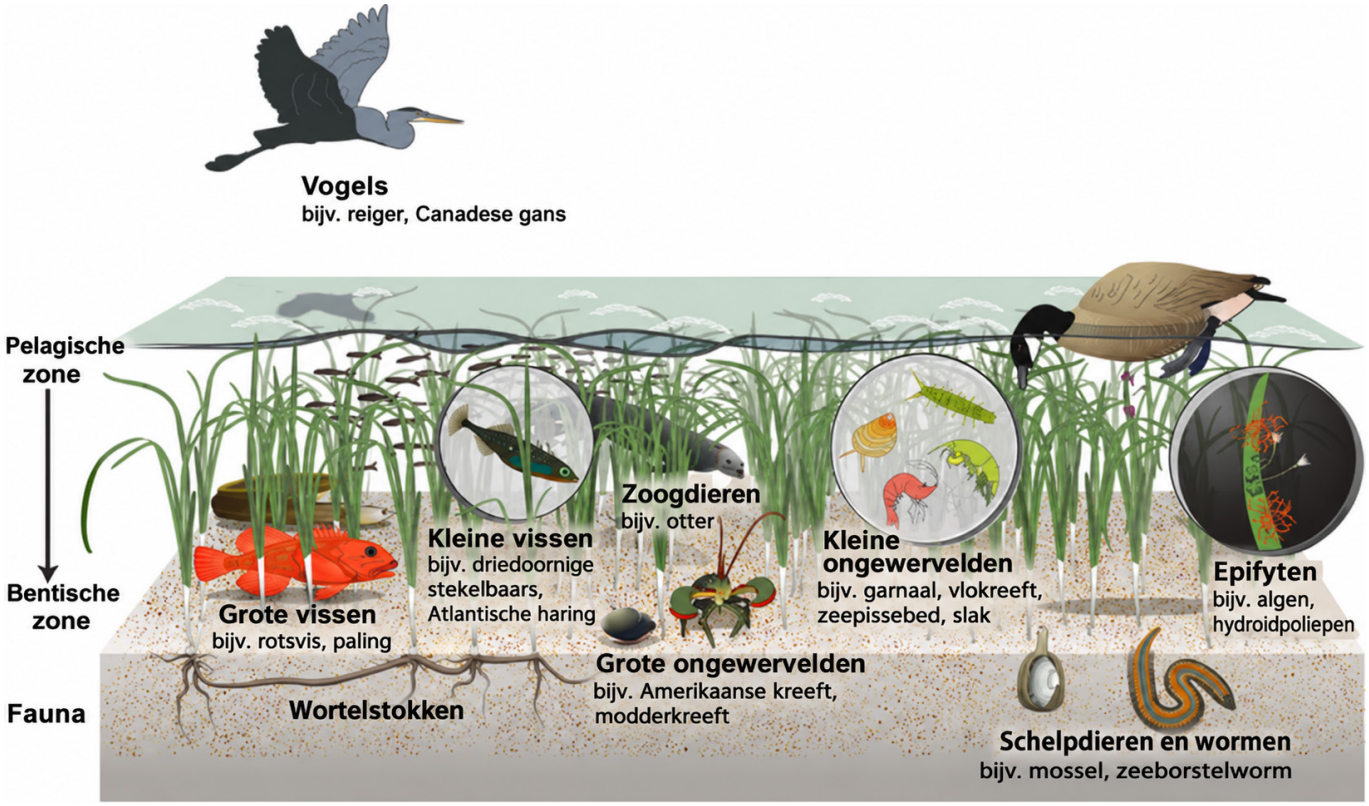


Figuur 4.3

Het zeegrasecosysteem ondersteunt een belangrijke biodiversiteit (van Rafa Herrero/documentaire «Isora, geschiedenis van een groep grienden», gefinancierd door de Fundación Mapfre Guanarteme van de Canarische Eilanden en geproduceerd door Aquawork Productions)

De complexe gemeenschap van het zeegrasecosysteem ondersteunt een belangrijke biodiversiteit. Zeegrassen structureren de zeebodem waarop ze groeien en transformeren die tot een complex milieu dat plaatsen biedt voor het bestaan van veel organismen. In het bijzonder bieden de groeistructuren van zeegrassen een **complex driedimensionaal milieu**, dat wordt gebruikt als **habitat, toevluchtsoord**, en **kraamkamer** voor talloze soorten, waaronder weekdieren en vissen van commercieel belang (zie Fig. 4.3).

De grote oppervlakte die wordt ingenomen door de plantaardige structuur van zeegrassen boven het substraat (bovengronds deel) biedt **ruimte** voor epifyten en epifauna, en ondersteunt een hoge secundaire productiviteit. In het bijzonder groeien veel soorten bacteriën, microalgen, zeewieren en ongewervelden op de levende bladeren van zeegrassen. Andere ongewervelden, zoals sponzen, zeeanemonen, borstelwormen (polychaeten) en mosselen groeien tussen de bladeren van zeegrassen of in het **sediment**. Het bladerdak van zeegrassen biedt beschutting aan ongewervelden zoals garnalen en krabben, kleine vissen en juvenielen van grotere vissoorten. De plantaardige structuur van zeegrassen en de aanwezigheid van veel kleinere organismen op en tussen de bladeren van zeegrassen, evenals in het sediment, trekken grotere dieren aan. Zo kunnen zeegrasweiden veel grotere ongewervelden herbergen, zoals zeekat, octopussen en pijlinktvissen, veel andere vissoorten, schildpadden, mariene zoogdieren zoals doejongs en zeekoeien, enz. Verschillende van deze organismen zijn permanente bewoners van de zeegrasweiden, terwijl andere tijdelijke bezoekers zijn. Opmerkelijk is dat er vaak tientallen tot honderden mariene dieren meer voorkomen in een zeegrasweide in vergelijking met aangrenzende zandige gebieden zonder vegetatie. In Fig. 4.4



Figuur 4.4

Veralgemeende illustratie van een zeegrasweide in een gematigde streek met vereenvoudigde soortengemeenschappen, waaronder gemeenschappen van epifyten, kleine mobiele ongewervelden, kleine pelagische en benthische vissen, grotere benthische vissen en ongewervelden, sedimentfauna, en zoogdieren en vogels (aangepast van Murphy et al., 2021. FACETS 6: 139–179)

wordt een veralgemeende illustratie getoond van een zeegrasweide in de gematigde streek met soortengemeenschappen vereenvoudigd, waaronder gemeenschappen van epifyten, kleine mobiele ongewervelden, kleine pelagische en benthische vissen, grotere benthische vissen en ongewervelden, sedimentfauna, en zoogdieren en vogels. Afbeeldingen van sommige organismen die in zeegrasweiden worden aangetroffen, worden getoond in Fig. 4.5.

Onder de zeegrassoorten is *Posidonia oceanica* een belangrijke habitatvormende soort die habitat biedt aan veel mariene soorten. Dit zeegras biedt voortplantingszones voor de juvenielen van veel vissen van commercieel belang. *Cymodocea nodosa* biedt in het bijzonder een belangrijk habitat voor de zeepaardjes.



Foto Dimitris Poursanidis



Foto Jeff Hester



Foto Matt Curnock

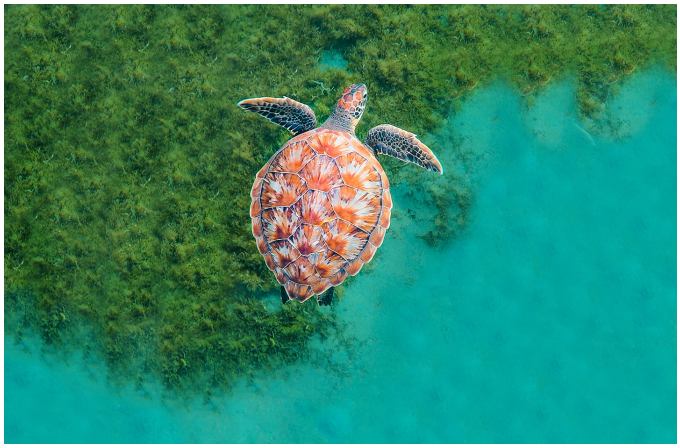


Foto Michele Roux

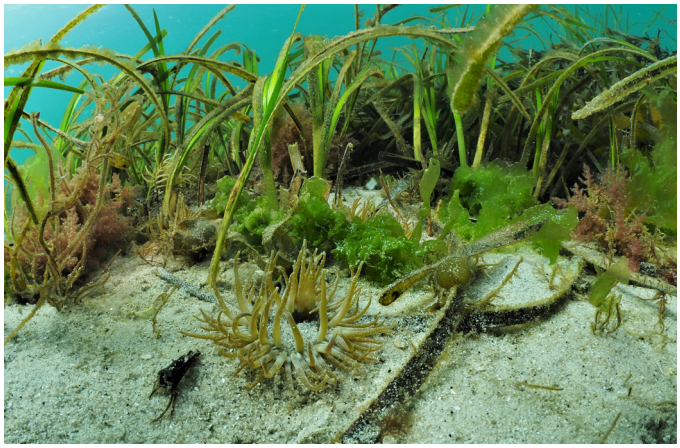


Foto Michiel Vos



Foto Shannon Moran

Figuur 4.5

Biota van de zeegrasweiden (Bron: Ocean Image Bank)

D.
TROFISCHE INTERACTIES MET ANDERE MARIENE ECOSYSTEMEN

Zeegrasvelden bieden een grote ondersteuning aan **nabijgelegen** en **verafgelegen** plaatsen door de export van organisch particulair materiaal en van plantaardige en dierlijke biomassa. **Zeegrasweiden zijn sterk verbonden met andere** kusthabitats, zoals koraalriffen (zie Fig. 4.6 en 4.7), mangroven, schorren, slikgebieden en oesterriffen. De structuur en functie van de gemeenschappen van koraalriffen worden versterkt wanneer deze zich naast en verbonden met zeegrasweiden bevinden. Zeegrasvelden zijn ook, via de vissen die zich daar voeden, verbonden met andere kusthabitats, zoals schorren in gematigde streken en mangroven in tropische streken. Zeegrasvelden exporteren ook grote hoeveelheden plantaardige en dierlijke biomassa









Figuur 4.6

Een gestreepte pincetvis (*Chelmon rostratus*) jaagt op ongewervelden op de bladeren van zeegrassen tijdens de schemering (boven), terwijl de volwassen exemplaren op de koraalriffen zich overdag met wormen voeden (onder) in Trat, Thailand (van Du et al., 2020. Ecosystem Health and Sustainability 2020, 6, 1, 1812433/ fotocredit: Jianguo Du)

Figuur 4.7

Een zeebarbeel (*Upeneus tragula*)zoekt 's nachts naar prooi op de zandige bodem van de zeegrasweiden (boven) en schuilt overdag in gebieden met koraalriffen (onder) in Trat, Thailand (van Du et al., 2020. Ecosystem Health and Sustainability 2020, 6, 1, 1812433/ fotocredit: Jianguo Du)

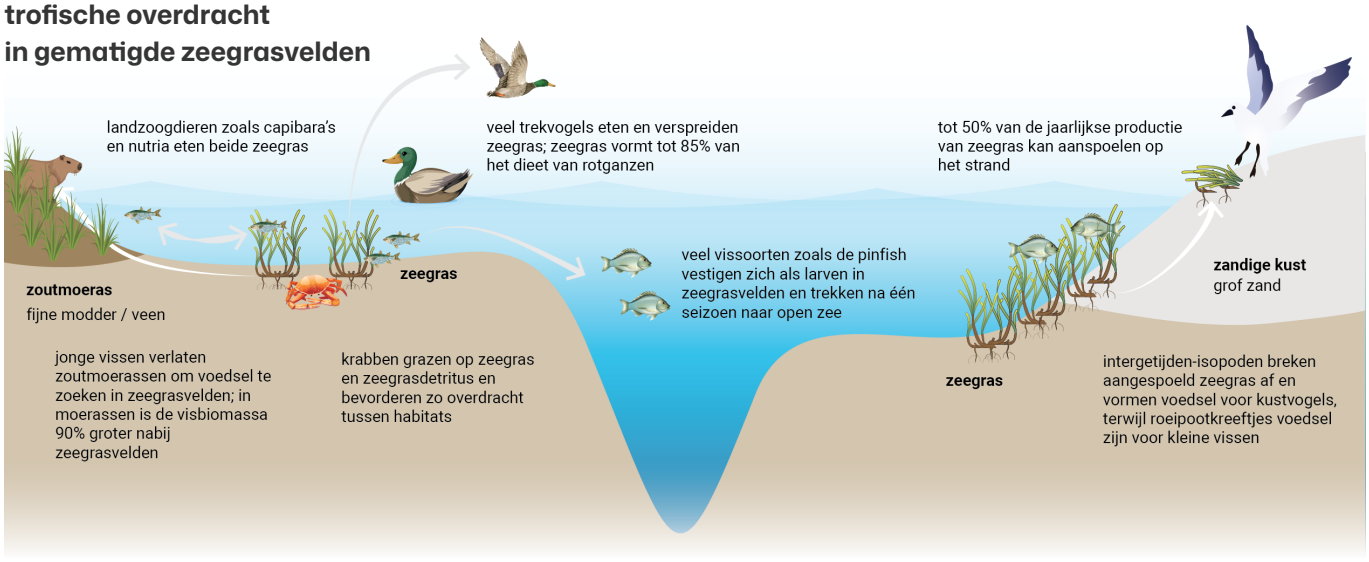
naar **gebieden verder uit de kust**. Een grote biomassa aan detritus van zeegrassen kan ook de **diepzee** bereiken, en vormt zo een permanente en belangrijke voedselbron voor de consumenten.

Zeegrasvelden hebben ook sterke verbindingen met **de stranden** en met **de kustzones** en **het binnenland**. De detritus van zeegrassen die door het getij naar de kust wordt gevoerd, biedt habitat en voedsel voor de ongewervelden die zich ermee voeden, en kan indirect vissen, steltlopers en trekvogels, en sommige zoogdieren ondersteunen. De meest uitgebreide overdrachten van zeegras biomassa van de oceaan naar het binnenland betreffen de trekkende watervogels.

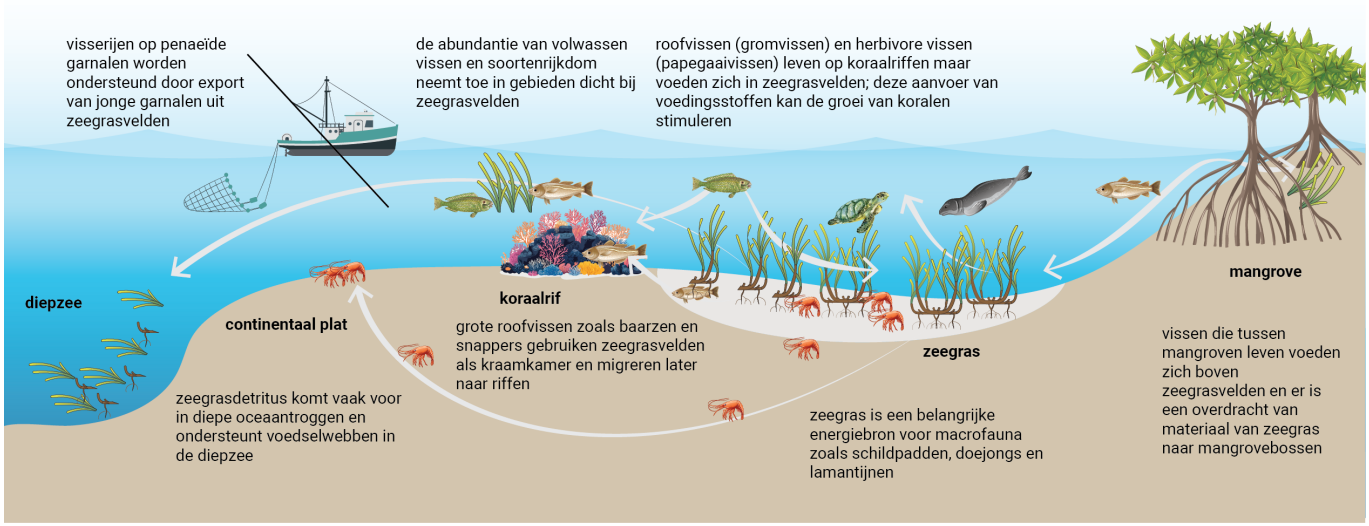
Zeegrassen leveren voedsel aan een groot aantal ganzen, eenden en zwanen, die hun energiereserves vergroten door zich intensief met deze planten te voeden, ter voorbereiding op hun reis naar de broedplaatsen.

Fig. 4.8 toont een conceptueel diagram dat de trofische overdrachten vanuit de zeegrasweiden illustreert en de connectiviteit tussen deze weiden en de mariene en terrestrische habitats in (a) gematigde streken en (b) tropische streken.

trofische overdracht in gematigde zeegrasvelden



trofische overdracht in tropische zeegrasvelden



Figuur 4.8

Conceptueel diagram dat de trofische overdrachten in zeegrasweiden illustreert en de connectiviteit tussen deze weiden en mariene en terrestrische habitats in gematigde en tropische streken (aangepast van Heck et al., 2008. Ecosystems 11: 1198–1210)

B5.5
ZEEGRASSEN STABILISEREN DE ZEEBODEM, VERBETEREN DE WATERKWALITEIT EN SLAAN KOOLSTOF OP

Paraskevi Malea
Aristoteles-universiteit van Thessaloniki, Griekenland

Theodoros Kevrekidis
Democritus-universiteit van Thracië, Griekenland

B5.5.1 PRINCIPE 4 VAN ZEEGRASGELETTERDHEID: ZEEGRASSEN STABILISEREN DE ZEEBODEM, VERBETEREN DE WATERKWALITEIT EN SLAAN KOOLSTOF OP

B5.5.2 FUNDAMENTELE CONCEPTEN

a. De fysieke structuur van zeegrassen stabiliseert het substraat en dempt de energie van golven en getijden, waardoor erosie en de troebelheid van de waterkolom afnemen.

b. Zeegrassen produceren zuurstof via fotosynthese en ondersteunen zo de faunagemeenschappen.

c. Zeegrassen beïnvloeden de nutriëntenkringlopen in kustwateren aanzienlijk. Ze functioneren als filters voor de nutriënten die het kustmilieu binnenkomen, en verbeteren zo de waterkwaliteit.

d. Zeegrassen absorberen en houden verontreinigende stoffen vast en verwijderen pathogene mariene bacteriën uit het water, waardoor ze de waterkwaliteit verbeteren en ziekten van de mariene biota beheersen.

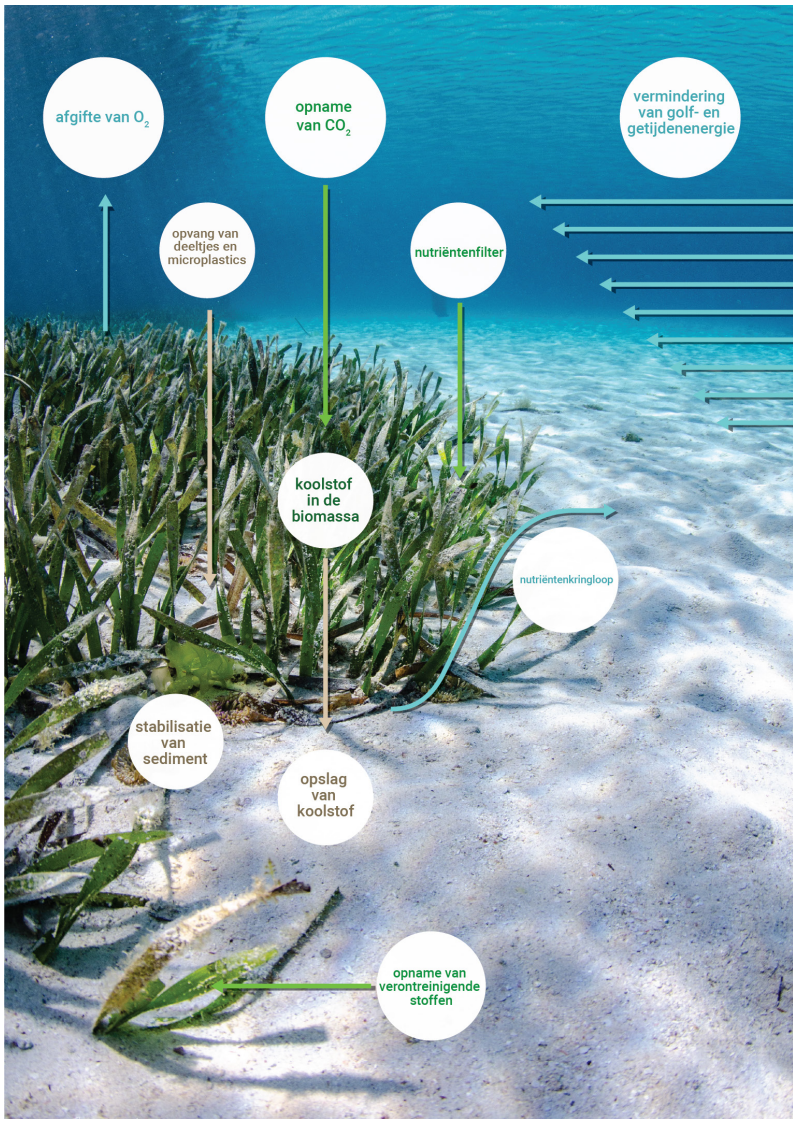
e. Zeegrasweiden hebben een groot vermogen om koolstof vast te leggen en op te slaan en vormen daarom een belangrijke koolstofput in de oceaan, die de klimaatverandering mildert en de verzuring van de oceanen tempert.

B5.5.3 KENNIS: FUNCTIE VAN HET ZEEGRASECOSYSTEEM EN WAARDE VOOR HET MILIEU - REGULERENDE WAARDE

A.
STABILISATIE VAN HET SUBSTRAAT

De fysieke structuur van zeegrassen **stabiliseert het substraat en dempt de energie van golven en getijden** (zie Fig. 5.1), waardoor erosie en de troebelheid van de waterkolom afnemen. In het bijzonder spelen de complexe en vaak diepe structuren van de wortels en wortelstokken van zeegrassen een fundamentele rol in het samenbinden van de sedimenten. De fysieke structuur van zeegrassen dempt ook de energie van golven en getijden, wat resulteert in een toename van de afzetting en het bedelven van zwevende deeltjes. Bovendien helpen de bladeren van zeegrassen de sedimentatie te bevorderen en de heropwerveling te verhinderen. De ophoping van detritus van zeegrassen, in het bijzonder detritus van *Posidonia oceanica* op de stranden (zie Fig. 5.2), biedt ook een zeer doeltreffende bescherming tegen kusterosie.

Als gevolg van al het bovenstaande helpen zeegrassen de transparantie en de kwaliteit van het water te verbeteren, de erosie te verminderen en de kustlijnen te beschermen tegen stormen.



Figuur 5.1

Weergave van de regulerende functies van het zeegrasecosysteem (fotocredit: Lilly Palmer/Ocean Image Bank)



Figuur 5.2

Een bank van *Posidonia oceanica* gevormd op een strand uit dode bladeren

(strand van Mesi, kustwateren van Thracië, noordelijke Egeïsche Zee, Griekenland; fotocredit: Paraskevi Malea)

B. PRODUCTIE VAN ZUURSTOF

Zeegrassen produceren zuurstof via fotosynthese. De zuurstof die door de fotosynthese wordt vrijgegeven (zie Fig. 5.1) helpt de waterkwaliteit te verbeteren en ondersteunt de faunagemeenschappen in de zeegrasweiden en de aangrenzende habitats. Zeegrassen staan bekend als de **«longen van de zee»** omdat één vierkante meter zeegrasweide via fotosynthese 10 liter zuurstof per dag kan genereren. In het bijzonder produceren de velden van *Posidonia oceanica* op 10 meter diepte meer dan 14 liter zuurstof per dag per m^2.

C. NUTRIËNTENKRINGLOOP

Zeegrassen beïnvloeden de nutriëntenkringlopen in kustwateren aanzienlijk. In nutriëntarme streken dragen de zeegrassen zelf bij aan de nutriëntenkringloop door nutriënten uit het sediment op te nemen en ze via hun bladeren in het water vrij te geven (zie Fig. 5.1), waarbij ze fungeren als een nutriëntenpomp. Zo ondersteunen zeegrassen de algehele productiviteit van het ecosysteem.

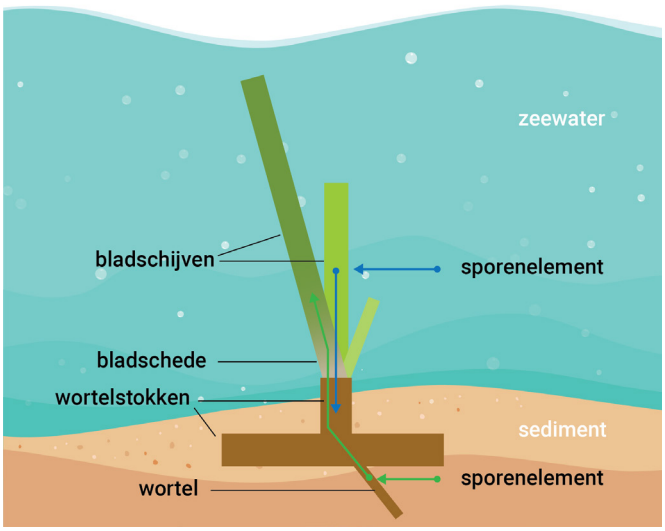
Zeegrassen functioneren ook als filters voor de nutriënten die het kustmilieu binnenkomen, en verbeteren zo de waterkwaliteit. Zeegrasecosystemen verwijderen nutriënten uit de waterkolom, via de relatief snelle opname van nutriënten door zowel de zeegrassen als hun epifyten (zie Fig. 5.1). Eenmaal verwijderd kunnen deze nutriënten slechts langzaam worden vrijgegeven via een proces van afbraak en consumptie. Op die manier kunnen zeegrassen de problemen van eutrofiëring verminderen.

D.
ABSORPTIE EN RETENTIE VAN VERONTREINIGENDE STOFFEN, VERWIJDERING VAN PATHOGENE BACTERIËN

Zeegrassen absorberen en houden **verontreinigende stoffen**, vast, en verbeteren zo de waterkwaliteit. In het bijzonder verwijderen zeegrasecosystemen, via de relatief snelle opname van verontreinigende stoffen, zoals sporenmetalen, door de zeegrassen, de verontreinigende stoffen uit het sediment en de waterkolom. De opname van metalen door zeegrassen kan twee wegen volgen: van het omringende water naar de bladeren en vervolgens naar de wortelstokken; of de translocatie van het poriënwater in het sediment naar de wortels, wortelstokken en bladeren (zie Fig. 5.3). Eenmaal verwijderd kunnen deze verontreinigende stoffen slechts langzaam worden vrijgegeven via een proces van afbraak en consumptie. Op die manier kunnen zeegrassen de verontreiniging verminderen en de waterkwaliteit verbeteren.

Zeegrassen faciliteren ook de ophoping **van microplastics** en het bedelven ervan in de sedimenten, waardoor ze deze uit de pelagische voedselketen verwijderen. In het bijzonder faciliteren zeegrasweiden het invangen van microplastics doordat deze deeltjes aan hun bladerdak hechten, en faciliteren ze de sedimentatie ervan in het sediment (zie Fig. 5.1).

Zeegrasweiden verminderen de overvloed aan **pathogene bacteriën** die zowel de mariene organismen als de mens schaden. De retentie van sedimenten door de zeegrasweiden kan een belangrijke rol spelen in deze vermindering. De fenolen van zeegrassen die in het zeewater worden vrijgegeven, zijn in verband gebracht met de onderdrukking van ziekteverwekkers. Bovendien is ook het microbioom van zeegrassen, in het bijzonder de epifyten op de bladeren, aangewezen als remmer van door water overgedragen ziekteverwekkers.



Figuur 5.3

Schematische weergave van de opname van sporenmetalen door een zeegras. De opname van sporenmetalen kan twee wegen volgen: van het omringende water naar de bladeren en vervolgens naar de wortelstokken, of de translocatie van het poriënwater in het sediment naar de wortels, wortelstokken en bladeren (gewijzigd naar Malea, P., Mylona, Z., Kevrekidis, T., 2019. Science of the Total Environment 686, 63-74)

E.
VASTLEGGING EN OPSLAG VAN KOOLSTOF

Zeegrasweiden spelen, samen met de mangroven en de schorren, een fundamentele rol in het opvangen en opslaan **van het atmosferische koolstofdioxide**. Deze ecosystemen (blauwe-koolstofecosystemen) absorberen meer koolstof dan ze vrijgeven en zijn daarom belangrijke en vitale koolstofputten om de klimaatverandering te milderen en de verzuring van de oceanen te temperen.

Zeegrassen absorberen koolstof uit het zeewater om hun plantaardige structuur op te bouwen (bijvoorbeeld wortels, wortelstokken, bladeren) (zie Fig. 5.1). Omdat het meerjarige structuren zijn, slaan zeegrassen koolstof op gedurende lange periodes.

Bovendien kunnen delen van de zeegrasplanten en bijbehorende organismen die afsterven en zich ontbinden, zich ophopen op de zeebodem en bedolven raken, vastgehouden in het sediment (zie Fig. 5.1). Ongeveer 16% van de zeegrasproductie wordt opgeslagen in de sedimenten, wat potentieel een netto koolstofput in het ecosysteem vormt. Geschat wordt dat de koolstof die jaarlijks door de zeegrassen in de sedimenten wordt opgeslagen, overeenkomt met ongeveer 11-15% van de totale koolstofopslag in de mariene ecosystemen.

B5.6
ZEEGRASSEN EN DE MENS ZIJN ONLOSMAKELIJK MET ELKAAR VERBONDEN

Theodoros Kevrekidis
Democritus-universiteit van Thracië, Griekenland

Paraskevi Malea
Aristoteles-universiteit van Thessaloniki, Griekenland

B5.6.1 PRINCIPE 5 VAN ZEEGRASGELETTERDHEID: ZEEGRASSEN EN DE MENS ZIJN ONLOSMAKELIJK MET ELKAAR VERBONDEN

B5.6.2 FUNDAMENTELE CONCEPTEN

a. Zeegrassen beïnvloeden alle menselijke levens. Ze dragen wereldwijd bij aan het menselijk welzijn door de mariene biodiversiteit en de bedreigde soorten in stand te houden, het zeewater te zuiveren, ziekten te beheersen, zuurstof te produceren, bij te dragen aan de globale nutriënten- en koolstofkringloop en de klimaatverandering en het effect van de verzuring van de oceanen te milderen.

b. Zeegrassen beschermen de kustzones tegen erosie, overstromingen en stormen, en ondersteunen de wereldwijde visserij. Ze leveren voedsel, geneesmiddelen en materialen, en kunnen worden gebruikt als energiebronnen. Zeegrassen ondersteunen banen en economieën.

c. Zeegrasweiden bieden mogelijkheden voor recreatieve activiteiten, zoals snorkelen en duiken, vissen en vogels kijken. Ze zijn een bron van inspiratie en ontdekking. Zeegrassen vormen een belangrijk element van het erfgoed van veel culturen. Zeegrassen worden gebruikt als indicatoren van door de mens veroorzaakte verstoringen.

d. De mens beïnvloedt zeegrassen op verschillende manieren. Zeegrassen zijn niet de belangrijkste focus van beleids- en beheersmaatregelen. De menselijke ontwikkeling en activiteit resulteren in een wereldwijd verlies van zeegras. Ongeveer 20% van de wereldwijde zeegrasoppervlakte is sinds het einde van de negentiende eeuw verloren gegaan en verwacht wordt dat deze trend zich voortzet. De wereldwijde verliezen van zeegras verminderen de goederen en diensten die ze aan de mens leveren.

e. De achteruitgang van zeegrassen is te wijten aan de wisselwerking van antropogene en natuurlijke factoren. De menselijke bedreigingen voor zeegrassen zijn van terrestrische, mariene of klimaatgerelateerde oorsprong. De belangrijkste bedreigingen omvatten stedelijke, agrarische en industriële afvloeiing, kustontwikkeling, ongereguleerde visserij- en scheepvaartactiviteiten, baggeren en klimaatverandering.

f. De wetgeving en het beleid moeten acties ondersteunen om nieuwe verliezen van zeegras te voorkomen. Beheer, behoud en herstel kunnen de achteruitgang van zeegrassen ombuigen. Educatie over zeegrassen en bewustmaking van het publiek kunnen de bescherming ervan bevorderen.

g. Iedereen is verantwoordelijk voor de gezondheid van zeegrassen. Zeegrassen zijn unieke planten die een grote diversiteit aan leven ondersteunen en de mensen moeten zo leven dat ze deze in stand houden. Individuele en collectieve acties zijn nodig om zeegrassen doeltreffend te beheren ten behoeve van iedereen.

B5.6.3 KENNIS: ECOSYSTEEMDIENSTEN, BEDREIGINGEN, VERLIES, NATUURBESCHERMING, BEWUSTWORDING

A.
ECOSYSTEEMDIENSTEN

Ecosystemen leveren veel essentiële diensten aan mensen. **Ecosysteemdiensten** zijn de voordelen die mensen uit ecosystemen halen, volgens de Millennium Ecosystem Assessment (MEA, 2005). Ecosysteemdiensten worden door het Environmental Economic Accounting System (EEAS) in drie brede categorieën onderverdeeld, namelijk voorzieningsdiensten, regulerings- en onderhoudsdiensten, en culturele diensten. **Provisioningdiensten** zijn die ecosysteemdiensten die bijdragen aan de voordelen vertegenwoordigen die worden gewonnen of verkregen uit ecosystemen (bijvoorbeeld in het wild gevangen vis). Regulerings- **en onderhoudsdiensten** zijn die welke voortkomen uit het vermogen van ecosystemen om biologische processen te reguleren en klimaat-, hydrologische en biochemische cycli te beïnvloeden, waardoor milieuomstandigheden behouden die gunstig zijn voor individuen en samenleving (bijv. klimaatregulering, regulering



Figuur 6.1

Zeegras-ecosysteemdiensten (foto: Christos Zoumbos/Theodoros Kevrekidis)

van waterstromen). **Culturele diensten** zijn de ervaringsgerichte en immateriële diensten die verband houden met ecosystemen waarvan het bestaan en functioneren bijdragen aan een reeks culturele voordelen (bijv. verbeterde gezondheid, vrije tijd).

Zeegrassen leveren een v**erscheidenheid aan ecosysteemdiensten** op wereldschaal (Fig. 6.1). Zeegrassen **dragen bij aan het welzijn van de mens** door mariene biodiversiteit en bedreigde soorten in stand te houden, zeewater te zuiveren, ziekten te bestrijden, zuurstof te produceren, bij te dragen aan de wereldwijde nutriënten- en koolstofcyclus, en klimaatverandering en het effect van oceaanverzuring te beperken . Zoals eerder vermeld, staan zeegrassen bekend als de 'longen van de zee', vanwege de hoge zuurstofproductie door fotosynthese. Ze worden ook beschouwd als 'blauwe koolstofecosystemen', omdat ze belangrijke koolstofputten zijn en daarom essentieel zijn voor het beperken van klimaatverandering en het beperken van oceaneverzuring.

Zeegrassen **beschermen ook de kust** tegen erosie, overstromingen en stormvloeden, **ondersteunen de wereldwijde visserijproductie**, worden gebruikt bij de productie van **materialen**, **medicijnen** en **voedsel**, en hebben het potentieel om **biobrandstoffen**, **biogas** en **biomethaan** te produceren. Zeegrasweiden bieden **mogelijkheden** voor **recreatieve activiteiten** zoals snorkelen, duiken, vissen en vogels kijken; ze zijn een **bron van inspiratie** en **ontdekking** en vormen een **belangrijk** onderdeel **van het culturele erfgoed** van vele volkeren.

Zeegrassen worden gebruikt als **indicatoren** voor **door de mens veroorzaakte verstoringen**. De vele voordelen die zeegras-ecosystemen bieden, behoren tot de **meest** waardevolle **mariene ecosystemen**. In totaal worden de diensten die zeegras leveren geschat op USD 19.004 (USD 1994) per hectare per jaar.

In het bijzonder zijn er meer dan 25 ecosysteemdiensten voor zeegras geïdentificeerd. Deze diensten omvatten zowel bekende diensten, zoals het leefgebied van ongewervelden, als grotendeels onbekende voorzieningen, zoals het gebruik van zeegras voor medicinale doeleinden. Zeegrassen in de Tropische Indo-Pacific (V) en Zuidelijke Gematigde Oceanen (VI) bioregio's hebben hogere niveaus van ecosysteemdiensten dan in de andere bioregio's.

Toch is ook aangetoond dat zeegrassen in de kustwateren van Europa uitgebreide ecosysteemdiensten leveren. Zo zijn zeegrassen in de kustwateren van het Verenigd Koninkrijk (*Zostera marina* en *Zostera noltei*) geïdentificeerd als het leveren van minstens 24 ecosysteemdiensten, en *Posidonia oceanica* in de Middellandse Zee die 27 ecosysteemdiensten levert. Met name met betrekking tot *Posidonia oceanica* werden 4 bevoorradingsdiensten, 14 regulerings- en onderhoudsdiensten en 9 culturele ecosysteemdiensten geïdentificeerd (zie Tabel 6.1).

Tabel 6.1

Ecosysteemdiensten van *Posidonia oceanica**

Categorie	Verdeling	Ecosysteemdiensten
Provisioningdiensten	Materiaal	Dode platen gebruikt als materiaal: dakisolatie, industriële afvalabsorberende stoffen
		Dode bladeren als voer voor compostproducerende dieren
		Potentieel gebruik van levende en dode delen van planten voor de productie van medicijnen
	Bioindicator	Gebruik van *Posidonia oceanica* als bio-indicator
Regulerings- en onderhoudsdiensten	Bemiddeling van afval, giftige stoffen en andere vervuilende stoffen	Waterzuivering door filtratie
		Vastlegging van voedingsstoffen en verontreinigingen door *Posidonia oceanica*
		Vastlegging van voedingsstoffen en verontreinigingen door organismen die in de weiden van *Posidonia oceanica* leven en door levende of dode organismen die aanwezig zijn in sedimenten die door zeegrasweiden zijn vastgehouden
		Vermindering van golfgeluid door de aanwezigheid van *Posidonia oceanica*-weiden en andere zeegrassen dicht bij de kust
	Bemiddeling van hydrodynamica	Bescherming tegen kusterosie door *Posidonia oceanica*-velden
		Afname van golf- en stroomenergie in de *Posidonia oceanica*-velden
	Behoud van fysische, chemische en biologische omstandigheden	Habitat voor veel soorten: leefgebied, kwekerij, paaizone, roofdierenbeschermingsgebied, jachtgebied, voedselbron
		Habitat voor beschermde soorten
		Beperking door *Posidonia oceanica* van de invasie van invasieve soorten zoals *Caulerpa taxifolia*
		Stabilisatie/consolidatie van de zeebodem en/of sedimentafzetting: matte vorming
		Toegenomen diversiteit aan fauna en micro-organismen en daardoor meer fysisch-chemische processen in het substraat
		Waterzuurstofvoorziening
		Nutriëntenrecirculatie
		Koolstofputten en opslag in planten, mat en vastgehouden slib
Culturele diensten	Fysieke en intellectuele interactie	Bezoek aan de prairies van *Posidonia oceanica*: snorkelen en booten met uitzicht onder water
		Sepievissen en hengelvissen op de prairies van *Posidonia oceanica*
		Onderzoeksonderwerp
		Onderwijsmogelijkheden
		Culturele en erfgoedwaarde
		Artistieke inspiratie: theater, schilderkunst, beeldhouwkunst
	Spirituele, symbolische en andere interacties	Emblematische soorten van de Middellandse Zee
		Waardering van bestaande wilde en charismatische soorten
		Bereidheid om te behouden voor toekomstige generaties

*Aangepast van Campagne et al., 2015. Het zeegras *Posidonia oceanica*: Identificatie van ecosysteemdiensten en economische evaluatie van goederen en voordelen. Mariene Vervuilingsbulletin 97: 391-400

B.
VERLIES VAN ZEEGRAS

Ondanks de hoge waarde van zeegras voor het milieu en de mensen, is er een **wereldwijde trend van zeegrasverlies gedocumenteerd.** Er wordt geschat dat ongeveer twintig procent van het wereldwijde zeegrasgebied sinds de 19e eeuw is verloren gegaan, terwijl de status van meer dan tweeëntwintig zeegrassoorten achteruitgaat. En deze trend zal naar verwachting zich voortzetten. Onvermijdelijk verminderen wereldwijde verliezen van zeegrasgebieden de goederen en diensten die ze aan mensen leveren.

In het bijzonder werd in alle zeven bioregio's een algemeen traject van de afname van zeegras gerapporteerd, met een wereldwijd nettoverlies van 5602 km² (19,1% van het onderzochte graslandgebied) sinds 1880. De grootste netto-oppervlakteverlies vonden plaats in vier bioregio's, namelijk de tropische Atlantische oceaan, de noordelijke gematigde oostelijke Atlantische oceaan, de zuidelijke gematigde oceanen en de tropische Indo-Pacific, terwijl in sommige bioregio's trends recent zijn gestabiliseerd of omgekeerd (zie Tabel 6.2).

Wat betreft het Europese zeegrasgebied, werd tussen 1869 en 2016 een verlies van 1/3 gemeld door ziekte, verslechtering van de waterkwaliteit en kustontwikkeling, met een piek in 1869 en 2016 1970 en 1980. Sindsdien zijn de verliespercentages voor de meeste zeegrassoorten vertraagd, en snelgroeiende soorten zijn op sommige locaties hersteld.

Met name wat betreft de status van zeegrassoorten in de Europese kustwateren, worden de totale populaties van *Zostera marina*, *Zostera noltei* en *Posidonia oceanica* als afnemend beschouwd. In het bijzonder is een algemene daling van het gebied dat door *Zostera marina* wordt besproken van 1,4% per jaar gedocumenteerd. Deze soort is vooral afgenomen in ontwikkelde en dichtbevolkte gebieden van Europa en Noord-Amerika. *Zostera noltei* staat bekend om hun achteruitgang in de Zwarte, Kaspische en Aralzee. Wat betreft de kustwateren van het Verenigd Koninkrijk, waar twee soorten zeegras voorkomen (*Zostera marina* en *Zostera noltei*), is er bewijs van een catastrofale verlies. Minstens 44% van het zeegras in het VK is sinds 1936 verloren gegaan, 39% sinds de jaren tachtig. Echter, verliezen over langere periodes kunnen oplopen tot wel 92%.

Wat betreft *Posidonia oceanica* wordt geschat dat tussen de 13% en 50% van het gebied van deze zeegrassoort in de Middellandse Zee is verloren gegaan, en dat de resterende graslanden de scheutdichtheid mogelijk met 50% zijn afgenomen in de periode 1990 tot 2010 en meer gefragmenteerd zijn geworden.

Daarnaast wordt geschat dat ongeveer 6,9% van de potentiële vegetatie van *Posidonia oceanica* jaarlijks in de afgelopen 50 jaar is verloren.

Aan de andere kant wordt aangenomen dat de wereldwijde populatie van *Cymodocea nodosa* stabiel is. *Cymodocea nodosa* komt voor in kustgebieden, waar er is een hoog niveau van menselijke verstoring. Het is echter een relatief winterharde soort. Daarnaast wordt de totale populatie van *Halophila stipulacea*, een snelgroeiende soort, als stabiel of groeiend beschouwd. Wat betreft *Ruppia maritima* is de algemene populatietrend onbekend, maar het is zeer waarschijnlijk dat deze stabiel blijft.

Tabel 6.2

Netto verandering in het totale wereldwijde zeegrasareaal, uitgedrukt als % van het maximale totale oppervlaktegebied in elke bioregio en in het absolute gebied (km²)*

Bioregio	Netto verandering (%)	Netto verandering (km²)	Punt
Oostelijke Gematigde Noord-Atlantische Oceaan	−69.0	−420	1900–2016
Tropische Atlantische Oceaan	−32.3	−3301	1880–2013
Zuidelijke Gematigde Oceanen	−22.4	−326	1930–2013
Tropisch Indo-Pacific	−16.2	−96	1945–2016
Middellandse Zee	−9.9	−1477	1900–2012
Gematigde Noordelijke Stille Oceaan	0.6	6	1955–2013
Westelijk Gematigd Noord-Atlantisch gebied	2.3	11	1960–2015
Globaal	−19.1	−5602	1880–2016

* van Dunic, J.C., Brown, C.B., Connolly, R.M., Turschwell, M.P., Côté, I.M., 2021. Global Change Biologie, 27:4096–4109

C.
BEDREIGINGEN VOOR ZEEGRASECOSYSTEMEN

De achteruitgang van zeegrassen is te wijten aan de interactie tussen natuurlijke en door mensen veroorzaakte locatie-specifieke stressoren. **Natuurlijke bedreigingen** voor zeegrassen kunnen onder meer **geologische effecten** zijn, zoals verzakking of kustopheffing, die leidt tot het verlagen of verhogen van bedden tot suboptimale groeiomstandigheden, en **meteorologische effecten**, zoals grote stormen, die leiden tot ontworteling en ontworteling. erosie van het sedimentaire oppervlak. Natuurlijke bedreigingen kunnen ook **biologische effecten** omvatten, die deel kunnen uitmaken van de eigen processen van zeegrasweiden, zoals begrazing door zeeegels, vissen, schildpadden, sirenianen of ganzen. Daarnaast vormen ziekten een biologische impact die wijdverspreide effecten kan hebben, zoals de ziekte van *Zostera marina* veroorzaakt door een slijmerige schimmel.



Figuur 6.2

Menselijke bedreigingen voor zeegrasecosystemen (foto: Stavros Bachtsevanidis/Theodoros Kevrekidis)

Menselijke bedreigingen kunnen terrestrisch, marien of klimaatgerelateerd zijn en kunnen zeegrassen direct of indirect beïnvloeden. **De** belangrijkste **terrestrische bedreigingen** zijn industriële, agrarische en stedelijke afstroming, en kustontwikkeling (zie fig. 6.2 en Tabel 6.3), terwijl **maritieme bedreigingen** visserij en ongereguleerde nautische activiteiten, baggerwerk, invasieve soorten en aquacultuur omvatten (zie Fig. 6.2 en Tabel 6.4). **Klimaatgerelateerde bedreigingen** zijn onder andere stijgende lucht- en zeetemperaturen, stijgende zeespiegels, verzuring van de oceaan, verhoogde frequentie en intensiteit van extreme weersomstandigheden, en veranderende neerslagpatronen (zie Fig. 6.2 en Tabel 6.5).

Wat betreft zeegrassoorten in de Europese kustwateren, zijn er regio's waar *Zostera marina* grootschalig afneemt door schimmelziekte, uitputtingsziekte en ernstige vervuilingsdreigingen, evenals gebieden waar de soort volledig is verdwenen; er zijn echter ook gebieden waar geen afname is geweest en waar de populatie floreert. Lokale achteruitgangen van de *Zostera marina* zijn in veel regio' s waargenomen door verlies van watertransparantie als gevolg van sedimentatie, kustontwikkeling en verspillingsziekte. De nutriëntenbelasting door oppervlakteafstroming leidde ook tot enkele lokale achteruitgangen.

Wat betreft *Zostera noltei* werden lokale achteruitgangen in sommige regio's waargenomen door verlies van watertransparantie als gevolg van sedimentatie, kustontwikkeling en verspillingsziekte. *Zostera noltei* is ook gevoelig voor eutrofiëring en wordt sterk beïnvloed door verminderde lichtbeschikbaarheid.

Posidonia oceanica wordt bedreigd door troebelheid, trawlen en het ankeren van schepen. De bovengrens van de graslanden wordt beïnvloed door kustontwikkeling, waaronder stedelijke en haveninfrastructuur, versterking van de kustlijn en zandwinning. Vervuiling en eutrofiëring vormen bedreigingen voor de graslanden van *Posidonia oceanica* in veel kustgebieden. Invasieve algen zoals *Caulerpa taxifolia* en *Caulerpa racemosa* kunnen groeien in het zand en de rhizomen van *Posidonia oceanica*, wat de sedimentkwaliteit aantast en de achteruitgang van de prairie versnelt. Invasieve epifyten kunnen het voortbestaan van *Posidonia oceanica* bedreigen en de dichtheid en complexiteit van graslandgemeenschappen beïnvloeden. Klimaatverandering kan ook de graslanden van *Posidonia oceanica* bedreigen door opwarmend water, stijgende zeespiegels en extreme weersomstandigheden.

Cymodocea nodosa wordt lokaal bedreigd door mechanische schade veroorzaakt door trawlen en het ankeren van schepen, evenals door kustontwikkeling en eutrofiëring. In de Middellandse Zee wordt *Cymodocea nodosa* bedreigd door concurrentie met algensoorten zoals *Caulerpa taxifolia* en *Caulerpa racemosa*.

Bedreigingen voor *Halophila stipulacea* zijn onder andere verslechtering van de waterkwaliteit. Lokale bedreigingen hebben betrekking op kustontwikkeling, trawlenactiviteiten, baggeren en vervuiling.

Ruppia maritima is zeer tolerant voor verstoringen, waaronder eutrofiëring, troebelheid en zoutgehaltevariaties. Deze soort wordt lokaal bedreigd door verlies van leefgebied door industrialisatie, landbouw en kustlandaanwinning, omdat hij groeit in overgangsomgevingen tussen land en zee.

Tabel 6.3

Landbedreigingen voor zeegrasecosystemen*

Bedreigingen	Impact
Uitstroom uit agrarische, stedelijke en industriële gebieden	Afstroming van land draagt verontreinigingen, waaronder overtollige sedimenten, voedingsstoffen, pulsen met verminderde zoutgehalte en giftige stoffen (bijv. metalen, herbiciden) naar zeegrasweiden. Afstroming van land kan ook indirect zeegrasvelden beïnvloeden door meerdere habitatbehoeften te beïnvloeden via eutrofiëring. De effecten van afstroming van land kunnen verstrekkend zijn en langdurig, aangezien rivieren in staat zijn om verontreinigingen over honderden of zelfs duizenden kilometers te transporteren, en sedimenten in staat zijn om verontreinigingen lange tijd op te slaan. De effecten van landafvoer kunnen terugkerend zijn door sedimentresuspendering veroorzaakt door golfenergie, aangedreven door wind of vaartuigen, wat de lichtinfiltratie kan verminderen en opgeslagen voedingsstoffen of verontreinigingen kan vrijgeven.
Kustontwikkeling	De ontwikkeling van stedelijke/haveninfrastructuren kan, direct of indirect, het geschikte leefgebied voor zeegras verminderen. Landaanwinning maakt het mogelijk om stedelijke structuren te bouwen op (voormalige) zeegrashabitats, waardoor zeegras permanent en onomkeerbaar wordt verwijderd of van licht wordt beroofd. Dicht bij kust kunnen ze het leefgebied van zeegras beschaduwen of een fenomeen creëren dat 'kustcompressie' wordt genoemd, dat samenwerkt met zeespiegelstijging om het beschikbare leefgebied voor zeegrassen te verkleinen.

Tabel 6.4

Maritieme bedreigingen voor zeegrasecosystemen*

Bedreigingen	Impact
Baggeren	Dredging can cause direct physical damage to seagrass meadows. Dumping of dredge spoil can also smother seagrasses, while fine sediments re-suspension can affect seagrasses tens of kilometers from the dredge site.
Aquacultuur	Aquaculture structures can physically shade and displace seagrasses directly. They can also cause widespread indirect shading and stress due to increased turbidity, nutrients and contaminants or the introduction of exotic species and pathogens.
Navigatie	Direct physical damage to seagrasses can occur from boating, particularly from propellers and anchoring. Boating also have indirect effects, for instance long-term damage caused by oil spills originating from refuelling mishaps and accidents. Boating activity also creates wave energy, which can re-suspend sediments and reduce light penetration.
Vissen	Fishing, especially trawling often have acute, localized effects related to direct removal of seagrasses if not effectively regulated. Fishing also have indirect effects, such as long-term damage caused by oil spills originating from refueling mishaps and accidents. Fishing can alter the composition of animal species associated with seagrasses and also has the potential to alter grazing regimes, for instance, if predators are removed then prey species can thrive. This can directly result in reduced seagrass biomass through consumption by grazers.
Invasieve soorten	Invasieve soorten, vooral herbivoren, kunnen directe fysieke schade aan zeegrassen veroorzaken.

*Voornamelijk gebaseerd op Connolly et al., 2020. UNEP, Nairobi, pp. 36-47

Tabel 6.5

Klimaatgerelateerde bedreigingen voor zeegrasecosystemen

Bedreigingen	Impact
Stijgende zee- en luchttemperatuur	Een van de belangrijkste effecten van de stijging van de wereldwijde temperatuur op zeegrassen zal de verandering zijn van hun groeisnelheid en andere fysiologische functies. De verspreiding van zeegrassen zal veranderen als gevolg van verhoogde hittestress en veranderingen in seksuele voortplantingspatronen. Indirecte effecten van temperatuur kunnen veranderingen in de plantengemeenschap omvatten, als gevolg van verhoogde eutrofiëring en veranderingen in frequentie en intensiteit van extreme weersomstandigheden.
Zeespiegelstijging	De directe effecten van zeespiegelstijging op kustoceanen zullen een toename van de waterdiepte, veranderde getijdenvariatie, veranderde waterbeweging en een toename van zeewaterintratie in estuaria en rivieren zijn. Een van de belangrijkste gevolgen van al deze veranderingen voor zeegras zal de herverdeling van bestaande habitats zijn.
Oceaanverzuring	Hoge niveaus van opgelost CO2 in zeewater, in combinatie met opwarmend zeewater, kunnen de plantprestaties en productiviteit verminderen, wat waarschijnlijk een metabole disbalans veroorzaakt.
Verhoogde frequentie en intensiteit van extreme weersomstandigheden	Extreme stormen en bijbehorende winden, getijdenstromen en sedimentbewegingen kunnen zeegrasscheuten begraven, wortels en wortels blootleggen en zelfs hele planten ontwortelen, wat leidt tot plotselinge verlies van zeegrasbedekking.
Veranderingen in neerslagpatronen	Extreme neerslaggebeurtenissen die samenhangen met cyclonen kunnen de verontreinigingslading verhogen, wat leidt tot een lage watertransparantie en lichtbeschikbaarheid, terwijl droogtes het zoutgehalte in het water kunnen verhogen en een bedreiging vormen voor sommige zeegrassoorten.

D.
ZEEGRAS BEHOUD EN BESCHERMING

Zeegrassen staan niet centraal in het beheerbeleid en de strategieën. In het bijzonder hebben slechts enkele landen specifieke plannen ontwikkeld voor de bescherming van zeegrasecosystemen, terwijl slechts een kwart van het geregistreerde gebied binnen mariene beschermde gebieden valt. Het **beheer**, **behoud** en **herstel** van zeegrasweiden kunnen echter hun verliezen terugdraaien. Daarom is er een dringende behoefte om effectieve wetgeving, beleid en beheersplannen te ontwikkelen en uit te voeren. Het is ook belangrijk dat de implementatie van effectieve maatregelen voor het behoud van zeegras nationale regeringen kan helpen om veel internationale milieubeleidsverplichtingen na te komen, zoals de Duurzame Ontwikkelingsdoelen van de Verenigde Naties (SDG's), het Decennium van de Verenigde Naties voor Oceaanwetenschap voor Duurzame Ontwikkeling, het VN-decennium voor Ecosystemenherstel. het Verdrag inzake Biologische Diversiteit en het Ramsar-verdrag inzake wetlands.

Wat betreft het behoud van zeegras in Europa **nemen** monitoringsinspanningen **toe**, waaronder het systematisch verzamelen van ecologische gegevens op een gestandaardiseerde manier en met regelmatige tussenpozen over de tijd, maar blijven ze variabel of afwezig in sommige landen.

Evenzo wordt **gebiedsmapping** zeegrasweiden zijn in veel Europese landen behoorlijk tekort. **Zeegrasbeheerplannen** bestaan slechts in enkele Europese landen, en in de meeste gevallen hebben deze plann niet strikt betrekking op zeegrasecosystemen. In andere regio's bevatten beheerplannen één soort zeegras, bijvoorbeeld *Posidonia oceanica*, of worden ze voorbereid.

Zeegrassoorten en hun leefgebieden in Europa worden op verschillende niveaus beschermd, van **internationale verdragen en richtlijnen** tot **nationale en regionale regelgeving**. De wetgevende instrumenten op internationaal en Europees niveau zijn het Berner Verdrag (bescherming van zeegrassoorten), het OSPAR-verdrag (bescherming van drie Europese zeegrassen aan de Atlantische kusten – *Zostera marina*, *Zostera noltei*, *Cymodocea nodosa*), het Barcelona-verdrag (indirecte bescherming van middellandse zeegrashabitats), het Ramsar-verdrag (indirecte bescherming van zeegrashabitats) en het Richtlijnen en beleid van de Europese Unie (Habitatrichtlijn, Waterkaderrichtlijn, Maritieme Strategie Kaderrichtlijn, Gemeenschappelijk Visserijbeleid). Internationale en Europese wetgeving ter bescherming van *Posidonia oceanica* wordt gepresenteerd in Tabel 6.6.

Tabel 6.6

Internationale en Europese wetgeving ter bescherming van *Posidonia oceanica**

Internationaal niveau	
Ramsarconventie	Het Ramsar-verdrag (1975) heeft als doel 'gebieden van moerassen, heidevelden, natuur- of kunstmatige, permanente of tijdelijke, met stilstaand of stromend water, zoet, brak of zout, te behouden, inclusief watergebieden waarvan de diepte bij eb niet meer dan zes meter bedraagt'. De bovenste graslanden van *Posidonia oceanica* kunnen bedekt zijn.
Berner Conventie	Het Berner Verdrag (Verdrag inzake het behoud van Europese dieren en natuurlijke habitats) werd in 1979 ondertekend en in 1996 bijgewerkt om mariene soorten zoals *Posidonia oceanica*, *Zostera marina* en *Cymodocea nodosa* op te nemen. Deze soorten worden als beschermd noodzakelijk beschouwd. Volgens artikel 4 zullen de Verdragende Partijen passende en noodzakelijke wetgevende en administratieve maatregelen nemen om het behoud van habitats te waarborgen, de achteruitgang van dergelijke gebieden zoveel mogelijk te voorkomen of minimaliseren, en hun inspanningen coördineren wanneer ze zich in grensgebieden bevinden.
Barcelonaconventie	Het Verdrag van Barcelona, ondertekend in 1976 en bijgewerkt in 1995, is het verdrag ter bescherming van het mariene milieu en de kustregio van de Middellandse Zee. Het juridische instrument is het Middellandse Zee-actieplan (MAP), vergezeld van het Protocol inzake Speciaal Beschermde Gebieden en Biologische Diversiteit in de Middellandse Zee. Het protocol bestaat uit 3 bijlagen. Bijlage 2 betreft een lijst van bedreigde of bedreigde soorten, waaronder *Posidonia oceanica*.
Europees niveau	
De Habitatrichtlijn van 21 mei 1992	Het vormt de juridische basis voor het behoud van de natuurlijke habitats van wilde fauna en flora en voor het behoud van biodiversiteit in de hele EU. De Richtlijn heeft 6 bijlagen: Bijlage 1 identificeert natuurlijke habitattypen waarvan het behoud de aanwijzing van Speciale Beschermingsgebieden (SAC's) vereist. In dat bijgebouw verschijnt het habitat van *Posidonia oceanica*, dat eveneens als prioriteitshabitat is geclassificeerd (1120).
De Waterraamrichtlijn (WFD, 2000) en de Maritieme Strategie Kaderrichtlijn (MSFD, 2008)	Deze richtlijnen ondersteunen het behoud van *Posidonia oceanica* door het doel de Goede Milieustatus (GES) van alle EU-zeewateren te bereiken of te behouden. *Posidonia oceanica* wordt over het algemeen gebruikt als indicator van de milieustatus.
Het Gemeenschappelijk Visserijbeleid (VVV)	Het beschermt ook de velden van *Posidonia oceanica*. Het gebruik van uitrusting die tot dieptes van meer dan 50 meter wordt gesleept (wat indirecte bescherming van *Posidonia oceanica* betekent, die tot een diepte van 45 meter groeit) is verboden en, meer specifiek, 'vissen met trawlen, baggers, ringseinen, bootseinen, kustseinen of vergelijkbare netten boven zeegrasvelden'. in het bijzonder *Posidonia oceanica*' (Raad van de Europese Unie, 2006).

*Aangepast van https://medposidonianetwork.com/conservation-status/

Daarnaast hebben verschillende Europese landen **nationale regelgeving** beschreven die in de meeste gevallen de Bern- en Barcelonaconventies en de Habitat- en Waterraamrichtlijnen omvatten. Naast bovenstaande regelgeving dragen **indirecte maatregelen en wetgeving**, zoals die over het gebruik van visgerei en de uitvoering van aquacultuurpraktijken, aanzienlijk bij aan de bescherming van zeegrassen. Daarnaast zijn belangrijke zeegraslocaties in de kustwateren van Europa beschermd als **mariene beschermde gebieden**, waaronder Ramsar-locaties. Toch wordt de uitvoering, ondanks de bestaande wetgeving, als vrij variabel en zwak beschouwd.

Herstel van zeegras kan bestaan uit het verbeteren van de omstandigheden voor zeegras om in een gebied te groeien, zoals het verbeteren van de watertransparantie, of het direct zaaien van zeegras of zeegrassen transplantaties. Er zijn verschillende pogingen gedaan om zeegrassen in Europa terug te vinden, met name met betrekking tot soorten van het geslacht *Zostera*. De meeste van deze pogingen werden echter beschreven als experimenteel, in een vroeg stadium om hun succes te bepalen, of met 'onvoldoende' of 'zeer onvoldoende' succes.

In het algemeen is gesuggereerd dat er meer gecoördineerde inspanningen nodig zijn, tussen en binnen Europese landen, voor de uitvoering van effectieve maatregelen voor het beheer van zeegras en het behoud. Er werd ook gesuggereerd dat deze inspanningen de ontwikkeling van een gemeenschappelijk juridisch kader ter bescherming van zeegrasweiden, de opname van zeegrasweiden in mariene beschermde gebieden kunnen omvatten, evenals een vergelijkbaar langdurig wetenschappelijk monitoringsnetwerk van zeegrasweiden en samenwerking tussen wetenschappers, beheerders en de samenleving.

E.
ONDERWIJS, PUBLIEKE BEWUSTWORDING, VERANTWOORD MILIEUGEDRAG

Zeegrasweiden zijn **vitale** maar **ondergewaardeerde mariene ecosystemen**. De samenleving is grotendeels onbewust van zeegrassen en hun belang. Er zijn meldingen dat veel mensen nog nooit van zeegrassen hebben gehoord of dat ze deze verwarren met macroalgen (zeewier). Evenzo lijkt het erop dat de erkenning van zeegrassen door de samenleving bijzonder beperkt is wanneer mensen geen directe ervaring hebben met deze ecosystemen of wanneer de diensten die zij aan mensen leveren indirect zijn, bijvoorbeeld ondersteuning van visserijproductie.

Aan de andere kant lijkt het erop dat het belang van zeegrassen hoog wordt erkend in lokale gemeenschappen waarvan het levensonderhoud van deze planten afhangt.

Er is meer erkenning **van de waarde van zeegrassen nodig om druk uit te oefenen op besluitvormers en beleidsmakers om deze waardevolle ecosystemen te beschermen. Het publieke bewustzijn van** zeegrassen (fig. 6.3) wordt erkend als cruciaal voor een duurzame toekomst van deze belangrijke soorten mariene



Figuur 6.3

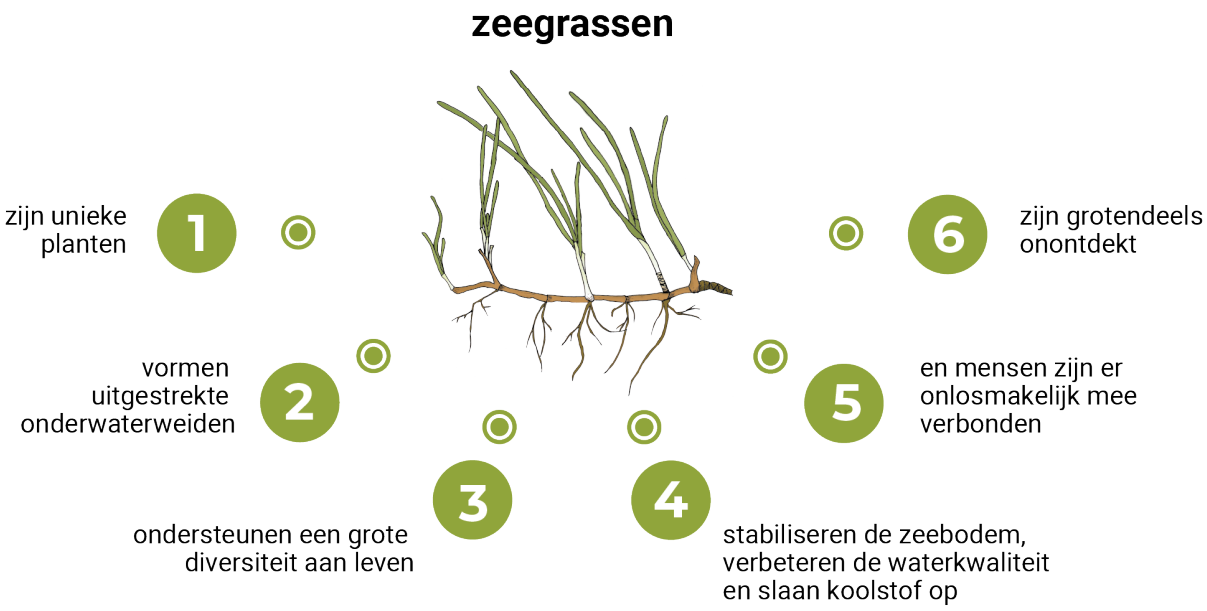
Publieke activiteiten voor zeegras op Kastellorizo-eiland, Griekenland
(fotocredit: Ifigeneia Tepeģdi/Helleense Stichting voor Onderzoek en Innovatie)

ecosystemen. Vrijwilligersgebaseerde zeegras-monitoringsprogramma's, die doorgaans outreach-initiatieven naar het grote publiek en interacties met beheerders omvatten, kunnen het bewustzijn over zeegrassen vergroten.

Het bovenstaande benadrukt de noodzaak om een samenleving te creëren met **kennis over zeegrassen**, die in staat is weloverwogen en verantwoordelijke beslissingen te nemen over hun duurzaamheid. Om dit doel te bereiken moet worden bepaald welke kennis een **burger** moet bezitten om geïnformeerd te zijn **over zeegrassen**. Daartoe werden de **Principes en Concepten voor Zeegras vastgesteld**, in de bredere context van Ocean Literacy. Specifiek werden zes essentiële principes geïdentificeerd, elk ondersteund door een set fundamentele concepten, wat resulteert in een totaal van 31 concepten. Deze Principes en Concepten behandelen kernkwesties met betrekking tot de biologie van zeegrassen (Principes 1-4), hun waarde (Principes 3-5), hun verlies en bescherming (Principe 5), en wetenschappelijk onderzoek naar deze zeeplanten (Principe 6) (Fig. 6.4).

De Principes en Concepten over Zeegras kunnen dienen als gids voor wetenschappers, beleidsmakers en besluitvormers, milieu-niet-gouvernementele organisaties en de sector van de blauwe economie. Echter, in de eerste plaats kunnen deze Principes en Concepten worden gebruikt

PRINCIPES VAN ZEEGRASSEN



Figuur 6.4

De zes essentiële principes van zeegras
(volgens Apostoloumi, C., Malea, P., Kevrekidis, T., 2021. Bulletin over Mariene Vervuiling 173, 112936)



Figuur 6.5

Studentenbetrokkenheid bij zeegrasgerichte activiteiten op Kastellorizo-eiland, Griekenland (fotocredit: Ifigeneia Tepeidi/Hellenic Foundation for Research and Innovation)

voor educatieve doeleinden, zowel in de context van formeel als niet-formeel onderwijs.

In het bijzonder zouden ze geïntegreerd kunnen worden in het curriculum van basis- en voortgezet onderwijs, leerboeken en onderwijspraktijken (Fig. 6.5).

Het begrijpen van de waarde van zeegrassen voor het milieu en de mensen, evenals de gevolgen van hun verlies, is cruciaal voor uw **bescherming** en **behoud**. De volgende stap is actie ondernemen tegen zeegrassen. **Iedereen is verantwoordelijk voor de gezondheid van zeegrassen**. Zeegrassen zijn unieke planten die een grote diversiteit aan leven ondersteunen en mensen moeten op een manier leven die ze behoudt. Individuele **en collectieve actie is nodig** om zeegrassen effectief te beheren ten behoeve van iedereen.

B5.7
ZEEGRASSEN ZIJN GROTENDEELS ONONTDEKT

Theodoros Kevrekidis
Democritus Universiteit van Thracië, Griekenland

Paraskevi Malea
Aristoteles Universiteit van Thessaloniki, Griekenland

B5.7.1 PRINCIPE VAN ZEEGRASGELETTERDHEID 6: ZEEGRAS ZIJN GROTENDEELS ONONTGONNEN

B5.7.2
FUNDAMENTELE CONCEPTEN

a. Zeegras-ecosystemen zijn grotendeels onontdekt. Hoewel onze kennis van zeegrassen in de afgelopen eeuw aanzienlijk is verbeterd, blijven er grote kennisgaten bestaan. De exploitatie van zeegrassen biedt mogelijkheden voor onderzoek en studie.

b. Het begrijpen van zeegrassen is meer dan alleen nieuwsgierigheid. Er is voortdurend onderzoek nodig om zeegrassystemen beter te begrijpen. Het in kaart brengen en monitoren van de omvang en conditie van zeegrassen is een belangrijk onderzoeksgebied.

c. De totale omvang van zeegrasweiden neemt in een zorgwekkend tempo af. De toekomstige duurzaamheid van deze ecosystemen hangt af van ons begrip van zeegrassen en hun interacties met het milieu.

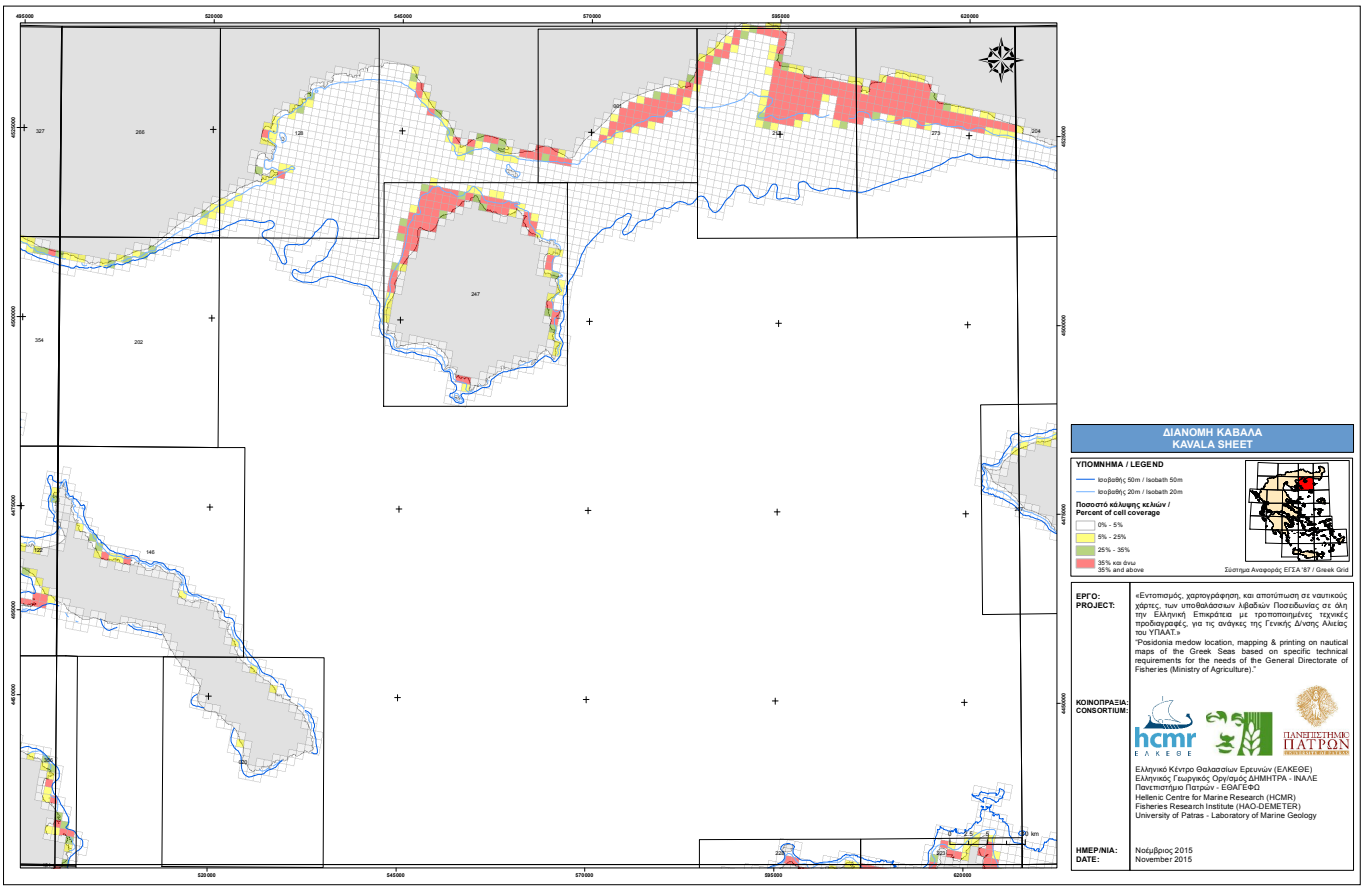
d. Nieuwe methoden en technologieën, evenals wiskundige modellen, vergroten ons vermogen om zeegrasgegevens te verzamelen, analyseren en interpreteren. Wetenschappers maken steeds vaker gebruik van remote sensing-instrumenten, zoals satellieten, drones en multibeam-echosonars, om zeegrassen in kaart te brengen en te monitoren.

e. Zeegrasonderzoek is interdisciplinair. Het vereist nauwe samenwerking tussen onderzoekers uit vele verschillende vakgebieden, waaronder biologen, chemici, natuurkundigen, geologen, meteorologen, klimatologen, informatici, ingenieurs, sociologen en economen.

B5.7.3
KENNIS

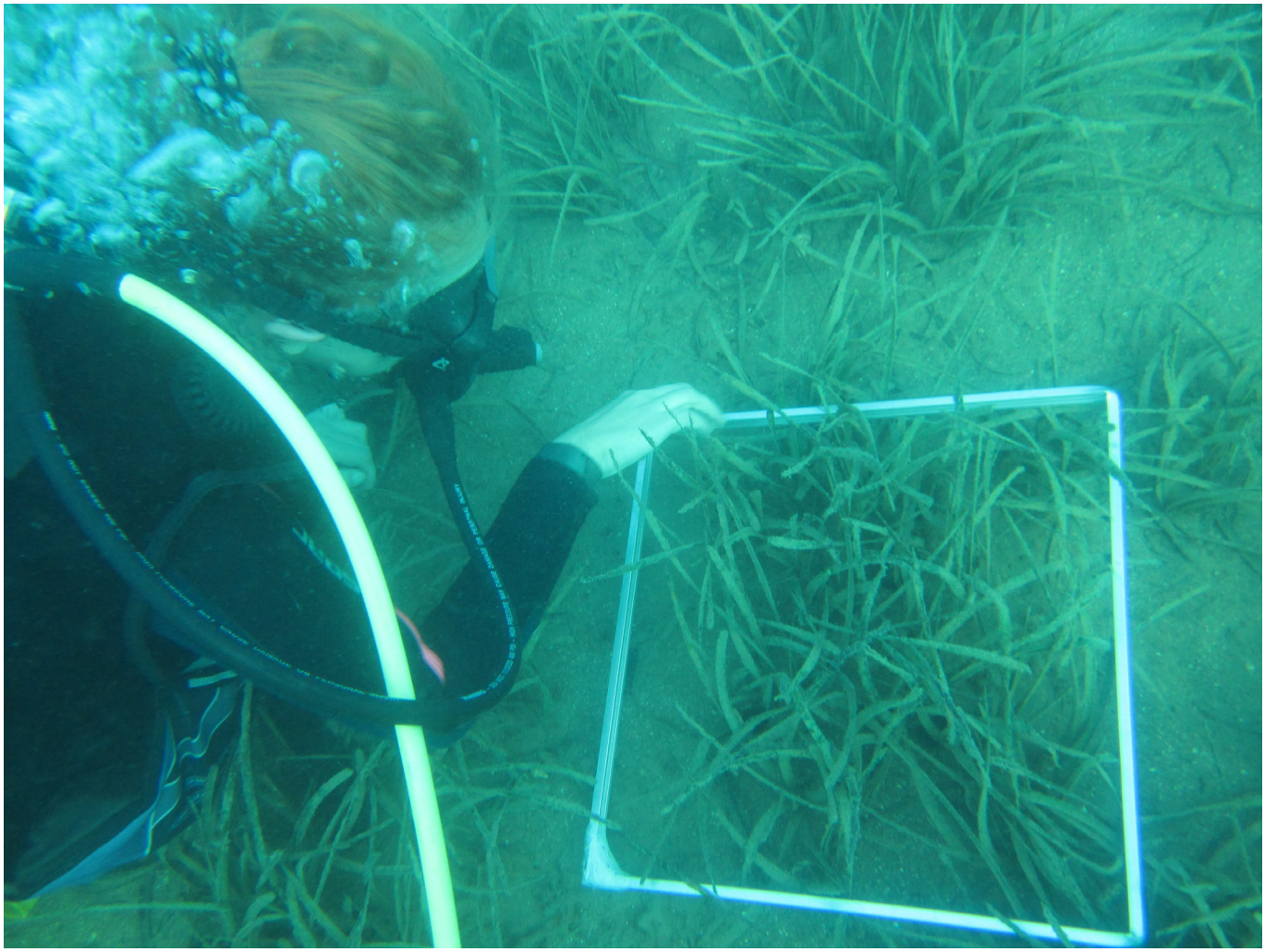
Zeegras-ecosystemen zijn grotendeels onontdekt. Daarom biedt de exploitatie van zeegrassen mogelijkheden voor onderzoek en studie. Mensen verkennen zeegras via veel verschillende carrières en hobby's. Wetenschappers, vissers, zwemmers, fotografen, filmmakers, kunstenaars en ontdekkingsreizigers besteden tijd aan het verkennen van zeegrasen. Het begrijpen van zeegrassystemen is echter meer dan slechts een kwestie van nieuwsgierigheid. Zoals eerder vermeld, neemt de wereldwijde verspreiding van zeegrassen in een alarmerend tempo af. In deze context hangt de toekomstige duurzaamheid van deze ecosystemen af van onze begrip van zeegrassen en hun interacties met de omgeving. In het bijzonder vereist effectief conservering, herstel en beheer van zeegrassen een grondig begrip van deze systemen.

De kennis over zeegrassen is aanzienlijk uitgebreid in de huidige eeuw, een periode waarin onderzoek naar zeegrassen snel vooruitgang boekte. Deze vooruitgang is gedreven door methodologische en technologische vooruitgang, waaronder vooruitgang in remote sensing-technieken en computermodelleringen statistische



Figuur 7.1

Kaartlegging van de graslanden van *Posidonia oceanica* in de kustwateren van Oost-Macedonië en Thracië, in de noordelijke Egeïsche Zee, Griekenland (Helleens Marien Onderzoekscentrum, Visserijonderzoeksinstituut, Universiteit van Patras - Marien Geologielaboratorium)



Figuur 7.2

Posidonia oceanica-bemonstering en veldmonitoring geven informatie over de gezondheidstoestand van graslanden; er worden gegevens verzameld over verschillende graslandvariabelen, waaronder scheutdichtheid, blad- en wortelbedekking, biomassa, enzovoort (Thracische kustwateren, noordelijke Egeïsche Zee, Griekenland; beeldcredit: Stavros Bachtsevanidis/Paraskevi Malea)

analyses. Toch blijven er aanzienlijke hiaten in onze kennis van zeegrassen. Er is voortdurend onderzoek nodig om zeegrassystemen beter te begrijpen. Verschillende kwesties uit een breed scala aan zeegrasonderzoeksvelden zijn geïdentificeerd als prioriteiten voor toekomstig onderzoek. Kaartlegging en monitoring van de omvang en status van zeegras (fig. 7.1 en 7.2), evenals kwesties met betrekking tot het beheer en herstel van zeegras, zijn opgenomen in deze prioriteiten.

Nieuwe methoden en technologieën, evenals wiskundige modellen, breiden onze mogelijkheden uit om Verzamel, analyser en interpreteer zeegrasgegevens. Wetenschappers maken steeds vaker gebruik van remote sensing-instrumenten, zoals satellieten, drones en multibeam-echosoners, om zeegrassen in kaart te brengen en te monitoren. In deze context zijn interdisciplinaire onderzoeksbenaderingen nodig om zeegrasecosystemen beter te begrijpen. Daarom vereist zeegrasonderzoek nauwe samenwerking tussen onderzoekers uit vele verschillende vakgebieden, waaronder biologen, chemici, natuurkundigen, geologen, meteorologen, klimatologen, informatici, ingenieurs, sociologen en economen.

WOORDENLIJST

Biomassa

Het totale gewicht of hoeveelheid levende organismen van een soort (soortbiomassa) of van alle soorten in een gemeenschap (gemeenschapsbiomassa), meestal aangeduid als een eenheid van oppervlakte of volume habitat.

Biotische gemeenschap

(of simpelweg "gemeenschap") Een reeks verschillende soorten levende organismen die met elkaar interageren in een specifieke mariene omgeving.

Blauwe Koolstof

Koolstof wordt opgeslagen in de sedimenten van kustecosystemen, waaronder zeegrasweiden, mangrovebossen en zoutmoerassen, terwijl het in zee wordt opgeslagen.

Blauwe koolstofecosystemen

Het zijn kust- en mariene habitats, zoals zeegrasweiden, mangroven en moerassen, die een cruciale rol spelen bij het opvangen en opslaan van koolstofdioxide in de atmosfeer. Deze ecosystemen zijn belangrijke koolstofputten, wat betekent dat ze meer koolstof opnemen dan ze vrijgeven, en hun behoud en herstel zijn essentieel om klimaatverandering te beperken.

Brakwater

Een mengsel van zoet en zout water, met een zoutgehalte tussen dat van zoetwater (meestal minder dan 0,5) en dat van zeewater (ongeveer 35). In het bijzonder kan het zoutgehalte van brak water variëren tussen 0,5 en 30. Brak water komt veel voor in gebieden waar zoetwaterbronnen, zoals rivieren, samenkomen met zoutwaterbronnen, zoals oceanen en estuaria.

Climax Gemeenschap

Een ecologische gemeenschap waarin planten- of dierpopulaties stabiel blijven en in balans leven met elkaar en met hun omgeving. Een climaxgemeenschap is de laatste fase van **ecologische successie**, die relatief onveranderd blijft totdat deze wordt vernietigd door een gebeurtenis of menselijke inmenging.

Koude fonteinen

Een diepzeeomgeving vol energierijke chemicaliën. Koude bronnen ontstaan in scheuren of spleten in de zeebodem, veroorzaakt door de beweging van de tektonische platen van de aarde. De omgeving van hydrothermale bronnen en koude bronnen verschilt qua temperatuur en levensduur. In tegenstelling tot de chemische verbindingen in hydrothermale bronnen, hebben koude bronnen een temperatuur die vergelijkbaar is met die van het omringende water. Ook hebben hydrothermale bronnen een relatief korte duur, terwijl koude bronnen langdurig zijn. Wormen die in koude bronnen leven behoren tot de langstlevende ongewervelden ter wereld.

Corioliseffect

De afwijking van een object door de Corioliskracht.

Corioliskracht

De afbuiging die wordt opgelegd aan bewegende watermassa's door de rotatie van de aarde rond haar as. De afbuiging is naar rechts op het noordelijk halfrond en naar links op het zuidelijk halfrond.

Puin

Dode deeltjes organisch materiaal, zoals rottend plantaardig en dierlijk materiaal.

Ecologische successie

Het is het proces waarbij de samenstelling van soorten en habitat in een gebied in de loop van de tijd verandert. Geleidelijk vervangen deze gemeenschappen elkaar totdat een "climaxgemeenschap" wordt bereikt of totdat er een verstoring optreedt.

Epifauna

Benthische organismen die op het oppervlak van het substraat leven of zich erop bewegen.

Epifyt

Een plant of plantachtig organisme dat op het oppervlak van een andere plant groeit.

Eutrofiëring

Het is een staat van overmatige groei van algen en planten, veroorzaakt door de aanwezigheid van voedingsstoffen in het water, voornamelijk stikstof en fosfor.

Voedselketen

Een reeks stappen waardoor energie van het ene trofische niveau naar het volgende gaat.

Voedselweb

Systeem van onderling verbonden voedselketens.

Zoet water

Water dat verschilt van zeewater, gekenmerkt door een lage concentratie opgeloste zouten (zoutgehalte meestal minder dan 0,5) en voornamelijk voorkomt in rivieren, meren en ondergrondse aquifers.

Wereldwijde klimaatverandering

Het bestaat uit verstrekkende veranderingen in gemiddelde temperatuur, neerslagpatronen en andere klimatologische factoren, als gevolg van verhoogde concentraties broeikasgassen zoals kooldioxide. Deze gassen komen vrij bij het verbranden van fossiele brandstoffen, een praktijk die sinds het begin van de industriële revolutie eind 18e eeuw sterk is toegenomen. Broeikasgassen voorkomen dat warmte nabij het aardoppervlak de ruimte in ontsnapt, waardoor een toename van hun concentratie leidt tot een toename van vastgehouden warmte. Dus hoe hoger de concentratie, hoe meer warmte wordt vastgehouden.

Hydrothermale bronnen

Ze ontstaan wanneer warm water en gassen van de ondergrond van de zeebodem zich mengen met water en gassen uit de bovenliggende oceaan. Hydrothermale bronnen worden typisch op de zeebodem gevonden langs midden-oceaanruggen, waar mantelmagma nauw in contact komt met oceanische korst door plaattektoniek door zeebodemexpansie. Diepzeehydrothermale bronnen ondersteunen rijke ecosystemen die dichte ophopingen van dieren kunnen bevatten, zoals garnalen en buiswormen.

Hyperzout water

Water met een zoutgehalte dat significant hoger is dan normaal zeewater (35). Specifiek heeft hyperzout water een zoutgehalte van meer dan 40. Hypersaline wateromgevingen worden meestal gevonden in wateren zonder verbinding met de zee, zoals zoutmeren en hypersaline lagunes.

Interstitiële wateren

Dit zijn waterige oplossingen die de poreuze ruimtes tussen deeltjes in sedimenten en gesteenten bezetten.

Getijdenzone

(of **kustzone**) Het kustgebied gelegen tussen de uitersten van hoogtij en laagtij en dat de overgangszone vormt tussen het mariene milieu en het terrestrische milieu.

Laminaria-bos

Laminaria's zijn een type bruine macroalgen. Wanneer veel laminaria samen groeien in dichte groepjes over een groot gebied, vormen ze een laminariabos. Over het algemeen worden laminaria gevonden in gematigde en poolgebieden van kustwateren over de hele wereld en groeien ze op rotsachtige zeebodems op dieptes tussen 15 en 40 meter, waarbij sommige soorten op grotere diepten groeien. Zeewierbossen zijn de thuisbasis van een grote diversiteit aan planten en dieren.

Marien leefgebied

De specifieke omgeving in de oceaan waar mariene organismen leven, gedijen en zich voortplanten.

Monocots

Een van de twee divisies van angiospermen (monocots en dicots). Monocots zijn bloemplanten waarvan de zaden slechts een embryonaal blad, of cotyledon, bevatten. Monocots contrasteren met dicots, die twee cotyledonen hebben.

Netto productie

Hoeveelheid totale productie die overblijft na ademhalingsverlies.

Nutriëntencycli

Het zijn natuurlijke processen waarbij essentiële elementen circuleren tussen de biotische en abiotische delen van een ecosysteem. Voedingscycli houden de essentiële elementen beschikbaar voor planten en andere organismen.

Oceaanverzuring

is de continue daling van de pH van de oceanen op aarde, veroorzaakt door de opname van overtollig kooldioxide in de atmosfeer. Dit proces heeft aanzienlijke gevolgen voor het zeeleven, met name voor organismen die schelpen en skeletten bouwen uit calciumcarbonaat, zoals planktonische organismen, koralen en weekdieren.

Kleuring

Klein gebied van [iets].

Primaire productie

De energie die wordt opgevangen door de producenten van een ecosysteem.

Producent

Een organisme dat zijn eigen voedsel produceert met energie en niet-biologische grondstoffen uit het milieu.

Protisten

Een diverse groep eukaryote organismen, waarvan de cellen een kern en andere complexe structuren bevatten. Het zijn geen planten, dieren of schimmels, en ze hebben een grote verscheidenheid aan organisaties; De meeste zijn eencellig, maar sommige zijn meercellig.

Zoutgehalte

De totale hoeveelheid opgeloste zouten die in het water aanwezig is. De gemiddelde zoutgehalte van zeewater is ongeveer 35, wat betekent dat er voor elke liter zeewater ongeveer 35 gram opgeloste zouten zijn.

Secundaire productiviteit

Het is de snelheid waarmee consumenten de chemische energie in hun voedsel omzetten in biomassa.

Tiller

Er blijft meer wortels, horizontaal of verticaal.

Substraat

Het materiaal dat de zeebodem vormt. Het substraat kan worden geclassificeerd als **hard substraat**, dat bestaat uit rotsen, riffen en zelfs kunstmatige structuren zoals dijken, of **zacht substraat**, dat sedimenten zoals zand, slib en modder bevat.

Stalk

Het hele lichaam van een onbeweeglijk meercellig organisme, waarin weefsels in organen niet worden georganiseerd.

Ontsluiting

Een proces waarbij stromingen koud water van de diepten naar het oceaanoppervlak brengen. De opwelling of opwelling is het resultaat van de winden en de rotatie van de aarde. De winden die over het oceaanoppervlak waaien, duwen het water weg. Het water stijgt vervolgens onder het oppervlak om het water te vervangen dat is weggeperst. Het water dat door de opwelling naar het oppervlak stijgt, is meestal koeler en rijk aan voedingsstoffen. Opwelling vindt plaats in de open zee en langs de kusten.

Transparantie

Het is een maat voor de diepte waartoe licht een waterlichaam kan doordringen.

VERDERE LITERATUUR

A1
BEHOUD EN DUURZAAM GEBRUIK VAN DE OCEANEN

Bassan, N., Flamand, A., Clausen, A., 2025. Developing the ambition for action in the Ocean Decade to 2030. *ICES Journal of Marine Science*, 82(1), fsae195. Cuyvers L, Berry W, Gjerde K, et al. 2018. Deep Sea¬bed Mining, a Rising Environmental Challenge. IUCN; 2018.

Ercolano, G., De Cicco, P., Ianaro, A., 2019. New drugs from the sea: Pro-apoptotic activity of sponges and algae derived compounds. *Marine Drugs*, 17(1): 31.

Gómez, S., Garriga, A., Bosch, M. T., Bosch, M., Villasante, S., Salazar, J., 2025. Ocean literacy in managing marine protected areas: bridging natural and cultural heritage. *Frontiers in Marine Science*, 12, 1540163.

Guan, S., Qu, F., Qiao, F., 2023. United Nations Decade of Ocean Science for Sustainable Development (2021-2030): From innovation of ocean science to science-based ocean governance. *Frontiers in Marine Science*, 9, 1091598.

IPCC (Intergovernmental Panel on Climate Change), 2019. Special Report on the ocean and cryosphere in a changing climate. *Geneva, Switzerland: IPCC*. Available at: https://www.ipcc.ch/ srocc/

Kelly, R., Francis, P., Shellock, R. J., Andrews, S., Arthur, B., Birkmanis, C. A. et al., 2025. Ocean Literacy for Ocean Sustainability: Reflections From Australia. *Ocean and Society*, 2.

Lakshmi, A., 2021. Coastal ecosystem services & human wellbeing. *Indian Journal of Medical Research*, 153(3), 382-387.

Landrigan, J., Stegeman, J. J., Fleming, L. E., Allemand, D., Anderson, D. M., Backer, L. C., et al. 2020. Human health and ocean pollution. *Annals of Global Health* 86, 1–64.

Lothian, S., Haas, B., 2024. The Outliers: Stories of Success in Implementing Sustainable Development Goal 14. *Ocean and Society*, 1.

Martínez M.L., Intralawan A, Vázquez G, Pérez-Maqueo, O., Sutton, P., Landgrave, R., 2007. The coasts of our world: Ecological, economic and social importance. *Ecological Economics* 63(2–3): 254–272.

A1
BEHOUD EN DUURZAAM GEBRUIK VAN DE OCEANEN

Shellock, R. J., Fullbrook, L., McKinley, E., Cvitanovic, C., Kelly, R., & Martin, V. (2024). The nature and use of Ocean Literacy in achieving sustainable ocean futures: A Systematic Map. *Ocean and Coastal Management*, 257, 107325.

UNESCO-IOC, 2021. The United Nations Decade of Ocean Science for Sustainable Development (2021-2030) Implementation plan – Summary. *Paris, UNESCO*. (*IOC Ocean Decade Series*, 19). Available at: https://www.oceandecade.org/decade-publications/

United Nations, 2018. The Sustainable Development Goals. *Report 2018*.

Ward, D., Melbourne-Thomas, J., Pecl, G. T., Evans, K., Green, M., McCormack, P. C. et al., 2022. Safeguarding marine life: conservation of biodiversity and ecosystems. *Reviews in fish biology and fisheries*, 32(1), 65-100.

Wheeler, B., White, M.P., Fleming, L.E., Taylor, T., Harvey, A.J., Depledge, M.H., 2014. Influences of the oceans on human health and well-being. In: Bowen, R.E., Depledge, M.H., Carlane, C.P., Fleming, L.E., (Eds.) *Oceans and Human Health: Implications for Society and Well-Being. Chichester, John Wiley & Sons*, Ltd, 4-22, 304pp.

Whitmee, S., Haines, A., Beyrer, C., Boltz, F., Capon, A. G., de Souza Dias, B. F., Ezeh, A., Frumkin, H., Gong, P., Head, P., Horton, R., 2015. Safeguarding human health in the Anthropocene epoch: Report of The Rockefeller Foundation–Lancet Commission on planetary health. *The Lancet*, 386(10007), 1973–2028.

A2
DE GESCHIEDENIS VAN MARITIEME GELETTERDHEID EN HAAR PRINCIPES

Apostoloumi, C., Malea, P., Kevrekidis, T., 2021. Principles and concepts about seagrasses: Towards a sustainable future for seagrass ecosystems. *Marine Pollution Bulletin*, 173, 112936.

Brennan, C., Ashley, M., & Molloy, O., 2019. A system dynamics approach to increasing ocean literacy. Frontiers in *Marine Science*, 6, 360. https://doi.org/10.3389/fmars.2019.00360

Cava, F., Schoedinger, S., Strang, C., Tuddenham, P., 2005. Science content and standards for ocean literacy: A report on ocean literacy.

Činčera, J., Johnson, B., 2015. Examining the relationship between environmental attitudes and behaviour in education programmes. *Sociální Studia*, 12(3), 97–111. https://doi.org/10.5817/SOC2015-3-97

McKinley, E., Burdon, D., Shellock, R. J., 2023. The evolution of ocean literacy: A new framework for the United Nations Ocean Decade and beyond. *Marine Pollution Bulletin*, 186, 114530. https://doi.org/10.1016/j.marpolbul.2022.114530

Mokos, M., Cheimonopoulou, M.Th., Koulouri, P., Previa, M., Realdon, G., Santoro, F., Mogias, A., Boubonari, T., Gazo, M., Satta, A., Ioakeimidis, C., Tojeiro, A., Chicote, C.A., Papathanassiou, M., Kevrekidis, T., 2020. Mediterranean Sea Literacy: When Ocean Literacy becomes region-specific. *Mediterranean Marine Science* 21, 592-598. http://dx.doi.org/10.12681/mms.23400

Mokos, M., De-Bastos, E., Realdon, G., Wojcieszek, D., Papathanasiou, M., Tuddenham, P., 2022. Navigating ocean literacy in Europe: 10 years of history and future perspectives. *Mediterranean Marine Science*, 23(2), 277–288. https://doi.org/10.12681/mms.26989

NOAA (National Oceanic and Atmospheric Administration), 2019. Principles and concepts for estuaries 101. *NOAA Office for Coastal Management*. Available from: https://coast.noaa.gov/data/estuaries/pdf/estuary-principles-and-concepts.pdf

Ohio Sea Grant, 2013. Great Lakes Literacy: Principles and Fundamental Concepts for Great Lakes Learning Brochure. Available from: https://www.michiganseagrant.org/wp-content/uploads/2018/08/2013-GL-Lit-brochure WEB_1.pdf

A2
DE GESCHIEDENIS VAN MARITIEME GELETTERDHEID EN HAAR PRINCIPES

Paço, A., Lavrador, T., 2017. Environmental knowledge and attitudes and behaviours towards energy consumption. *Journal of Environmental Management*, 197, 384–392. https://doi.org/10.1016/j.jenvman.2017.03.100

Schoedinger, S., Cava, F., Strang, C., Tuddenham, P., 2005. Ocean literacy through science standards. *Oceans*, 1(3), 736–740.

A3
BEHOUD VAN ZEEGRASSEN

Bertelli, C.M., Unsworth, R.K.F., 2014. Protecting the hand that feeds us: Seagrass *(Zostera marina)* serves as commercial juvenile fish habitat. *Marine Pollution Bulletin* 83, 425–429.

Campagne, C.S., Salles J.-M., Boissery, P., Deter, J., 2015. The seagrass *Posidonia oceanica*: Ecosystem services identification and economic evaluation of goods and benefits. *Marine Pollution Bulletin* 97, 391–400.

Costanza, R., d'Arge, R., de Groot, R., Faber, S., Grasso, M., Hannon, B., Limburg, K., Naeem, S., O'Neill, R.V., Paruelo, J., Raskin, R.G., Sutton, P., van den Belt, M., 1997. The value of the world's ecosystem services and natural capital. *Nature* 387, 253e260.

Costanza, R., de Groot, R., Sutton, P., van der Ploeg, S., Anderson, S.J., Kubiszewski, I., Farber, R., Kerry T., 2014. Changes in the global value of ecosystem services. *Global Environmental Change* 26, 152–158.

Deng, Y., Liu, S., Feng, J., Wu, Y., Mao, C., 2021. What drives putative bacterial pathogens removal within seagrass meadows? *Marine Pollution Bulletin* 166, 112229.

de Smit, J.C., Anton, A., Martin, C., Rossbach, S., Bouma, T.J., Duarte, C.M., 2021. Habitat-forming species trap microplastics into coastal sediment sinks. Science of the *Total Environment* 772, 145520.

Du, J., Hu, W., Nagelkerken, I., Sangsawang, L., Loh, K.H., Ooi, J.L.-S, Liao, J., Zheng, X., Qiu, S., Chen, B., 2020. Seagrass meadows provide multiple benefits to adjacent coral reefs through various microhabitat functions. *Ecosystem Health and Sustainability* 6, 1812433.

Duarte, C.M., Borum, J., Short, F.T., Walker, D.I., 2008. Seagrass ecosystems: Their global status and prospects. In: Polunin, N. (Ed.), Aquatic Ecosystems. *Cambridge University Press*, pp. 281-306.

Duarte, C.M., Marbà, N., Gacia, E., Fourqurean,J.W., Beggins, J., Barrón, C., Apostolaki, E.T. 2010. Seagrass community metabolism: Assessing the carbon sink capacity of seagrass meadows. *Global Biogeochemical Cycles* 24, GB4032.

Dunic, J.C., Brown, C.J., Connolly, R.M., Turschwell, M.P., Côté I.M., 2021. Long-term declines and recovery of meadow area across the world's seagrass bioregions. *Global Change Biology* 27, 4096–4109.

A3
BEHOUD VAN ZEEGRASSEN

Fortes, M.D., Ooi, J.L.S., Tan, Y.M., Prathep, A., Bujang, J.S., Yaakub, S.M., 2018. Seagrass in Southeast Asia: a review of status and knowledge gaps, and a road map for conservation. *Botanica Marina* 61, 269–288.

Fourqurean, J.W., Duarte, C.M., Kennedy, H., Marbà, N., Holme, M., Mateo, M.A., Apostolaki, E.T., Kendrick, G.A., Krause-Jensen, D., McGlathery, K.J., Serrano. O., 2012. Seagrass ecosystems as a globally significant carbon stock. *Natural Geoscience* (online publication www.nature.com/naturegeoscience)

François, R., Thibaud, M., Marlee, D.T., Loïc N., M., L. Gilles, 2018. Seagrass organic matter transfer in *Posidonia oceanica* macrophytodetritus accumulations. *Estuarine, Coastal and Shelf Science* 212, 73–79.

Grech, A., Coles, R., Marsh, H., 2011. A broad-scale assessment of the risk to coastal seagrasses from cumulative threats. *Marine Policy* 35, 560–567.

Grech, A., Chartrand-Miller, K., Erftemeijer, P., Fonseca, M., 2012. A comparison of threats, vulnerabilities and management approaches in global seagrass bioregions. *Environmental Research Letters* 7, 024006.

Green, E.P., Short, F.T., 2003. World Atlas of Seagrasses. *University of California Press*, London, England, 298 p.

Green, A.E., Unsworth, R.K.F., Chadwick, M.A., Jones, P.J.S., 2021. Historical analysis exposes catastrophic seagrass loss for the United Kingdom. *Frontiers in Plant Science* 12, 629962.

Griffiths, L.L., Connolly, R.M., Brown, C.J., 2020. Critical gaps in seagrass protection reveal the need to address multiple pressures and cumulative impacts. *Ocean and Coastal Management* 183, 104946.

Heck Jr., K.L., Carruthers, T.J.B., Duarte, C.M., R. Hughes, Kendrick, G., Orth, R.J., Williams, S.W., 2008. Trophic transfers from seagrass meadows subsidize diverse marine and terrestrial consumers. *Ecosystems* 11,1198–1210.

Hemminga, M.A., Duarte, C.M., 2000. Seagrass Ecology. *Cambridge University Press*, 298 p.

A3
BEHOUD VAN ZEEGRASSEN

Koopmans, D., Holtappels, M., Chennu, A., Weber, M., de Beer, D., 2020. High Net primary production of Mediterranean seagrass (*Posidonia oceanica*) meadows determined with aquatic eddy covariance. *Frontiers in Plant Science* 7, 118.

Lamb, J.B., van de Water, J.A.J.M., Bourne, D.G., Altier, C., Hein, M.Y., Fiorenza, E.A., Abu, N., Jompa, J., Drew Harvell, C., 2017. Seagrass ecosystems reduce exposure to bacterial pathogens of humans, fishes, and invertebrates. *Science* 355, 731–733.

Larkum, A.W.D., Orth, R.J., Duarte, C.M., 2006. Seagrasses: Biology, Ecology and Conservation. Springer, Dordrect, *The Netherlands*, 691 p.

Larkum, A.W.D., Kendrick, G.A., P.J. Ralph, 2018. Seagrasses of Australia. Structure, Ecology and Conservation. *Springer, Dordrect, The Netherlands*, 797 p.

Lefcheck, J.S., Wilcox, D.J., Murphy, R.R., Marion, S.R., Orth, R.J., 2017. Multiple stressors threaten the imperiled coastal foundation species eelgrass (*Zostera marina*) in Chesapeake Bay, USA. Glob. *Global Change Biology* 23, 3474–3483.

Lewis, M.A., Devereux, R., 2009. Non-nutrient anthropogenic chemicals in seagrass ecosystems: Fate and effects. *Environmental Toxicology and Chemistry* 28, 644-661.

Lopez y Royo, C., Casazza, G., Pergent-Martini, C., Pergent, G., 2010. A biotic index using the seagrass *Posidonia oceanica* (BiPo), to evaluate ecological status of coastal waters. *Ecological Indicators* 10, 380–389.

Malea, P., Mylona, Z., Kevrekidis, T., 2019. Trace elements in the seagrass *Posidonia oceanica*: Compartmentation and relationships with seawater and sediment concentrations. *Science of the Total Environment* 686, 63–74.

Marbà, N, Dvaz-Almela, E., Duarte, C.M., 2014. Mediterranean seagrass (*Posidonia oceanica*) loss between 1842 and 2009. *Biological Conservation* 176, 183–190.

McKenzie, L.J., Nordlund, L.M., Jones, B.L., Cullen-Unsworth, L.C., Roelfsema, C., Unsworth, R.K.F., 2020. The global distribution of seagrass meadows. *Environmental Research Letters* 15, 074041.

A3
BEHOUD VAN ZEEGRASSEN

Nordlund, L.M., Koch, E.W., Barbier, E.B., Creed, J.C., 2016. Seagrass ecosystem services and their variability across genera and geographical regions. *PLOS ONE* 11(10), e0163091.

Orth, R.J., Lefcheck, J.S., McGlathery, K.S., Aoki, L., Luckenbach, M.W., Moore, K.A., Oreska, M.P.J., Snyder, R., Wilcox, D.J., Lusk, B., 2020. Restoration of seagrass habitat leads to rapid recovery of coastal ecosystem services. *Scientific Advances* 6, eabc6434

Reynolds, P.L., 2018. Seagrass and seagrass beds. Smithsonian NMNH. Available from: https://ocean.si.edu/ocean-life/plants-algae/seagrass-and-seagrass-beds

Ruiz-Frau, A., Gelcich, S., Hendriks, I.E., Duarte, C.M., Marba, N., 2017. Current state of seagrass ecosystem services: Research and policy integration. *Ocean and Coastal Management* 149, 107-115.

Short, F., Carruthers, T., Dennison, W., Waycott, M., 2007. Global seagrass distribution and diversity: A bioregional model. *Journal of Experimental Marine Biology and Ecology* 350, 3–20.

Short, F.T., C.A. Short, A. Novak. 2016. Seagrasses. In: Finlayson, C.M., Milton, G.R., Prentice R.C., Davidson, N.C. (Eds.), The Wetland Book: II: Distribution, Description and Conservation. Springer Science, pp. 1-18.

UNEP, United Nations Environment Programme, 2020. Out of the blue: The value of seagrasses to the environment and to people. *UNEP, Nairobi*.

UNEP-WCMC, Short F.T., 2021. Global distribution of seagrasses (version 7.1). Seventh update to the data layer used in Green and Short (2003). Cambridge (UK): UN Environment Programme World Conservation Monitoring Centre Data https://doi.org/10.34892/x6r3-d211

Unsworth, R.K.F., Cullen-Unsworth, L.C., 2014. Biodiversity, ecosystem services, and the conservation of seagrass meadows. In: Coastal Conservation. Maslo, B., Lockwood, J.L. (Eds). *Cambridge University Press*.

Unsworth, R.K.F., McKenzie, L.J., Collier, C.J., Cullen-Unsworth, L.C., Duarte, C.M., Eklof, J.S., Jarvis, J.C., Jones, B.L., Nordlund, L.M., 2019. Global challenges for seagrass conservation. *Ambio* 48, 801–815.

Valentine, J.F., Heck, K.L., 2021. Herbivory in seagrass meadows: An evolving paradigm. *Estuaries and Coasts* 44, 491–505.

A3
BEHOUD VAN ZEEGRASSEN

Waycott, M., Duarte, C.M., Carruthersc, T.J.B., Orthd, R.J., Dennisonc, W.C., Olyarnike, S., Calladine, A., Fourqurean, J.W., Heck Jr., K.L., Hughes, A. R., Kendrick, G.A., Kenworthy, W.J., Shortk, F.T., Williams, S.L., 2009. Accelerating loss of seagrasses across the globe threatens coastal ecosystems. *PNAS* 106, 12377-12381.

Whitfield, A.K., 2017. The role of seagrass meadows, mangrove forests, salt marshes and reed beds as nursery areas and food sources for fishes in estuaries. *Reviews in Fish Biology and Fisheries* 27,75–110.

York, P.H., Smith, T.M., Coles, R.G., McKenna, S.A., Connolly, R.M., Irving, A.D., Jackson, E.L., McMahon, K., Runcie, J.W., Sherman, C.D.H., Sullivan, B.K., Trevathan-Tackett, S.M., Brodersen, K.E., Carter, A.B., Ewers, C.J., Lavery, P.S., Roelfsema, C.M., Sinclair, E.A., Strydom, S., Tanner, J.E., van Dijk, K.-J, Warry, F.Y., Waycott, M., Whitehead, S., 2017. Identifying knowledge gaps in seagrass research and management: An Australian perspective. *Marine Environmental Research* 127, 163e172.

A4
ZEEGRASGELETTERDHEID

Apostoloumi, C., Malea, P., Kevrekidis, T., 2021. Principles and Concepts about Seagrasses: Towards a sustainable future for seagrass ecosystems. *Marine Pollution Bulletin* 173, 112936.

Cullen-Unsworth, L.C. , Nordlund, L.M., Paddock, J., Baker, S., McKenzie, L.J., Unsworth, R.K.F., 2014. Seagrass meadows globally as a coupled social–ecological system: Implications for human well-being. *Marine Pollution Bulletin* 83 (2): 387-397

Cullen-Unsworth, L.C., Unsworth, R., 2018. A call for seagrass protection. *Science* 361, 446-448. DOI: 10.1126/science.aat7318.

Duarte, C.M., Borum, J., Short, F.T., Walker, D.I., 2008. Seagrass ecosystems: Their global status and prospects. In: Polunin, N. (Ed.), Aquatic Ecosystems, *Cambridge University Press*, pp. 281-306. https://www.researchgate.net/publication/281475786

Duarte, C.M., Dennison, W.C., Orth, R.J.W., Carruthers, T.J.B., 2008. The charisma of coastal ecosystems: Addressing the imbalance. *Estuaries and Coasts*: J CERF 31, 233-238. DOI10.1007/s12237-008-9038-7

Griffiths, L.L., Connolly, R.M., Brown, C.J., 2020. Critical gaps in seagrass protection reveal the need to address multiple pressures and cumulative impacts. *Ocean and Coastal Management* 183, 104946. https://doi.org/10.1016/j.ocecoaman.2019.104946

Jefferson, R.L., Bailey, I., Laffoley, D. d'A., Richards, J.P., Attrill, M.J., 2014. Public perceptions of the UK marine environment. *Marine Policy*, 43: 327-337

Mokos, M., Cheimonopoulou, M.Th., Koulouri, P., Previa, M., Realdon, G., Santoro, F., Mogias, A., Boubonari, T., Gazo, M., Satta, A., Ioakeimidis, C., Tojeiro, A., Chicote, C.A., Papathanassiou, M., Kevrekidis, T., 2020. Mediterranean Sea Literacy: When Ocean Literacy becomes region-specific. *Mediterranean Marine Science* 21, 592-598. http://dx.doi.org/10.12681/mms.23400

NOAA (National Oceanic and Atmospheric Administration), 2013. Ocean literacy: The essential principles and fundamental concepts of Ocean Sciences for learners of all ages. Version 2. Available from: http://oceanliteracy.wp2.coexploration.org/?page_id=164

Santoro F., Selvaggia, S., Scowcroft, G., Fauville, G., Tuddenham, P., 2017. Ocean Literacy for All- A toolkit. *IOC/ UNESCO & UNESCO Venice Office, Paris (IOC Manuals and Guides, revised in 2018).*

A4
ZEEGRASGELETTERDHEID

UNEP, United Nations Environment Programme, 2020. Out of the blue: The value of seagrasses to the environment and to people. *UNEP, Nairobi*.

UNESCO-IOC, 2021. The United Nations Decade of Ocean Science for Sustainable Development (2021-2030). Implementation plan – Summary. *UNESCO, Paris, IOC Ocean Decade Series*, 19.

Unsworth, R.K.F., McKenzie, L.J., Collier, C.J., Cullen-Unsworth, L.C., Duarte, C.M., Eklof, J.S., Jarvis, J.C., Jones, B.L., Nordlund, L.M., 2019. Global challenges for seagrass conservation. *Ambio* 48, 801–815. https://doi.org/10.1007/s13280-018-1115-y

B
CURRICULUM OVER ZEEGRAS

Etherington, M. B. (2011). Investigative primary science: A problem-based learning approach. *Australian Journal of Teacher Education (Online), 36(9)*, 53-74.

Hartmeyer, R., Stevenson, M. P., & Bentsen, P. (2018). A systematic review of concept mapping-based formative assessment processes in primary and secondary science education. *Assessment in Education: Principles, Policy & Practice, 25(6)*, 598-619.

Shepardson, D. P., & Britsch, S. J. (2001). Tools for assessing and teaching science in elementary and middle school. In *Assessment in science: A guide to professional development and classroom practice* (pp. 119-147). Dordrecht: Springer Netherlands.

Suastra, I. W., Suarni, N. K., & Dharma, K. S. (2019, October). The effect of Problem Based Learning (PBL) model on elementary school students' science higher order thinking skill and learning autonomy. In *Journal of Physics: Conference Series* (Vol. 1318, No. 1, p. 012084). IOP Publishing.

Suduc, A. M., Bizoi, M., & Gorghiu, G. (2015). Inquiry based science learning in primary education. *Procedia-Social and Behavioral Sciences, 205*, 474-479.

Susiloningsih, E., Sumantri, M. S., & Marini, A. (2023). Experiential learning model in science learning: systematic literature review. *Jurnal Penelitian Pendidikan IPA, 9(9)*, 550-557.

Tay, L. Y., Melwani, M., Ong, J. L., & Ng, K. R. (2017). A case study of designing technology-enhanced learning in an elementary school in Singapore. *Learning: Research and Practice, 3(2)*, 98-113.

Thurston, A., Topping, K. J., Tolmie, A., Christie, D., Karagiannidou, E., & Murray, P. (2010). Cooperative Learning in Science: Follow-up from primary to high school. *International Journal of Science Education, 32(4)*, 501-522.

Vesterinen, M., & Ratinen, I. (2024). Sustainability competences in primary school education–a systematic literature review. *Environmental Education Research, 30(1)*, 56-67.

Vieira, R. M., & Tenreiro-Vieira, C. (2016). Fostering scientific literacy and critical thinking in elementary science education. *International Journal of Science and Mathematics education, 14(4)*, 659-680.

B5.1
DE OCEAAN ONDERSTEUNT EEN GROTE DIVERSITEIT AAN LEVEN EN ECOSYSTEMEN

Barnes, R.S.K. and Hughes, R.M., 1999. An introduction to marine ecology, 3rd edition, *Blackwell Science*.

Brazelton, W (2017). Hydrothermal vents. *Current Biology 27*, 11.

Caine, A. (2017). Marine Biology for the non-biologist. I*ndependently Published*, 154 p.

Castro, P. and Huber, M. (2018). Marine Biology. 11th Edition, *McGraw-Hill Education*, 496 p. Greek Edition: E. Voultsiadou (Ed.), *Utopia publishing*.

Dipper, F. (2021) The Marine World: A Natural History of Ocean Life. *Wild Nature Press*.

Dormann, C. F., and Arne Schröder, A. (eds.) (2021) Marine Ecology Notes.

Garrison, T.S. and Ellis, R. (2016). Essentials of Oceanography. 8th Edition, *Cengage Learning*, 325 p.

Higgins, R.P. and Thiel, H., 1988. Introduction to the study of meiofauna. *Smithsonian Institution Press, Washington, D.C.*

Kevrekidis, T., Boubonari, T., Malea, P., Mogias, A., Apostoloumi, C., Kevrekidou, A. (2024). Exploring the coastal lagoons. *Hellenic Foundation for Research and Innovation (HFRI)*, 75 p. (in greek). https://bluenodes.eled.duth.gr/

Levinton, J. S. (2022). Marine Biology: Function, Biodiversity, Ecology. 6th Edition, Oxford University Press, 608 p. Greek Edition: D. I. Koutsoumpas (Ed.), *Broken Hill Publishers Ltd*.

McCrae, J. and L. Osis, L. Plants and animals of Oregon's rocky intertidal habitat, *Oregon Department of Fish and Wildlife.*

McLusky, D. S., & Elliott, M. (2004). The estuarine ecosystem: ecology, threats and management. *OUP Oxford*, 214 p.

Nybakken, J.W. (2001). Marine Biology: An Ecological approach. 5th Edition, *Benjamin Cummings, San Francisco*, 516 p. Greek Edition: M. Apostolopoulou, G. Verroiopoulos, M. Thessalou-Legaki, A. Nicolaidou (Eds.), *ION Publishing Group*.

B5.1
DE OCEAAN ONDERSTEUNT EEN GROTE DIVERSITEIT AAN LEVEN EN ECOSYSTEMEN

Pérez-Ruzafa, A., Pérez-Ruzafa, I. M., Newton, A., & Marcos, C. (2019). Coastal lagoons: environmental variability, ecosystem complexity, and goods and services uniformity. In: *Coasts and Estuaries, pp. 253-276. Elsevier*.

Pinet, P.R. (2016). Invitation to Oceanography. 7th Edition, *Jones and Bartlett Learning, LLC,* 662 p. Greek Edition: M. Karydis (Ed.), *Parisianou publications*.

Poulos, S.E. (2021). Introduction to Oceanography or Oceanology. A reference to the Mediterranean and the Greek seas. *Disigma publications*, 644 p. (in greek).

Townsend, D.W. (2012). Oceanography and Marine Biology: An Introduction to Marine Science. *Sinauer*, 512 p.

B5.2
ZEEGRASSEN ZIJN UNIEKE PLANTEN

Ackerman, J.D., 2006. Sexual reproduction of seagrasses: Pollination in the marine context. In: Larkum, A.W.D., Orth, R.J., Duarte, C.M. (Eds.), Seagrasses: Biology, Ecology and Conservation, *Springer, Dordrecht, The Netherlands*, pp. 89-109.

Borum,J. and Greve, T.M., 2004. The four European seagrass species. In: European seagrasses: an introduction to monitoring and management. J Borum, CM Duarte, D Krause-Jensen and TM Grev(Eds.). *The M&MS project*, pp.1-7.

den Hartog, C., Kuo, J., 2006, Taxonomy and biogeography of seagrasses. In: Larkum, A.W.D., Orth, R.J., Duarte, C.M. (Eds.), Seagrasses: Biology, Ecology and Conservation. *Springer, Dordrecht, The Netherlands*, pp. 1-23.

Gerakaris, V., Lardi, P-L., Issaris, Y., 2020. First record of the tropical seagrass species Halophila decipiens Ostenfeld in the Mediterranean Sea. *Aquatic Botany,* 160, 103151.

Green, E.P., Short, F.T., 2003.World Atlas of Seagrasses. *University of California press, London, England*, pp. 298.

Hemminga, M.A., Duarte, C.M., 2000. Seagrass Ecology. *Cambridge University Press*, pp. 298.

Kuo, J. and den Hartog, C., 2001. Seagrass taxonomy and identification key. In: Global seagrass research methods, F.T. Short and R.G. Cole (Eds). *Elsevier Science B.V.*

Lansdown, R.V. 2011. *Ruppia maritima (Europe assessment)*. T*he IUCN Red List of Threatened Species* 2011: e.T164508A5896806.

Larkum, A.W.D., Orth, R.J., Duarte, C.M., 2006. Seagrasses: Biology, Ecology and Conservation. *Springer, Dordrect, The Netherlands*, pp. 691.

Les, D.H., Waycott, M., 1997. Phylogenetic Studies in Alismatidae, II: Evolution of Marine Angiosperms (Seagrasses) and Hydrophily. *Systematic Botany* 22, 443-463.

Mannino, A.M., M. Menendez, M., Obrador, B., Sfriso, A.,Triest, L., 2015.The genus Ruppia L. (Ruppiaceae) in the Mediterranean region: An overview. *Aquatic Botany* 124,1–9.

B5.2
ZEEGRASSEN ZIJN UNIEKE PLANTEN

McKenzie, L.J., Nordlund, L.M., Jones, B.L., Cullen-Unsworth, L.C., Roelfsema, C., Unsworth, R.K.F., 2020. The global distribution of seagrass meadows. *Environmental Research Letters* 15, 074041.

Pergent, G., Gerakaris, V., Sghaier, Y.R., Zakhama-Sraier, R., Fernández Torquemada, Y. & Pergent-Martini, C. 2016. *Posidonia oceanica* (errata version published in 2018). *The IUCN Red List of Threatened Species* 2016: e.T153534A135156882.

Short, F., Carruthers, T., Dennison, W., Waycott, M., 2007. Global seagrass distribution and diversity: A bioregional model. *Journal of Experimental Marine Biology and Ecology* 350, 3 - 20.

Short, F.T., Carruthers, T.J.R., Waycott, M., Kendrick, G.A., Fourqurean, J.W., Callabine, A., Kenworthy, W.J. & Dennison, W.C. 2010. *Cymodocea nodosa*. *The IUCN Red List of Threatened Species* 2010: e. T153535A4516419.

Short, F.T., Carruthers, T.J.R., Waycott, M., Kendrick, G.A., Fourqurean, J.W., Callabine, A., Kenworthy, W.J. & Dennison, W.C. 2010. *Halophila stipulacea*. *The IUCN Red List of Threatened Species* 2010: e. T173319A6989685.

Short, F.T., Carruthers, T.J.R., Waycott, M., Kendrick, G.A., Fourqurean, J.W., Callabine, A., Kenworthy, W.J. & Dennison, W.C. 2010. *Zostera marina*. *The IUCN Red List of Threatened Species* 2010: e. T153538A4516675.

Short, F.T., Carruthers, T.J.R., Waycott, M., Kendrick, G.A., Fourqurean, J.W., Callabine, A., Kenworthy, W.J. & Dennison, W.C. 2010. *Zostera noltei*. *The IUCN Red List of Threatened Species* 2010: e.T173361A6999224.

Short, F.T., Polidoro, B., Livingstone, S.R., Carpenter, K.E., Bandeira, S., Bujang, J.S., Calumpong, H.P., Carruthers, T.J.B., Coles, R.G., Dennison, W.C., Erftemeijer, P.L.A., Fortes, M.D., Freeman, A.S., Jagtap, T.G., Kamal, A.H.M., Kendric, G.A., Kenworthy, W.J., La Nafie, Y.A., Nasution, I.M., Orth, R.J., Prathep, A., Sanciangco, J.C., van Tussenbroek, B S.G.,Vergara, Waycott, M., Zieman, J.C., 2011. Extinction risk assessment of the world's seagrass species. *Biological Conservation* 144, 1961–1971.

Spalding, M., Taylor, M., Ravilious, C., Short, F., Green, E., 2003. The distribution and status of seagrasses, In: Green, E.P., Short, F. (Eds.), World atlas of seagrasses, *University California Press*, pp. 5-26.

B5.2
ZEEGRASSEN ZIJN UNIEKE PLANTEN

UNEP-WCMC, Short F.T., 2021. Global distribution of seagrasses (version 7.1). Seventh update to the data layer used in Green and Short (2003). *Cambridge (UK): UN Environment Programme World Conservation Monitoring Centre Data.*

Waycott, M., Procaccini, G., Les, D.H., Reusch, T.B.H., 2006. Seagrass evolution, Ecology and conservation: A genetic perspective, In: Larkum, A.W.D., Orth, R.J., Duarte, C.M. (Eds.), Seagrasses: Biology, Ecology and Conservation, *Springer, Dordrecht, The Netherlands*, pp. 1-23.

Waycott, M., Biffin, E., Les, D.H., 2018. Systematics and Evolution of Australian Seagrasses in a Global Context, In: Larkum, A.W.D., Kendrick, G.A., Ralph, P.J. (Eds.), Seagrasses of Australia: Structure, Ecology and Conservation, Part III Molecular and Taxonomic Studies, *Springer Cham, Switzerland*, pp.129-155.

https://www.seagrasswatch.org/idseagrass/

www.SeagrassNet.org.

de Boer, W.F., 2007. Seagrass–sediment interactions, positive feedbacks and critical thresholds for occurrence: a review. *Hydrobiologia* 591, 5–24.

Duarte, C.M., Borum, J., Short, F.T., Walker, D.I., 2008. Seagrass ecosystems: Their global status and prospects, In: Polunin, N. (Eds.), Aquatic Ecosystems, *Cambridge University Press.*, pp. 281-306.

Githaiga, M.N., Gilpin, L., Kairo, J.G., Huxham, M., 2016. Biomass and productivity of seagrasses in Africa. *Botanica Marina* 59, 173–186.

Hemminga, M.A., Duarte, C.M., 2000. Seagrass Ecology. *Cambridge University Press*, pp. 298.

Lee, C.-L., Wen, C.K.C., Huang, Y.-H., Chung, C.-Y., Lin, H.-J., 2019. Ontogenetic habitat usage of juvenile carnivorous fish among seagrass-coral mosaic habitats. *Diversity* 11, 25.

Lee, K.-S., Park, S.R., Kim, Y.K., 2007. Effects of irradiance, temperature, and nutrients on growth dynamics of seagrasses: A review. *Journal of Experimental Marine Biology and Ecology* 350, 144–175.

Malea, P., Zikidou, C., 2011. Temporal variation in biomass partitioning of the seagrass *Cymodocea nodosa* at the Gulf of Thessaloniki, Greece. *Journal of Biological Research* - Thessaloniki 15, 75 - 90.

McKenzie, L.J., Nordlund, L.M., Jones, B.L., Cullen-Unsworth, L.C., Roelfsema, C., Unsworth, R.K.F., 2020. The global distribution of seagrass meadows. *Environmental Research Letters* 15, 074041.

Short, F.T., Coles, R.G., Pergent-Martini, C., 2003. Global seagrass Distribution. In: Global seagrass Research Methods, Short, F.T., Coles, R.G. (Eds.), *Elsevier*, *Amsterdam, The Netherlands*, pp. 473.

Short, F.T., C.A. Short, A. Novak. 2016. Seagrasses, In: Finlayson, C.M., Milton, G.R., Prentice R.C., Davidson, N.C. (Eds.), The Wetland Book: II: Distribution, Description and Conservation. *Springer Science,* pp. 1-18.

Spalding, M., Taylor, M., Ravilious, C., Short, F., Green, E., 2003. The distribution and status of seagrasses, In: Green, E.P., Short, F. (Eds.), World atlas of seagrasses. *University California Press*, pp. 5-26.

B5.4
ZEEGRASSEN ONDERSTEUNEN EEN GROTE DIVERSITEIT AAN LEVEN

Bertelli, C.M., Unsworth, R.K.F., 2014. Protecting the hand that feeds us: Seagrass (*Zostera marina*) serves as commercial juvenile fish habitat. Marine Pollution Bulletin 83, 425–429.

Du, J., Hu, W., Nagelkerken, I., Sangsawang, L., Loh, K.H., Ooi, J.L.-S, Liao, J., Zheng, X., Qiu, S., Chen, B., 2020. Seagrass meadows provide multiple benefits to adjacent coral reefs through various microhabitat functions. *Ecosystem Health and Sustainability* 6, 1812433.

Duarte, C.M., 2017. Reviews and syntheses: Hidden forests, the role of vegetated coastal habitats in the ocean carbon budget. *Biogeosciences* 14, 301–310.

Fortes, M.D. 1989. Seagrasses: a resource unknown in the ASEAN region. *ICLARM Education Series 5*, 46p. *International Center for Living Aquatic Resources Management, Manila, Philippines*.

François, R., Thibaud, M., Marlee, D.T., Loïc N., M., L. Gilles, 2018.Seagrass organic matter transfer in *Posidonia oceanica* macrophytodetritus accumulations. *Estuarine, Coastal and Shelf Science* 212, 73–79.

Heck Jr., K.L., Carruthers, T.J.B., Duarte, C.M., R. Hughes, Kendrick, G., Orth, R.J., Williams, S.W., 2008. Trophic transfers from seagrass meadows subsidize diverse marine and terrestrial consumers. *Ecosystems* 11, 1198–1210.

Hemminga, M.A., Duarte, C.M., 2000. Seagrass Ecology. *Cambridge University Press*, pp. 298.

Koopmans, D., Holtappels, M., Chennu, A., Weber, M., de Beer, D., 2020. High Net primary production of Mediterranean seagrass (*Posidonia oceanica*) meadows determined with aquatic eddy covariance. *Frontiers in Plant Science* 7, 118.

Murphy, G.E.P., Dunic, J.C., Adamczyk, E.M., Bittick, S.J., Côté, I.M., Cristiani, J., Geissinger, E.A., Gregory, R.S., Lotze, H.K., O'Connor, M.I., Araújo, C.A.S., Rubidge, E.M.,Templeman, N.D., Wong M.C., 2021. From coast to coast: ecology and management of seagrass ecosystems across Canada. *FACETS* 6: 139–179.

Reynolds, P.L., 2018. Seagrass and seagrass beds. *Smithsonian NMNH*
(online, available from: https://ocean.si.edu/ocean-life/plants-algae/seagrass-and-seagrass-beds).

B5.4
ZEEGRASSEN ONDERSTEUNEN EEN GROTE DIVERSITEIT AAN LEVEN

Spalding, M., Taylor, M., Ravilious, C., Short, F., Green, E., 2003. The distribution and status of seagrasses, In: Green, E.P., Short, F. (Eds.), World atlas of seagrasses, *University California Press*, pp. 5-26.

Valentine, J.F., Heck, K.L., 2021. Herbivory in seagrass meadows: An evolving paradigm. *Estuaries and Coasts* 44, 491–505.

Whitfield, A.K., 2017. The role of seagrass meadows, mangrove forests, salt marshes and reed beds as nursery areas and food sources for fishes in estuaries. *Reviews in Fish Biology and Fisheries* 27,75–110.

York, P.H., Hyndes, G.A., Bishop, M.J., Barnes, R.S.K., 2018. Faunal Assemblages of Seagrass Ecosystems, Chapter 17, Part VI. Fauna. In: Larkum, A.W.D., Kendrick, G.A., Ralph, P.J. (Eds.), Seagrasses of Australia: Structure, Ecology and Conservation, Part III Molecular and Taxonomic Studies. *Springer Cham, Switzerland*, pp.541-589.

B5.5
ZEEGRASSEN STABILISEREN DE ZEEBODEM, VERBETEREN DE WATERKWALITEIT EN SLAAN KOOLSTOF OP

Costanza, R., d'Arge, R., de Groot, R., Faber, S., Grasso, M., Hannon, B., Limburg, K., Naeem, S., O'Neill, R.V., Paruelo, J., Raskin, R.G., Sutton, P., van den Belt, M., 1997. The value of the world's ecosystem services and natural capital. *Nature* 387, 253e260.

Costanza, R., de Groot, R., Sutton, P., van der Ploeg, S., Anderson, S.J., Kubiszewski, I., Farber, R., Kerry T., 2014. Changes in the global value of ecosystem services. *Global Environmental Change* 26, 152–158.

de Boer, W.F., 2007. Seagrass–sediment interactions, positive feedbacks and critical thresholds for occurrence: a review. *Hydrobiologia* 591, 5–24.

Delgard, M. L., Deflandre, B., Kochoni, E., Avaro, J., Cesbron, F., Bichon, S., Poirier, D., Anschutz, P., 2016. Biogeochemistry of dissolved inorganic carbon and nutrients in seagrass (*Zostera noltei*) sediments at high and low biomass. *Estuarine, Coastal and Shelf Science* 179, 12e22

de los Santos, C.B., Olivea, I., Moreira, M., Silva, A., Freitas, C., Luna, R.A., Quental-Ferreira, H., Martins, M., Costa, M.M., Silva, J., Cunha, M.E., Soares, F., Pousao-Ferreira, P., Santos, R., 2020. Seagrass meadows improve inflowing water quality in aquaculture ponds. *Aquaculture* 528, 735502.

de los Santos, C.B., Scott, A., Arias-Ortiz, A., Jones, B., Kennedy, H., Mazarrasa, I., McKenzie, L., Nordlund, L.M., de la Torre-Castro, M., Unsworth, R.K.F., Ambo-Rappe, R., 2020. Seagrass ecosystem services: Assessment and scale of benefits. In: UNEP. Out of the blue: The value of seagrasses to the environment and to people. *UNEP, Nairobi*, pp. 48-55.

Deng, Y., Liu, S., Feng, J., Wu, Y., Mao, C., 2021. What drives putative bacterial pathogens removal within seagrass meadows? *Marine Pollution Bulletin* 166, 112229.

de Smit, J.C., Anton, A., Martin, C., Rossbach, S., Bouma, T.J., Duarte, C.M., 2021.Habitat-forming species trap microplastics into coastal sediment sinks. *Science of the Total Environment* 772, 145520.

Duarte, C.M., Marbà, N., Gacia, E., Fourqurean,J.W., Beggins, J., Barrón, C., Apostolaki, E.T. 2010. Seagrass community metabolism: Assessing the carbon sink capacity of seagrass meadows. *Global Biogeochemical Cycles* 24, GB4032

B5.5
ZEEGRASSEN STABILISEREN DE ZEEBODEM, VERBETEREN DE WATERKWALITEIT EN SLAAN KOOLSTOF OP

Ferguson, A.J.P., Gruber, R., Potts, J., Wright, A., Welsh, D.T., Scanes, P., 2017. Oxygen and carbon metabolism of *Zostera muelleri* across a depth gradient e Implications for resilience and blue carbon. *Estuarine, Coastal and Shelf Science* 187, 216e230.

Fourqurean, J.W., Duarte, C.M., Kennedy, H., Marbà, N., Holme, M., Mateo, M.A., Apostolaki, E.T., Kendrick, G.A., Krause-Jensen, D., McGlathery, K.J., Serrano. O., 2012. Seagrass ecosystems as a globally significant carbon stock. *Nature Geoscience* (online publication).

Hemminga, M.A., Duarte, C.M., 2000. Seagrass Ecology. *Cambridge University Press*, pp. 298.

Lamb, J.B., van de Water, J.A.J.M., Bourne, D.G., Altier, C., Hein, M.Y., Fiorenza, E.A., Abu, N., Jompa, J., Drew Harvell, C., 2017. Seagrass ecosystems reduce exposure to bacterial pathogens of humans, fishes, and invertebrates. *Science* 355, 731–733.

Lewis, M.A., Devereux, R., 2009. Non-nutrient anthropogenic chemicals in seagrass ecosystems: Fate and effects. *Environmental Toxicology and Chemistry* 28, 644-661.

Malea, P., Mylona, Z., Kevrekidis, T., 2019. Trace elements in the seagrass *Posidonia oceanica*: Compartmentation and relationships with seawater and sediment concentrations. *Science of the Total Environment* 686, 63-74.

Röhr, M. E., Holmer, M., Baum, J. K., Björk, M., Boyer, K., Chin, D., L. Chalifour, Cimon, S., Cusson, M., Dahl, M., Deyanova, D., Duffy, J.E., Eklöf, J.S., Geyer, J.K., Griffin, J.N., Gullström, M., Hereu, C.M., Hori, M., Hovel, K.A., Hughes, A.R., Jorgensen, P., Kiriakopolos, S., Moksnes, P.-O., Nakaoka, M., O'Connor, M.I., Peterson, B., Reiss, K., Reynolds, P.L., Rossi, F., Ruesink, J.,. Santos, R., Stachowicz, J.J., Tomas, F., Lee, K.-S., Unsworth, R.K.F., Boström, C., 2018. Blue carbon storage capacity of temperate eelgrass (*Zostera marina*) meadows. *Global Biogeochemical Cycles* 32, 1457–1475.

Spalding, M., Taylor, M., Ravilious, C., Short, F., Green, E., 2003. The distribution and status of seagrasses, In: Green, E.P., Short, F. (Eds.), World atlas of seagrasses, *University California Press*, pp. 5-26.

B5.5
ZEEGRASSEN STABILISEREN DE ZEEBODEM, VERBETEREN DE WATERKWALITEIT EN SLAAN KOOLSTOF OP

Stankovic, M., Ambo-Rappe, R., Carly, F., Dangan-Galon, F., Fortes, M.D., Hossain, M.S., Kiswara, W., Van Luong, C., Minh-Thu, P., Mishra, A.K., Noiraksar, T., Nurdin, N., Panyawai, J., Rattanachot, E., Rozaimi, M., Soe Htun, U., Prathep, A., 2021. Quantification of blue carbon in seagrass ecosystems of Southeast Asia and their potential for climate change mitigation. *Science of the Total Environment* 783,146858.

Tasdemir, D., Scarpato, S., Utermann-Thüsing, C., Jensen, T., Blümel, M., et al., 2024. Epiphytic and endophytic microbiome of the seagrass *Zostera marina*: do they contribute to pathogen reduction in seawater? *Science of the Total Environment* 908, 168422.

Unsworth, R.K.F., McKenzie, L.J., Collier, C.J., Cullen-Unsworth, L.C., Duarte, C.M., Eklof, J.S., Jarvis, J.C., Jones, B.L., Nordlund, L.M., 2019. Global challenges for seagrass conservation. *Ambio* 48, 801–815.

Walter, R.K., O'Leary, J.K., Vitousek, S., Taherkhani, M., Geraghty, C., Kitajima A., 2020. Large-scale erosion driven by intertidal eelgrass loss in an estuarine environment. *Estuarine, Coastal and Shelf Science* 243, 106910.

B5.6
ZEEGRASSEN EN DE MENS ZIJN ONLOSMAKELIJK MET ELKAAR VERBONDEN

Apostoloumi, C., Malea, P., Kevrekidis, T., 2021. Principles and Concepts about Seagrasses: Towards a sustainable future for seagrass ecosystems. *Marine Pollution Bulletin* 173, 112936.

Balata, G., Tola, A., 2018. Cost-opportunity analysis of the use of *Posidonia oceanica* as a source of bio-energy in tourism-oriented territories. The case of Alghero. *Journal of Cleaner Production* 172, 4085e4098.

Bertelli, C.M., Unsworth, R.K.F., 2014. Protecting the hand that feeds us: Seagrass (*Zostera marina*) serves as commercial juvenile fish habitat. *Marine Pollution Bulletin* 83, 425–429.

Brodie, G. and N'Yeurt, D.R.A., 2018. Impacts of climate change on seagrasses and seagrass habitats relevant to the Pacific Islands. *Pacific 126, Marine Climate Change Report Card: Science Review*, pp 112-131

Brodie, G., Holland, E., De Ramon N'Yeurt, A., Soapi, K., Hills, J., 2020. In: Seagrasses and seagrass habitats in Pacific small island developing states: Potential loss of benefits via human disturbance and climate change, 160, 111573.

Campagne, C.S., Salles J.-M., Boissery, P., Deter, J., 2015. The seagrass *Posidonia oceanica*: Ecosystem services identification and economic evaluation of goods and benefits. *Marine Pollution Bulletin* 97: 391–400.

Connolly, R., Collier, C., O'Leary, J., McKenzie, L., Ambo-Rappe, R., Bandeira, S., Kiswara, W., 2020. Threats to seagrasses and ecosystem resilience, In: UNEP. Out of the blue: The value of seagrasses to the environment and to people. *UNEP, Nairobi*, pp. 36-47.

Costanza, R., d'Arge, R., de Groot, R., Faber, S., Grasso, M., Hannon, B., Limburg, K., Naeem, S., O'Neill, R.V., Paruelo, J., Raskin, R.G., Sutton, P., van den Belt, M., 1997. The value of the world's ecosystem services and natural capital. *Nature* 387, 253e260.

Costanza, R., de Groot, R., Sutton, P., van der Ploeg, S., Anderson, S.J., Kubiszewski, I., Farber, R., Kerry T., 2014. Changes in the global value of ecosystem services. *Global Environmental Change* 26, 152–158.

Cullen-Unsworth, L.C., Unsworth, R., 2018. A call for seagrass protection. *Science* 361, 446-448.

de los Santos, C.B., Krause-Jensen, D., Alcoverro, T., Marbà, N., Duarte, C.M., van Katwijk, M.M., Pérez, M., Romero, J., Sánchez-Lizaso, J.L., Roca, G., Jankowska, E., Pérez-Lloréns, J.L., Fournier, J., Montefalcone, M., Pergent, G., Ruiz, J.M., Cabaço, S., Cook, K., Wilkes, R.J., Moy, F.E. Muñoz-Ramos Trayter, G., Seglar Arañó, X., de Jong, D.J., Fernández-Torquemada, Y., Auby, I., Vergara, J.J., Santos, R. 2019. Recent trend reversal for declining European seagrass meadows. *Nature Communications* 10, 3356.

de los Santos, C.B., Scott, A., Arias-Ortiz, A., Jones, B., Kennedy, H., Mazarrasa, I., McKenzie, L., Nordlund, L.M., de la Torre-Castro, M., Unsworth, R.K.F., Ambo-Rappe, R., 2020. Seagrass ecosystem services: Assessment and scale of benefits. In: UNEP. Out of the blue: The value of seagrasses to the environment and to people. *UNEP, Nairobi*, pp. 48-55.

Duarte, C.M., Borum, J., Short, F.T., Walker, D.I., 2008a. Seagrass ecosystems: Their global status and prospects, In: Polunin, N. (Eds.), Aquatic Ecosystems, *Cambridge University Press*, pp. 281-306.

Duarte, C.M., 2017. Reviews and syntheses: Hidden forests, the role of vegetated coastal habitats in the ocean carbon budget. *Biogeosciences* 14, 301–310.

Dunic, J.C., Brown, C.J., Connolly, R.M., Turschwell, M.P., Côté I.M., 2021. Long-term declines and recovery of meadow area across the world's seagrass bioregions. *Global Change Biology* 27, 4096–4109.

Fortes, M.D., Ooi, J.L.S., Tan, Y.M., Prathep, A., Bujang, J.S., Yaakub, S.M., 2018. Seagrass in Southeast Asia: a review of status and knowledge gaps, and a road map for conservation. *Botanica Marina* 61, 269–288.

Fortes, M., Griffiths, L., Collier, C., Nordlund, L.M., de la Torre-Castro, M., Vanderklift, M., Ambo-Rappe, R., Grimsditch, G., Weatherdon, L., Lutz, S., Potouroglou, M., 2020. Policy and management options, In: UNEP. Out of the blue: The value of seagrasses to the environment and to people. *UNEP, Nairobi*, pp. 63-69.

Grech, A., Coles, R., Marsh, H., 2011. A broad-scale assessment of the risk to coastal seagrasses from cumulative threats. *Marine Policy* 35, 560–567.

Grech, A., Chartrand-Miller, K., Erftemeijer, P., Fonseca, M., 2012. A comparison of threats, vulnerabilities and management approaches in global seagrass bioregions. *Environmental Research Letters* 7, 024006.

B5.6
ZEEGRASSEN EN DE MENS ZIJN ONLOSMAKELIJK MET ELKAAR VERBONDEN

Green, A.E., Unsworth, R.K.F., Chadwick, M.A., Jones, P.J.S., 2021. Historical Analysis Exposes Catastrophic Seagrass Loss for the United Kingdom. *Frontiers in Plant Science* 12, 629962.

Griffiths, L.L., Connolly, R.M., Brown, C.J., 2020. Critical gaps in seagrass protection reveal the need to address multiple pressures and cumulative impacts. *Ocean and Coastal Management* 183, 104946.

Heckwolf, M.J., Peterson, A., Jänes, H., Horne, P., Künne, J., Liversage, K., Sajeva, M., Reusch, T.B.H., Kotta, J., 2021. From ecosystems to socio-economic benefits: A systematic review of coastal ecosystem services in the Baltic Sea. *Science of the Total Environent* 755, 142565.

Hemminga, M.A., Duarte, C.M., 2000. Seagrass Ecology. *Cambridge University Press*, pp. 298.

IUCN Red List of Threatened Species (online, available from https://www.iucnredlist.org/).

Kim, D.H., Mahomoodally, M.F., Sadeer, N.B., Seok, P.G., Zengin, G., Palaniveloo, K., AKhalil, A.A., Rauf, Rengasamy, K.R.R., 2021. Nutritional and bioactive potential of seagrasses: A review. *South African Journal of Botany* 137, 216-227.

Lefcheck, J.S., Wilcox, D.J., Murphy, R.R., Marion, S.R., Orth, R.J., 2017. Multiple stressors threaten the imperiled coastal foundation species eelgrass (*Zostera marina*) in Chesapeake Bay, USA. *Global Change Biology* 23, 3474–3483.

Lopez y Royo, C., Casazza, G., Pergent-Martini, C., Pergent, G., 2010. A biotic index using the seagrass *Posidonia oceanica* (BiPo), to evaluate ecological status of coastal waters. *Ecological Indicators* 10, 380–389.

Malea, P., Mylona, Z., Kevrekidis, T., 2019. Trace elements in the seagrass *Posidonia oceanica*: Compartmentation and relationships with seawater and sediment concentrations. *Science of the Total Environent* 686, 63–74.

Malea, P., Mylona, Z., Panteris, E., Kevrekidis, D.P., Kevrekidis T., 2021. Nickel uptake kinetics and its structural and physiological impacts in the seagrass *Halophila stipulacea*. *Ecotoxicology and Environonmental Safety* 208, 111386.

Marbà, N, Dvaz-Almela, E., Duarte, C.M., 2014. Mediterranean seagrass (*Posidonia oceanica*) loss between 1842 and 2009. *Biological Conservation* 176, 183–190.

B5.6
ZEEGRASSEN EN DE MENS ZIJN ONLOSMAKELIJK MET ELKAAR VERBONDEN

Marco-Méndez et al., 2024.Evaluating the extent and impact of the extreme Storm Gloria on *Posidonia oceanica* seagrass meadows. *Science of the Total Environment* 908, 16840.

Millennium Ecosystem Assessment, 2005. Ecosystems and Human Well-being: Synthesis. *Island Press, Washington, DC.*

NOAA (National Oceanic and Atmospheric Administration), 2013. Ocean literacy: The essential principles and fundamental concepts of Ocean Sciences for learners of all ages. Version 2. (Online) Available from: http://oceanliteracy.wp2.coexploration.org/?page_id=164

Nordlund, L.M., Koch, E.W., Barbier, E.B., Creed, J.C., 2016. Seagrass Ecosystem services and

their variability across genera and geographical regions. *PLOS ONE* 11(10), e0163091.

Nordlund, L.M., Jackson, E.L., Nakaoka, M., Samper-Villarreal, J., Beca-Carretero, P., Creed, J.C., 2018. Seagrass ecosystem services – What's next? *Marine Pollution Bulletin* 134, 145–151.

Orfanidis, S., Papathanasiou, V., Mittas, N., Theodosiou, T., Ramfos, A., Tsioli, S., 2020. Further improvement, validation, and application of CymoSkew biotic index for the ecological status assessment of the Greek coastal and transitional waters. *Ecological Indicators* 118, 106727.

Orth, R.J., Lefcheck, J.S., McGlathery, K.S., Aoki, L., Luckenbach, M.W., Moore, K.A., Oreska, M.P.J., Snyder, R., Wilcox, D.J., Lusk, B., 2020. Restoration of seagrass habitat leads to rapid recovery of coastal ecosystem services. *Science Advances* 6, eabc6434

Ravaglioli et al., 2024. Ocean acidification impairs seagrass performance under thermal stress in shallow and deep water. *Environmental Research* 241, 11762.

Reynolds, P.L., 2018. Seagrass and seagrass beds. Smithsonian NMNH (online, available from: https://ocean.si.edu/ocean-life/plants-algae/seagrass-and-seagrass-beds).

Ruiz-Frau, A., Gelcich, S., Hendriks, I.E., Duarte, C.M., Marba, N., 2017. Current state of seagrass ecosystem services: Research and policy integration. *Ocean Coastal Management* 149, 107-115.

Short, F., Neckles, H.A.,1999. The effects of global climate change on seagrasses. *Aquatic Botany* 63,169-196

B5.6
ZEEGRASSEN EN DE MENS ZIJN ONLOSMAKELIJK MET ELKAAR VERBONDEN

Spalding, M., Taylor, M., Ravilious, C., Short, F., Green, E., 2003. The distribution and status of seagrasses, In: Green, E.P., Short, F. (Eds.), World atlas of seagrasses. *University California Press*, pp. 5-26.

Tan, Y.M., Dalby, O., Kendrick, G.A., Statton, J., Sinclair, E.A., Fraser, M.W., Macreadie, P.I., Gillies, C.L., Coleman, R.A., Waycott, M., van Dijk, K.-jent, Vergés, A., Ross, J.D., Campbell, M.L., Matheson, F.E., Jackson, E.L., Irving, A.D., Govers, L.L., Connolly, R.M., McLeod, I.M., Rasheed, M.A., Kirkman, H., Flindt, M.R., Lange, T., Miller, A.D., Sherman, C.D.H., 2020. Seagrass Restoration is possible: Insights and lessons from Australia and New Zealand. Frontiers in *Marine Science* 7, 617.

Tomasko, D., Alderson, M., Burnes, R., Hecker, J., Leverone, J., Raulerson, G., Sherwood, E., 2018. Widespread recovery of seagrass coverage in Southwest Florida (USA): Temporal and spatial trends and management actions responsible for success. *Marine Pollution Bulletin* 135,1128–1137.

UNEP (United Nations Environment Programme), 2020. Out of the blue: The value of seagrasses to the environment and to people. *UNEP, Nairobi*.

Unsworth, R.K.F., Cullen-Unsworth, L.C., 2014. Biodiversity, ecosystem services, and the conservation of seagrass meadows. Coastal Conservation. In: Maslo, B., Lockwood, J.L. (Eds). *Cambridge University Press*.

Unsworth, R.K.F., McKenzie, L.J., Collier, C.J., Cullen-Unsworth, L.C., Duarte, C.M., Eklof, J.S., Jarvis, J.C., Jones, B.L., Nordlund, L.M., 2019. Global challenges for seagrass conservation. *Ambio* 48, 801–815.

Unsworth, R.K.F., Cullen-Unsworth, L.C., Jones, B.L.H., Lilley, R.J., 2022.The planetary role of seagrass conservation. *Science*, 6606 pp. 609-613.

Waycott, M., Duarte, C.M., Carruthersc, T.J.B., Orthd, R.J., Dennisonc, W.C., Olyarnike, S., Calladine, A., Fourqurean, J.W., Heck Jr., K.L., Hughes, A. R., Kendrick, G.A., Kenworthy, W.J., Shortk, F.T., Williams, S.L., 2009. Accelerating loss of seagrasses across the globe threatens coastal ecosystems. *PNAS* 106, 12377-12381.

B5.7
ZEEGRASSEN ZIJN GROTENDEELS NOG ONONTGONNEN

Brodie, G., Holland, E., De Ramon N'Yeurt, A., Soapi, K., Hills, J., 2020. In: Seagrasses and seagrass habitats in Pacific small island developing states: Potential loss of benefits via human disturbance and climate change, 160, 111573.

Fortes, M.D., Ooi, J.L.S., Tan, Y.M., Prathep, A., Bujang, J.S., Yaakub, S.M., 2018. Seagrass in Southeast Asia: a review of status and knowledge gaps, and a road map for conservation. *Botanica Marina* 61, 269–288.

Griffiths, L.L., Connolly, R.M., Brown, C.J., 2020. Critical gaps in seagrass protection reveal the need to address multiple pressures and cumulative impacts. *Ocean and Coastal Management* 183, 104946.

Hossain, M.S., Mazlan Hashim, M., 2019. Potential of Earth Observation (EO) technologies for seagrass ecosystem service assessments. *International Journal of Applied Earth Observation and Geoinformation* 77, 15-29.

Nordlund, L.M., Jackson, E.L., Nakaoka, M., Samper-Villarreal, J., Beca-Carretero, P., Creed, J.C., 2018. Seagrass ecosystem services – What's next? *Marine Pollution Bulletin* 134, 145–151.

Traganos,D., Terauchi, G., Glavan, J., Panyawai, J., Creed, J., Weatherdon, L., McKenzie, L., Stankovic, M., Sagawa, T., Komatsu, T., Poursanidis, D., 2020. Seagrass mapping and monitoring, In: UNEP. Out of the blue: The value of seagrasses to the environment and to people. *UNEP, Nairobi*, pp. 48-55.

Unsworth, R.K.F., Cullen-Unsworth, L.C., 2014. Biodiversity, ecosystem services, and the conservation of seagrass meadows. Coastal Conservation, Maslo, B., Lockwood, J.L. (Eds). *Cambridge University Press*.

Unsworth, R.K.F., McKenzie, L.J., Collier, C.J., Cullen-Unsworth, L.C., Duarte, C.M., Eklof, J.S., Jarvis, J.C., Jones, B.L., Nordlund, L.M., 2019. Global challenges for seagrass conservation. *Ambio* 48, 801–815.

Veettil, B.K., Ward, R.D., Lima, M.D.A.C., Stankovic, M., Ngoc Hoai, P., Quang, N.X., 2020. Opportunities for seagrass research derived from remote sensing: A review of current methods. *Ecological Indicators* 117,106560.

B5.7
ZEEGRASSEN ZIJN GROTENDEELS NOG ONONTGONNEN

York, P.H., Smith, T.M., Coles, R.G., McKenna, S.A., Connolly, R.M., Irving, A.D., Jackson, E.L., McMahon, K., Runcie, J.W., Sherman, C.D.H., Sullivan, B.K., Trevathan-Tackett, S.M., Brodersen, K.E., Carter, A.B., Ewers, C.J., Lavery, P.S., Roelfsema, C.M., Sinclair, E.A., Strydom, S., Tanner, J.E., van Dijk, K.-J, Warry, F.Y., Waycott, M., Whitehead, S., 2017. Identifying knowledge gaps in seagrass research and management: An Australian perspective. *Marine Environmental Research* 127, 163e172.

SEAQUEST

ONTWIKKELEN VAN ZEEGRASGELETTERDHEID

seaquestproject.eu

Medegefinancierd door de Europese Unie

Gefinancierd door de Europese Unie. De geuite standpunten en meningen zijn echter uitsluitend die van de auteur(s) en weerspiegelen niet noodzakelijkerwijs die van de Europese Unie of het Nationaal Agentschap voor het Erasmus+-programma en het Europees Solidariteitskorps. Noch de Europese Unie, noch de subsidieverstrekkende instantie kan hiervoor verantwoordelijk worden gehouden.