Onderbouwing

behorende bij het advies van de directeur bureau Risicobeoordeling & onderzoek over de Risicobeoordeling zeewier; voedselveiligheid en natuur (kenmerk: 2025-010070902).

Inhoud

1 Inleiding 2
1.1 Aanleiding 2
1.2 Beschrijving van zeewier en toepassingen 3

2 Aanpak 4
2.1 Methodiek 4
2.2 Afbakening 5

3 De zeewierketen 5
3.1 Zeewierproductie 5
3.2 Beschrijving van de zeewierketen 9
3.3 Zeewierproducten 12
3.4 Zeewierconsumptie 13

4 Risico's volksgezondheid – voedselveiligheid 14
4.1 Inleiding 14
4.2 Afbakening 15
4.3 Aanpak 15
4.4 Wet- en regelgeving 17
4.5 Chemische risico's voedselveiligheid 21
4.6 Microbiologische risico's voedselveiligheid 49
4.7 Fysische risico's voedselveiligheid 69

5 Risico's natuur – uitheemse soorten 74
5.1 Inleiding 74
5.2 Afbakening 74
5.3 Aanpak 74
5.4 Europese en Nederlandse wet- en regelgeving 75
5.5 Risicobeoordeling 79

6 Referenties 91

7 Lijst met termen en afkortingen 109
7.1 Afkortingen 109
7.2 Begrippen 111

8 Bijlagen 113
Bijlage I. Aanpak onderzoeken 114
Bijlage II. Aanvullend literatuuronderzoek 115
Bijlage III. Bemonsteringsprotocol 118
Bijlage IV. Individueel geanalyseerde dioxines, DL-PCB's en NDL-PCB's 119
Bijlage V. Afkortingenlijst individuele PFAS 120
Bijlage VI. Details met betrekking tot kwantificatielimieten (LOQ) 121
Bijlage VII. Relatieve potentiefactoren PFAS 122
Bijlage VIII. Concentraties contaminanten in zeesla en suikerwier 123
Bijlage IX. Maximale veilige consumptie zeewier gecontamineerd met PFAS 126
Bijlage X. PFAS inname door de P50- en P95-consumptie van onderzocht zeewier 127
Bijlage XI. Verhouding van de totale dagelijkse PFAS inname en de maximale veilige inname . 128
Bijlage XII. Tabellen microbiologische risico's voedselveiligheid 129

1 Inleiding

1.1 Aanleiding

Zeewieren worden ook wel macroalgen genoemd en komen voor in de zee of in brakwatergebieden. Ze groeien in het wild op een harde ondergrond (bijvoorbeeld rotsen) of op zachte substraten (slib of zand) (Tiekstra, 2020) of worden geteeld (aquacultuur). Verwachtingen voor de aquacultuur van zeewier wordt zijn hoog door het potentieel van duurzame productie van (plantaardig) voedsel, (bio-based) producten en (bio)brandstoffen (EC, 2022).

In 2022 werd wereldwijd ruim 37,6 miljoen ton zeewier (natgewicht) geproduceerd in aquacultuur, een verdrievoudiging van de productie in 2000 (11 miljoen ton). Het grootste deel hiervan (circa 80%) was bestemd voor menselijke consumptie (FAO & WHO, 2022). Meer dan 97% van de wereldwijde productie vindt in Azië plaats. Het aandeel van Europa in 2019 was 0,8%, met Noorwegen, Frankrijk, Ierland en IJsland als grootste producenten (FAO & WHO, 2022). In de Europese landen waar traditioneel zeewier op het menu staat (Ierland, Frankrijk en het Verenigd Koninkrijk), wordt zeewier vooral wild geoogst (Tiekstra, 2020). De wildpluk van zeewier is niet duurzaam (RIVM, 2018) als er niet terug geplant wordt. Mede vanwege dit aspect wordt het telen van zeewier (aquacultuur) gestimuleerd door de EU. De EU ziet zeewier als een belangrijke bron van alternatieve eiwitten voor een duurzaam voedselsysteem en voedselzekerheid. Europese zeeën als de Atlantische Oceaan en de Noordzee hebben koude, nutriëntenrijke wateren en daarmee geschikte natuurlijke omstandigheden voor zeewierteelt (EC, 2022). De teelt van zeewier zou echter nadelige effecten kunnen hebben op het natuurlijke ecosysteem, zoals verstoring van het mariene ecosysteem (Campbell et al., 2019; EC, 2022), het ontstaan van plagen en ziektes die kunnen overslaan naar wilde zeewierpopulaties en de introductie van uitheemse zeewiersoorten of andere uitheemse soorten die met het zeewier geassocieerd zijn (Campbell et al., 2019; Tonk & Jansen, 2019). Ook kan de teelt van zeewier bijdragen aan de vestiging en verspreiding van uitheemse soorten waarvoor de zeewier-aquacultuur een geschikte habitat is (ACS/MSC, 2018; Tonk & Jansen, 2019).

Ook de Nederlandse overheid stimuleert (onderzoek naar) de teelt van zeewier in de Nederlandse wateren (IenW, 2022). Het Maatschappelijk Innovatie Programma 'Seaweed for Food and Feed', uit 2017 en gefinancierd door het toenmalige Ministerie van Landbouw, Natuur en Voedselkwaliteit (LNV), had tot doel multifunctionele zeewierboerderijen te ontwikkelen in de Noordzee (Ammerlaan, 2022). En ook in de LNV-visie over voedselwinning op zee en grote wateren wordt een toekomst voor de teelt van zeewier genoemd (LNV, 2024). In de Nationale Eiwitstrategie wordt zeewier expliciet genoemd als alternatieve eiwitbron (LNV, 2020). De voordelen die genoemd worden van zeewierteelt op de Noordzee zijn dat geen beslag gelegd wordt op landbouwgrond, een teelt zonder toevoeging van meststoffen en gewasbeschermingsmiddelen mogelijk is en dat geen zoetwater nodig is (Van den Burg, 2019; FAO, 2022). Andere voordelen die worden beschreven zijn het feit dat zeewier een habitat voor vissen en kleine bodemdieren zoals krabben en schelpdieren vormt (Tonk & Jansen, 2019; FAO, 2022), CO_2 opneemt en de kustzones beschermt tegen erosie. Er zijn echter ook twijfels of een grote teelt op de Noordzee realistisch is, onder andere in verband met een limiet aan beschikbare nutriënten (Vilmin & Van Duren, 2021) en praktische problemen bij teelt, oogst en vervoer naar land. Ook de verwerking van reststromen en de afzetmogelijkheden zouden nog (te) beperkt zijn (Van den Burg, 2019; Van de Meer, 2021).

In China, Japan en Korea bestaat een lange historie van het eten van zeewier (Tiekstra, 2020; FAO, 2022). In Europa wordt zeewier veel minder gegeten, maar dit neemt de laatste jaren sterk toe. De vraag naar voedingsproducten en dranken op basis van zeewier is tussen 2011 en 2015 met een factor 2,5 toegenomen, in lijn met de duurzaamheids- en gezondheidstrends om minder dierlijk en meer plantaardig voedsel te eten (EC, 2022). Ook in Nederland neemt de consumptie van zeewier en zeewierproducten toe; tussen 2009 en 2018 werden meer dan 250 nieuwe producten die zeewier bevatten geïntroduceerd op de Nederlandse markt (Banach et al., 2020b).

Zeewieren bevatten van nature eiwitten, vitamines B en C, kleine hoeveelheden vetzuren (natuurlijke omega-3 vetzuren) en verschillende mineralen zoals jodium, calcium, fosfor, magnesium, ijzer, natrium en kalium (FSAI Sci. Com., 2020; FAO, 2022; Voedingscentrum, 2022; EFSA, 2023). Het bevat een 10 tot 100 keer hogere mineraalconcentratie dan traditionele groenten (Lozano Muñoz & Díaz, 2020). De belangrijkste bestanddelen van gedroogde zeewier zijn koolhydraten (25% tot 50%), mineralen (10% tot 50%), eiwitten (7% tot 15%) en vetten (1% tot

5%). De precieze samenstelling verschilt per soort zeewier, seizoen, oogstlocatie (kwaliteit en samenstelling van het water) en leeftijd van de plant (Banach et al., 2020b; FSAI Sci. Com., 2020). Zeewier wordt als goede en duurzame vleesvervanger gezien (Van Dooren, 2015), hoewel in de meeste soorten vitamine B12 ontbreekt.

Daar staat tegenover dat uit verschillende studies blijkt dat zeewier verontreinigd kan zijn met contaminanten, die een risico voor de voedselveiligheid kunnen vormen (FAO & WHO, 2022). Veel genoemde contaminanten zijn zware metalen. Daarnaast kan zeewier hoge concentraties jodium bevatten (EFSA, 2012b;2012a;2014; Lozano Muñoz & Díaz, 2020; FAO, 2022; FAO & WHO, 2022; EFSA, 2023; Hogstad et al., 2023). Het voorkomen van contaminanten en jodium wordt bepaald door de omgeving waarin het zeewier groeit, de zeewiersoort en de leeftijd van het zeewier bij oogst. Omgevingsfactoren zoals de uitmonding (met mogelijk stroomopwaarts geloosde verontreinigingen) van een rivier en agrarische en industriële activiteiten in de buurt, kunnen dus van invloed zijn op de kwaliteit en voedselveiligheid van het geoogste zeewier (FAO & WHO, 2022; Hogstad et al., 2023). In grote lijnen worden in bruine zeewiersoorten hogere gehaltes van contaminanten gevonden dan in groene en rode soorten (FAO & WHO, 2022; EFSA, 2023).

In 2018 heeft de Europese Commissie de Aanbeveling (EU) 2018/464[1] gepubliceerd waarin zij oproept tot het monitoren van een aantal (zware) metalen en jodium in zeewier, halofyten (planten die groeien op een bodem met hoog zoutgehalte) en producten op basis van zeewier. Deze oproep deed de Commissie omdat:

- zeewier en halofyten een steeds belangrijker deel uitmaken van de consumptiepatronen van Europese consumenten;
- European Food Safety Authority (EFSA) aangeeft dat de consumptie van algenproducten rijk aan jodium kan leiden tot een te hoge gevaarlijke inname van jodium;
- EFSA aanbeveelt om de grenswaarden voor onzuiverheden in de vorm van toxische elementen te herzien voor levensmiddelenadditieven op basis van zeewier;
- de bestaande wetgeving beperkt is.

De zeewierteelt in Nederland is nog niet zo omvangrijk (Tiekstra, 2020; WUR, 2022a). Ondanks het feit dat de teelt van zeewier in Nederlandse wateren wordt gestimuleerd door de overheid, zijn nog niet alle risico's als gevolg van deze teelt in beeld.

1.2 Beschrijving van zeewier en toepassingen

Zeewier is een verzamelnaam voor een diverse groep macro-algen die over de hele wereld voorkomt (Van der Loos et al., 2021). De term wieren wordt voor macroalgen gebruikt, in tegenstelling tot microalgen waarmee eencellige of uit enkele cellen bestaande algen worden bedoeld (FAO & WHO, 2022).

De zeewieren zijn onder te verdelen in drie hoofdgroepen, gebaseerd op hun pigmentatie: van groenwieren (*Chlorophyceae)* dicht bij het wateroppervlak, via roodwieren (*Rhodophyceae*) naar bruinwieren (*Phaeophyceae*) op maximale diepte van 200 meter (McHugh, 2003; ANSES, 2020; Banach et al., 2020a; FAO & WHO, 2022). Terwijl bruine en rode wieren alleen in zoutwater voorkomen (zeewieren), komen groene wieren vooral in zoetwater voor (FAO, 2022). De grootste groep wieren zijn de roodwieren, dan volgen de bruinwieren en de groenwieren. Hoewel zeewieren vaak als planten worden beschouwd, behoren de meeste zeewieren taxonomisch gezien niet tot de planten (Van der Loos et al., 2021; Hogstad et al., 2023; Wikisage, 2025). Alleen groenwieren vallen onder de planten (Rijk *Viridiplantae*, stam *Chlorophyta*). Roodwieren zijn verwant aan planten (rijk *Rhodoplantae*, stam *Rhodophyta)* en bruinwieren behoren tot een heel andere groep (rijk *Heterokantae*, stam *Phaeophyta*) (Wikipedia, 2025). In de tekst worden alle zeewieren voor de leesbaarheid planten genoemd.

Zeewier, dat groeit in brak of zoutwater, hecht zich aan de bodem, rotsen of een ander vast substraat (Banach et al., 2020b). Er bestaan meer dan 12.000 zeewiersoorten, waarvan slechts een fractie (circa 200) van commerciële waarde is en circa tien soorten intensief geteeld worden (FAO & WHO, 2022). Bruinwieren zijn meestal groot, van kelp van wel 20 m lang tot kleinere soorten van 30-60 cm. Kelp is een orde van bruinwieren (*Laminariales*) die enkele tientallen

[1] Aanbeveling (EU) 2018/464 betreffende het toezicht op metalen en jodium in zeewier, halofyten en producten op basis van zeewier

soorten zeewieren omvat, zoals wakame (*Undaria pinnatifida*), royal kombu (*Saccharina japonica*), suikerwier (*Saccharina latissima*) en reuzenkelp (*Macrocystis pyrifera*). Rode zeewieren zijn kleiner, van enkele centimeters tot 1 meter en zijn niet altijd rood, maar bijvoorbeeld ook bruinrood of paars. In de Noordzee, de Zeeuwse en Zuid-Hollandse delta en Waddenzee komen 195 inheemse zeewiersoorten voor: 110 roodwieren en 85 bruinwieren (Stichting Anemoon, 2021; Van der Loos et al., 2021). Daarnaast worden er verschillende uitheemse soorten aangetroffen waaronder soorten die van buiten Europa afkomstig zijn (Van der Loos et al., 2021).

De belangrijkste toepassing van zeewier is consumptie (FAO & WHO, 2022). In Aziatische landen is zeewier al eeuwen een gangbaar onderdeel van het voedingspatroon (McHugh, 2003; Lähteenmäki-Uutela et al., 2021). Een andere belangrijke toepassing is het gebruik als verdikkingsmiddel (agaragar, alginaten, carrageen) in bijvoorbeeld sauzen en siroop (McHugh, 2003; FAO & WHO, 2022). Voor de Nederlandse consument is het gebruik van zeewierbladen in sushi vooral bekend. Verder wordt zeewier toegevoegd aan voedingsmiddelen als smaakmaker of als plantaardige eiwitbron.

Naast voedsel voor de mens kan zeewier ook andere toepassingen hebben. In de landbouw wordt zeewier gebruikt als diervoeder of meststof (FSAI Sci. Com., 2020; Tiekstra, 2020; FAO & WHO, 2022). Bepaalde soorten zeewier worden aan diervoeder voor koeien toegevoegd om de methaanproductie te verlagen (McHugh, 2003; Banach et al., 2020b; Lähteenmäki-Uutela et al., 2021).

Naast de toepassingen in voedsel en diervoeder, heeft zeewier ook non-food toepassingen; bijvoorbeeld als extract in cosmetica of als grondstof voor bioplastics (McHugh, 2003; FSAI Sci. Com., 2020; Lähteenmäki-Uutela et al., 2021; FAO, 2022; FAO & WHO, 2022). Ook wordt zeewier toegepast bij de productie van persoonlijke verzorgingsproducten, medische toepassingen of als biobrandstof (Banach et al., 2020b).

2 Aanpak

Deze risicobeoordeling van de zeewierproductieketen heeft als doel het inventariseren van de gevaren en het beoordelen van de risico's voor de volksgezondheid (voedselveiligheid) en de Nederlandse natuur (effecten op de biodiversiteit en het aquatische ecosysteem veroorzaakt door uitheemse soorten waaronder exoten) die samenhangen met de teelt en consumptie van zeewier in Nederland.
De vragen die BuRO op eigen initiatief heeft gesteld zijn:

1. Zijn er risico's voor de gezondheid van de consument door de consumptie van in Nederland geteeld zeewier en/of door de consumptie van zeewierproducten op de Nederlandse markt?

2. Zijn er risico's voor de natuur in Nederland door de introductie, vestiging en verspreiding van uitheemse soorten als gevolg van de teelt van zeewier in Nederlandse wateren?

Voor deze risicobeoordelingen is een aantal onderzoeken in opdracht van BuRO en een aantal in opdracht van LVVN uitgevoerd. Met betrekking tot de voedselveiligheid hebben Wageningen Food Safety Research (WFSR), Wageningen Food & Biobased Research (WFBR) en Rijksinstituut voor Volksgezondheid en Milieu (RIVM) een serie onderzoeken uitgevoerd (2018 tot en met 2025). Voor de risico's voor de natuur heeft GiMaRIS in samenwerking met Wageningen Marine Research (WMR) drie onderzoeken naar uitheemse soorten uitgevoerd (2019, 2020 en 2025). Op basis van deze rapporten en aanvullende literatuur heeft BuRO de risicobeoordeling opgesteld. Zie bijlage I voor een uitgebreidere beschrijving van de aanpak en de onderzoeken. Aan het eind van de tekst is een lijst met afkortingen en begrippen opgenomen.

2.1 Methodiek

Om tot een beoordeling te komen van de risico's voor de volksgezondheid (voedselveiligheid) en natuur (uitheemse soorten) volgt BuRO vier stappen in de risicobeoordeling. Deze methodiek is gebaseerd op die van de Codex Alimentarius en de werkwijze van EFSA. De vier stappen zijn als volgt:

1. Gevareninventarisatie: inventarisatie van mogelijke gevaren
2. Gevarenkarakterisatie: beschrijving van mogelijke effecten van de gevaren

3. Blootstellingsschatting: inschatting van de mate waarin het gevaar voorkomt en effect veroorzaakt
4. Risicokarakterisatie: conclusie over het risico op basis van de gevarenkarakterisatie en de blootstellingsschatting

2.2 Afbakening

In deze risicobeoordeling worden niet meegenomen: diergezondheid (zeewier als ingrediënt in diervoeders), productveiligheid (zeewier als ingrediënt in consumentenproducten) en 'plant'gezondheid (mogelijke ziektes en plagen in de zeewierteelt).

3 De zeewierketen

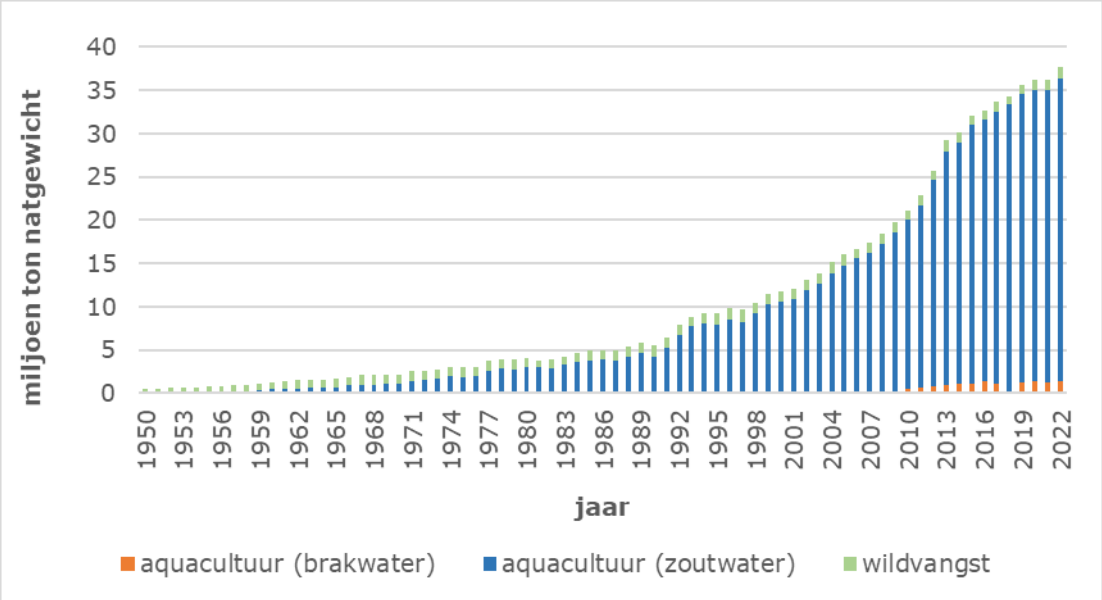
3.1 Zeewierproductie

3.1.1 Wereldwijd

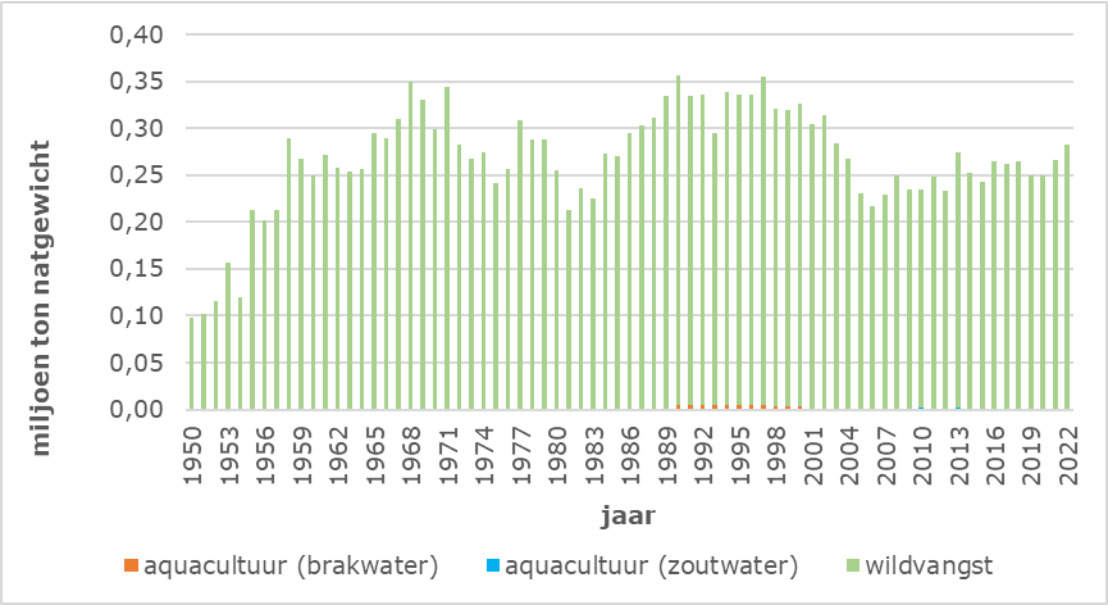
Tot halverwege de jaren 60 van de twintigste eeuw was wildvangst wereldwijd de belangrijkste bron voor de productie van zeewier. Onderzoek naar de levenscyclus van zeewier heeft ertoe geleid dat de teelt van zeewier zich heeft kunnen ontwikkelen (McHugh, 2003). Wereldwijd is een exponentiele groei te zien van de zeewierproductie (inclusief algen en zeewieren die niet voor consumptie bestemd zijn) van ruim een half miljoen ton in 1950 naar ruim 37,6 miljoen ton (natgewicht) in 2022 (Figuur 1). De aquacultuur (vooral de zoutwaterteelt van *Saccharina japonica* en *Eucheuma* spp.) neemt enorm toe sinds de jaren 90 en levert sinds 2011 meer dan 95% van de wereldproductie van zeewier, met als grootste producenten China (bijna 22,6 miljoen ton in 2022) en Indonesië (ruim 9,3 miljoen ton in 2022).

De wildvangst leverde in 2022 nog slechts 3,3% van de totale zeewierproductie, met Chili, China en Noorwegen als de drie belangrijkste producenten. De hoeveelheden die de teelt van zeewier in brakwater (vooral in Indonesië met voornamelijk *Gracilaria* spp.) oplevert wereldwijd is verwaarloosbaar ten opzicht van de zoutwaterteelt (Figuur 1) (FAO, 2024).

De zeewiersoorten met de hoogste wereldwijde productie sinds 2013 zijn *Saccharina japonica* (bruinwier; bijna 11 miljoen ton in 2022, voornamelijk China), *Eucheuma* spp. (roodwier; circa 7,8 miljoen in 2022, voornamelijk Indonesië) en *Gracilaria* spp. (roodwier; circa 7,6 miljoen ton in 2022, voornamelijk China en Indonesië) (FAO, 2024).



Figuur 1 Wereldwijde productie van zeewier, 1950-2019 (miljoen ton natgewicht per jaar) (op basis (FAO, 2024)).



Figuur 2 Productie van zeewier in Noorwegen, Frankrijk, Ierland en IJsland, 1950-2019 (miljoen ton natgewicht per jaar) (op basis (FAO, 2024)).

3.1.2 Europa

In Europa schommelde de zeewierproductie tussen 1960 en 2022 tussen 200.000 en 350.000 ton (natgewicht) zeewier per jaar (FAO, 2021;2024). De Europese productie komt sinds de jaren '80 in de 20ste eeuw vrijwel geheel uit Noorwegen (60%), Frankrijk (21%), met een gezamenlijke productie van 231.428 ton in 2022 (FAO, 2024) (Figuur 2). In tegenstelling tot de Aziatische productie is in Europa de wildvangst van zeewier het belangrijkste (>98%), vooral bruinwieren. Aquacultuur in Europa vindt sinds 2014 voornamelijk plaats in Ierland, Noorwegen en Frankrijk, met als belangrijkste soorten *Saccharina japonica* en soorten uit de soortgroepen *Euchema* spp*. en Gracilaria* spp*.*. Het gaat om honderdduizenden tonnen zeewier per jaar (FAO, 2024).

In Noordwest Europese landen die rond de Noordzee liggen (Nederland, Frankrijk, Ierland, Verenigd Koninkrijk, Denemarken) worden circa 30 verschillende soorten zeewier geteeld en/of verzameld. In Nederlandse wateren worden verschillende uitheemse soorten aangetroffen waaronder soorten die van buiten Europa afkomstig zijn (Gittenberger et al., 2020b).

3.1.3 Nederland

De zeewierteelt in Nederland bestaat nog niet zo lang. Sinds de jaren '10 van de 21-ste eeuw is een aantal telers actief. Zeewier wordt geteeld aan lijnen op waddenplaten in de Waddenzee, in open water van de Noordzee en in de Oosterschelde (estuarium). Daarnaast wordt geëxperimenteerd met de teelt van zeewier in zoutwaterbassins op land (Banach et al., 2020b; Gittenberger et al., 2020b). Het meeste zeewier dat in Nederland wordt geteeld, is bestemd voor consumptie door de mens (Banach et al., 2020b). Daarnaast is een groot deel van de teelt van zeewier nog in de experimentele fase (Gittenberger et al., 2020b).

Zeewiersoorten die in Nederland worden geteeld, zijn verschillende zeesla soorten (*Ulva* spp), suikerwier (*Saccharina latissima*), vingerwier (*Laminaria digitata*), wakame (*Undaria pinnatifida*, Japans bessenwier (*Sargassum muticum*), stijf priemwier (*Agardhiella subulata*) en palmwier (dulse, *Palmaria palmata*) (Tabel 1, Figuur 3) (Gittenberger et al., 2020b)). De meest geteelde soorten zijn suikerwier en verschillende soorten zeesla (*Ulva* spp.). Deze verschillende soorten zeesla (*Ulva* spp.) zijn echter met het blote oog of met behulp van een microscoop moeilijk te onderscheiden. Daarom is het vaak onduidelijke welke soort *Ulva* precies geteeld wordt (Gittenberger et al., 2020b).

Vier van de zeven zeewiersoorten uit Tabel 1 (zeesla (specifiek *Ulva lactuca*), suikerwier, vingerwier en wakame) waren al voor 15 mei 1997 op de markt als voedsel(ingrediënt) en zijn als zodanig opgenomen in de EU Novel food catalogus.

Figuur 3 Belangrijkste soorten in Nederlandse zeewierteeltsystemen en/of wildvangst:[A] zeesla (*Ulva* spp.); [B] suikerwier (*Saccharina latissima*); [C] vingerwier (*Laminaria digitata*); [D] wakame (*Undaria pinnatifida*); [E] Japans bessenwier (*Sargassum muticum*); [F] stijf priemwier (*Agardhiella subulata*) en [G] palmwier (dulse, *Palmeria palmata*) Overgenomen uit (Gittenberger et al., 2020b).

Tabel 1 In Nederland geteelde zeewiersoorten.

Nederlandse naam	Latijnse naam	Kleur	Groei-temperatuur	Teeltseizoen in Nederland[1]	Gebruik[1]
Zeesla	*Ulva* spp.	groen	<18 ºC	zomer	voedsel diervoeder biostimulant[3]
Suikerwier	*Saccharina latissima*	bruin	15 ºC	winter	voedsel biostimulant
Vingerwier	*Laminaria digitata*	bruin	<18 ºC	winter	voedsel diervoeder biostimulant
Wakame	*Undaria pinnatifida*	bruin	5-15 ºC[2]	winter	voedsel biostimulant
Japans bessenwier	*Sargassum muticum*	bruin	10-30 ºC	zomer	voedsel
Palmwier	*Palmaria palmata*	rood	15-20 ºC	n.v.t., alleen in gesloten bakken.	kweek entmateriaal (bestemd voor Ierland)
Stijf priemwier	*Agardhiella subulata*	rood	-	winter	voedsel

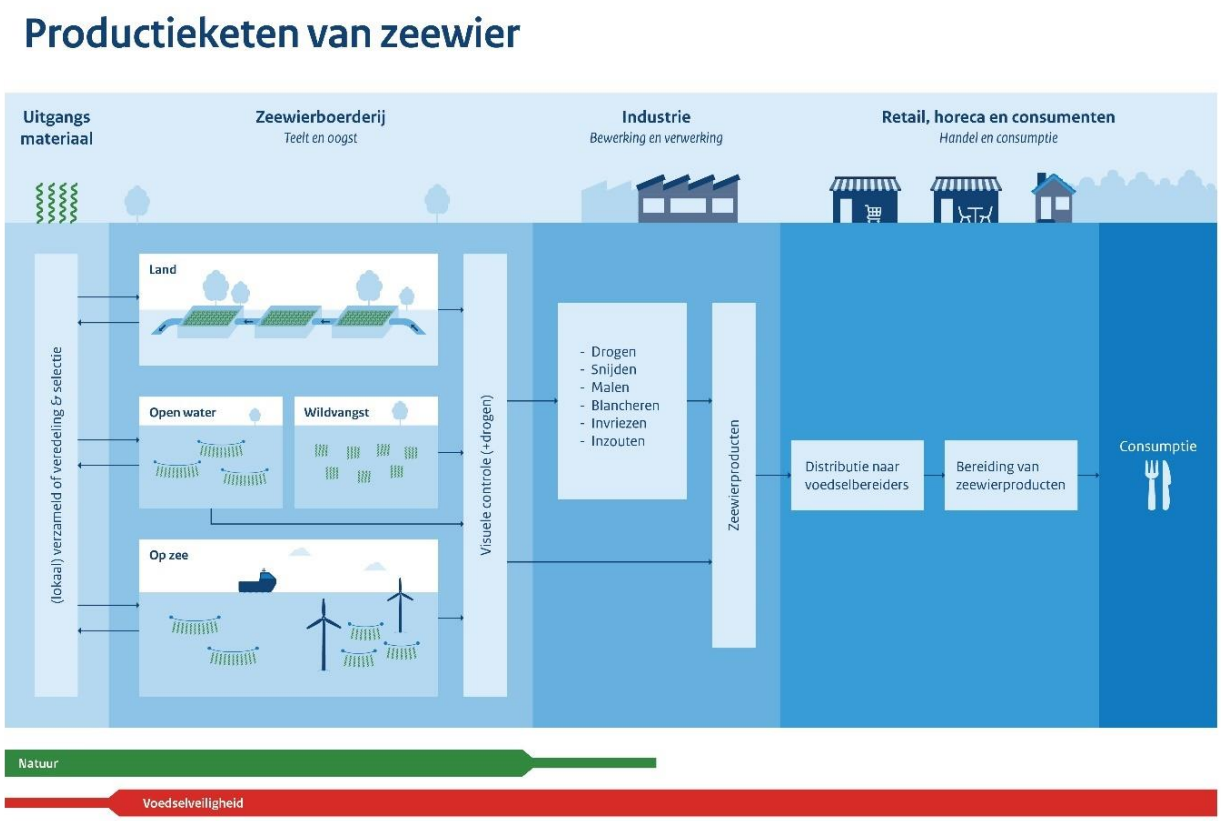
[1] (Gittenberger et al., 2020a)
[2] (McHugh, 2003)
[3] biostimulant stimuleert de natuurlijke voedingsprocessen van planten (Ctgb, 2025)

Tabel 2 Ketenschakels van de productieketen van zeewier.

Ketenschakel		Fase
1	uitgangsmateriaal	primaire fase: veredelaar en kweker van uitgangsmateriaal lokaal verzameld uitgangsmateriaal
2	teelt, oogst, transport en opslag van zeewier	primaire fase (zeewierboerderij): teler of wildvangst
3	bewerking van zeewier, verwerking tot zeewierproduct en verpakking van zeewier(producten).	secundaire fase: producenten van zeewierproducten
4	distributie van zeewier(producten) naar voedselbereiders (horeca, grote cateraars zoals restaurants, kantines, scholen, ziekenhuizen en cateringbedrijven) en retail en de bereiding van zeewier(producten)	tertiaire fase: handel, distributie en consumptie

3.2 Beschrijving van de zeewierketen

Voor deze risicobeoordeling wordt de zeewierketen beschreven en onderverdeeld in vier ketenschakels (Figuur 4,Tabel 2).

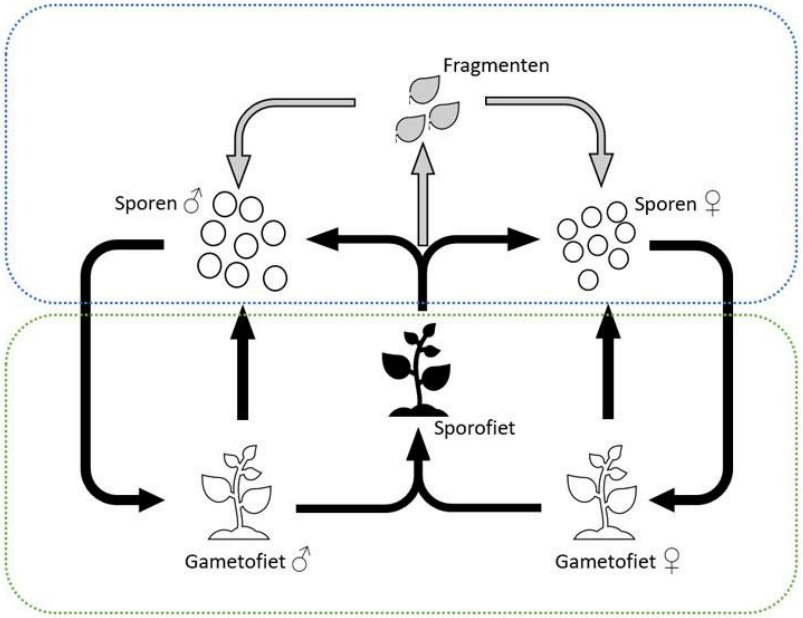


Figuur 4 De productieketen van zeewier in Nederland in vier ketenschakels. De import van zeewier en zeewierproducten is niet in de figuur opgenomen.

3.2.1 Ketenschakel uitgangsmateriaal

Zeewier vermenigvuldigt zich door middel van microscopisch kleine mannelijke en vrouwelijke sporen. Deze sporen maken in het water deel uit van het fytoplankton en 'zwemmen' in het water. Net na het eerste stadium (voorkiem ofwel gametofiet), als de sporen gegroeid zijn en met het blote oog zichtbaar zijn, kunnen ze zich hechten op een substraat zoals schelpen (Banach et al., 2020b; Gittenberger et al., 2020a). De mannelijke voorkiemen ontwikkelen zaadcellen die de eicel-achtige structuren van de vrouwelijke voorkiemen bevruchten. Na de bevruchting ontwikkelt zich een volwassen en vruchtbaar zeewier (sporofiet). Zeewier in de zeewierteelt wordt doorgaans geoogst vlak voordat het zich gaat vermenigvuldigen (Gittenberger et al., 2020a).

Er zijn ook zeewiersoorten die zich voortplanten via zogenaamde vegetatieve (aseksuele) voortplanting. Kleine stukjes van het zeewier kunnen weer verder uitgroeien (McHugh, 2003).



Figuur 5 Schematische weergave van mogelijke levenscycli van wieren. De stadia in de bovenste helft van de figuur zijn 'vrij levend', in de onderste helft vastgehecht. Niet elke soort doorloopt al deze levensstadia. Overgenomen uit (Gittenberger et al., 2020a).

Er is in Nederland één bedrijf gevestigd dat specifiek entmateriaal voor zeewier opkweekt waaronder ook entmateriaal van uitheemse soorten. Het bedrijf krijgt zeewier van Ierland, Noorwegen en andere plekken in Europa. Dit wordt gebruikt als uitgangsmateriaal waaruit entmateriaal wordt opgekweekt, dat weer wordt verkocht aan telers in het land van herkomst (Gittenberger et al., 2020b).

Nederlandse zeewiertelers gaven in 2019 aan dat zij zeewier dat langs de Nederlandse kust is verzameld als uitgangsmateriaal gebruiken (Gittenberger et al., 2020b).

3.2.2 Ketenschakel teelt en oogst

De teelt van het entmateriaal kan op verschillende manieren plaatsvinden, afhankelijk van de zeewiersoort en het water waarin de teelt plaatsvindt: met lijnen of netten in open water, met behulp van kunstmatig substraat of direct op de bodem van open water of in bassins.

Bruinwieren en roodwieren groeien van het najaar tot het late voorjaar/zomer, terwijl de groenwieren in de zomer groeien (Gittenberger et al., 2020a).

3.2.2.1 Open watersystemen

Entmateriaal dat in lijnen aangebracht is, geeft de zogenaamde zaailinglijnen. Het zeewier groeit vanaf de lijnen, waarbij de lijnen horizontaal en/of verticaal in het water hangen (hangcultures), afhankelijk van hoeveelheid licht (geografische locatie, troebelheid water). De open zee langs de kust en de estuaria in Nederland zijn relatief troebel, zodat de zeewierlijnen dicht onder het oppervlak worden gehouden om voldoende licht op te vangen. Lijnen worden op de plaats gehouden door boeien (Gittenberger et al., 2020b; Faassen et al., 2022). Op kleine schaal is er ook teelt van zeewier dat spontaan hecht en groeit op lijnen die in het water zijn geplaatst met boeien om ze te laten drijven (Gittenberger et al., 2020b).

In Nederland worden de mogelijkheden onderzocht van hangcultuurteelt van zeewier in windmolenparken op de Noordzee (Gittenberger et al., 2020a; Verhoef, 2020; North Sea Farmers, 2022; WUR, 2022b; Deltares, 2024), samen met zonneparken op zee (Oceansofenergy, 2020) en in combinatie met de productie van schelp- en schaaldieren.

Zeewierteelt kan uit één soort zeewier in een veld (monocultuur) bestaan, maar ook een combinatie van meerdere soorten komt voor (Faassen et al., 2022).

Bij productie op grote schaal op zee zijn, naast zonlicht, stikstof of fosfaat meestal de limiterende factor voor de groei van zeewier. Daarnaast kunnen koper en zink ook limiterend voor de groei zijn of op grote diepte mangaan en kobalt. Bij te hoge nutriëntgehaltes kan de zeewiergroei geremd worden door onvoldoende licht als gevolg van overmatige algenbloei (eutrofiëring) (Banach et al., 2020b; Faassen et al., 2022).

Oogsten gebeurt door met een boot langs lijnen te varen en het zeewier af te knippen, of door de hele lijn binnen te halen. Wanneer zeewier gedeeltelijk wordt geoogst groeit het weer aan en kan zodoende mogelijk, afhankelijk van de soort, meerdere keren per jaar geoogst worden.

3.2.2.2 Teelt in zoutwaterbassins op land

In Nederland vindt teelt van zeewier ook plaats op land in verschillende bassins van kunststof of beton. Dit kunnen afgedekte of open bassins zijn. De bassins worden door een pijplijn gevuld en gevoed met lokaal zeewater. Soms zijn dit gesloten systemen, soms is er via een afvoer een open verbinding met het buitenwater (Banach et al., 2020b; Gittenberger et al., 2020b).

3.2.2.3 Wildvangst

In Nederland heeft een aantal bedrijven toestemming om wilde zeewier te oogsten in de Waddenzee en de Oosterschelde (Faassen & Van Tuinen, 2019). Bij wildvangst kan losse zeewier aan de kust worden verzameld, of gedeeltelijk afgeknipt worden zodat het zeewier weer verder aan kan groeien (Banach et al., 2020b). Handmatig verzamelen van zeewier in het wild gebeurt bij laagwaterstanden in de Zuidwest delta en de Waddenzee. Meerdere soorten zeewier worden op deze manier verzameld.

In de Oosterschelde wordt zeewier met behulp van een snij-kor geoogst. Het zeewier wordt dan boven de voet afgesneden. Op deze manier kan het zeewier zich weer herstellen en is de bodemberoering beperkt. Meerdere soorten wieren worden zo geoogst, zoals zeesla (*Ulva* spp.), wakame (*Undaria pinnatifida*), stijf priemwier (*Agardhiella subulata*) Japans bessenwier (*Sargassum muticum*) (Gittenberger et al., 2020b).

3.2.3 Ketenschakel bewerking en verwerking

Na de oogst van zeewier in open water wordt het zeewier met behulp van boten aan land gebracht om bewerkt en verder verwerkt te worden. Om de kosten van het verdere transport te beperken kan eerst een ontwateringsstap worden uitgevoerd. Verder zijn veel voorkomende handelingen een visuele controle op ongewenste objecten waarbij tevens verschillende soorten zeewier worden gescheiden, wassen (spoelen) om onder andere zout en onzuiverheden te verwijderen en daarna centrifugeren (Banach et al., 2020b). Voor het zeewier wordt opgeslagen, wordt het meestal eerst gedroogd aan de lucht of gedroogd door centrifugeren met of zonder gelijktijdige verhitting (Banach et al., 2020b; FSAI Sci. Com., 2020; Van Tuinen et al., 2023).

Als zeewier na de oogst niet direct wordt verpakt en geconsumeerd moet het snel verwerkt worden, omdat het snel verrot. De eerste stap van de verwerking kan drogen zijn (aan de lucht of machinaal) (Van den Burg, 2019). Wanneer al het aanwezige water uit zeewier verwijderd wordt blijft ongeveer 5% tot 30% van het gewicht aan zeewier over (drooggewicht) (Banach et al., 2020b). Daarna kan het gedroogde zeewier nog worden vermalen (FAO & WHO, 2022). Andere technieken die tijdens de verwerking worden gebruikt zijn invriezen, fermenteren, desgewenst vooraf gegaan door het fijn snijden van het zeewier, blancheren of inzouten. Na één of meerdere bewerkings- en/of verwerkingsstappen kan zeewier worden toegevoegd als ingrediënt aan levensmiddelen (FAO & WHO, 2022) of als 100% zeewierproduct worden verkocht.

3.2.4 Ketenschakel handel en consumptie

De Nederlandse import van zeewier komt vooral uit China en Japan naast de invoer vanuit Duitsland, België, Frankrijk en Spanje. De totale import en invoer in de periode van 2017 tot en met 2022 ligt op ruim 3 miljoen kg drooggewicht zeewier. De totale import/invoer in diezelfde periode lag voor de hele EU op bijna 50 miljoen kg drooggewicht zeewier (Eurostat, 2023).

In steeds meer supermarkten en speciaalzaken in Nederland zijn zeewierproducten te koop. Die kunnen op basis van in Nederland geteeld zeewier zijn geproduceerd, maar een groot deel van de zeewierproducten is geïmporteerd. Ook restaurants hebben steeds vaker zeewier op het menu staan. Er zijn zeewiertelers die direct aan restaurants leveren, zonder tussenkomt van een handelaar (The Dutch Weed Burger, 2023).

Bereidingsstappen voor de consumptie van zeewier zijn weken (hydratatie) en/of wassen en/of verhitten (blancheren, koken, braden, frituren) (FAO & WHO, 2022; Nijssen, 2022; EFSA, 2023; Van Tuinen et al., 2023).

3.3 Zeewierproducten

Er is een groot aanbod aan voedingsmiddelen op basis van zeewier waarbij het om zeer uiteenlopende producten gaat. Er zijn producten die volledig uit zeewier bestaan, zoals zeewiervellen (kelp als verzamelnaam voor grootbladige bruine zeewieren) die bijvoorbeeld voor sushi gebruikt worden en producten waarin zeewier slechts in kleine hoeveelheden verwerkt is als smaakmaker (bijvoorbeeld kruiden- of specerijmixen) (Van den Burg, 2019). In bijvoorbeeld zeewierburgers, zeewierwraps en diverse zeewierpasta's variëren de percentages zeewier van enkele procenten tot ruim 50% (Van den Burg, 2019). Gedroogde zeewierproducten zijn het meest gangbaar. Ze worden gebruikt als garnering of als (gedeeltelijke) vervanging van meel in pasta, brood en andere graanproducten. Vers zeewier wordt toegevoegd aan salades, gemixt in fruitshakes, of meegekookt met rijst en bonen (FAO & WHO, 2022). Tussen 2011 en 2015 is de Europese markt voor zeewierproducten 7% gegroeid (Banach et al., 2020a). In de periode 2012-2021 zijn gemiddeld per jaar 250 nieuwe producten met zeewier als ingrediënt verschenen op de Europese markt (EFSA, 2023).

3.3.1 De Nederlandse markt

Ook in Nederland is er de laatste jaren een toename van het aantal zeewierproducten. Tussen 2009 en 2018 zijn 255 nieuwe producten op basis van zeewier op de Nederlandse markt gekomen (Database van Innova Market Insights). Dit zijn vooral producten zoals snacks (Japanse mix, chips en sushi; n=90), bakkerijproducten (n=29) en kant-en-klaar producten & bijgerechten zoals salades (n=29) (Banach et al., 2020b).

Informatie over samenstelling van producten die in Nederland in de handel worden gebracht is beschikbaar via de levensmiddelendatabase FoodSciffer. Dit is een database die informatie bevat over levensmiddelen die afkomstig zijn van retailers, fabrikanten en groothandel. De informatie in deze database is afkomstig van het etiket van de producten. In april 2022 stonden er 702 producten met zeewier in deze database. De grootste groepen zeewierproducten is 'zeewier als groente' en vegetarische producten met zeewier (17%), daarna visproducten (15%), gevolgd door 'pinda's, noten, zaden, zoutjes' (9%), soepen en sauzen (9%), kruiden en specerijen (8%) en rijstproducten (8%). De restgroep (11%) bestaat uit de meest uiteenlopende producten waarin zeewier is verwerkt: van bier tot koekjes en van chocolade tot ontbijtgranen (Nijssen, 2022).

Voor de meeste producten echter staat op het etiket niet vermeld hoeveel zeewier het product bevat. Op slechts 15% van de ruim 700 producten stond een percentage zeewier vermeld (Nijssen, 2022). Dit zijn gedroogde of geroosterde zeewiervellen en producten zoals salades, diverse snacks en kruiden en specerijen. Het percentage zeewier in deze producten loopt van enkele tienden van procenten (een courgettesoep) tot 100% zeewier, zoals zeewiervellen die voor sushi worden gebruikt of als snack worden geconsumeerd of tot zeewierpoeder worden verwerkt. Zeewiersalades bevatten 70-80% zeewier (in tegenstelling tot salades met zeewier (enkele procenten)), voor snacks varieert dat tussen 40 en 80% en voor soepen en sauzen wordt rond de 30% zeewier vermeld, de pastaproducten bevatten enkele procenten zeewier.

Voor circa 20% van de zeewierproducten staat op het etiket ook het soort zeewier vermeld (Nijssen, 2022). Van deze producten is dat in circa 10% een mengsel van twee of meerdere zeewieren. De soorten zeewier die het meest vermeld worden, zijn: kelp (circa 28%), nori (*Porphyra,* 24%), kombu (23%) en wakame (*Undaria,* 22%). Dulse (palmwier, *Palmaria palmata*) wordt in circa 10% van de producten vermeld, maar dan vrijwel altijd in een mengsel met andere zeewieren.

Het overgrote deel van de zeewierproducten op de Nederlandse markt bestaat uit geïmporteerde producten uit Azië. Er is een aantal zeewierproducten verkrijgbaar op basis van in Nederland geteeld zeewier, zoals de Dutch Weed Burger en Sea Nuggets met zeewier uit de Oosterschelde (The Dutch Weed Burger, 2023).

3.4 Zeewierconsumptie

In Azië behoort zeewier tot het reguliere voedingspakket, met als belangrijkste toepassingen soepen en sushi. Maar ook in Europa is de consumptie van zeewier niet nieuw, en staat het regelmatig op het menu bij inwoners van kustgebieden (bijvoorbeeld Frankrijk, Verenigd Koninkrijk Duitsland, Spanje en Ierland)(FSAI Sci. Com., 2020). De introductie van de Aziatische keuken en dan speciaal sushi uit Japan heeft gezorgd voor een toename van zeewierconsumptie in Europa. Een toename van de consumptie wordt verder versterkt doordat zeewier steeds meer gezien wordt als een natuurlijk, gezond en lokaal geproduceerd voedingsmiddel (Banach et al., 2020b). Het blijkt dat vooral consumenten die vis eten vaker zeewier eten dan consumenten die vaak vlees eten (Banach et al., 2020b).

3.4.1 Consumptiedata buiten Nederland

Data met betrekking tot de consumptie van zeewier zijn zeer beperkt (FAO & WHO, 2022). Omdat consumptiegegevens van Europese consumenten ontbraken, hebben Deense onderzoekers aangenomen dat eenmaal per week 5 gram droog zeewier geconsumeerd wordt (Sá Monteiro et al., 2019). Dit komt overeen met een consumptie van 0,7 (=5/7) gram droog zeewier per dag.

Uit een Franse voedselconsumptiepeiling (2014 – 2015) blijkt dat zeewier en zeewierproducten door slechts een klein gedeelte van de Fransen geconsumeerd wordt. De gemiddelde consumptie van zeewier door zeewierconsumenten op de dagen dat zij ook daadwerkelijk zeewier aten was 6,1 g per dag door volwassenen (n=10) en 5,4 g per dag door kinderen (n=4). Of het drooggewicht of natgewicht betreft wordt niet vermeld in de publicatie (Carne et al., 2022).

Tussen november 2020 en februari 2021 onderzochten Ficheux en collega's de zeewierproductconsumptie van Franse volwassenen (n=780) door middel van een online vragenlijst. Zeewierproducten waren onder andere groente bij een maaltijd, sushi, misosoep, salade, brood, pasta, chips, tartaar, visrillettes, mosterd, zout, kaas en dranken. Negenentachtig procent van de respondenten (n=692) had de afgelopen twaalf maanden minimaal één zeewierproduct (bijvoorbeeld sushi) geconsumeerd. De auteurs concludeerden dat de zeewierconsumptie door middel van zeewierproducten in de algemene bevolking 293±905 mg per dag was (P95=1101 mg/dag). Of het drooggewicht of natgewicht betreft wordt niet vermeld in de publicatie (Ficheux et al., 2022).

Consumptiegegevens uit Aziatische landen laten een geschatte dagelijkse consumptie van droog zeewier zien van 5,2 gram in China, 4-7 gram in Japan en 8,5 gram in Zuid Korea (Hwang et al., 2010; Zava & Zava, 2011; Chen et al., 2018). In een andere studie lag de geschatte gemiddelde dagelijkse consumptie van droog zeewier in Japan lager (1,7 gram/dag) (Vellinga et al., 2022).

3.4.2 Nederlandse consumptiedata

In Nederland is het RIVM belast met het verzamelen van voedselconsumptiegegevens (voedsel, dranken). Dit wordt gedaan door middel van de voedselconsumptiepeiling (VCP). De VCP uit de periode 2012-2016, bestaande uit 2078 deelnemers, bevat vier deelnemers die zeewier geconsumeerd hebben (gemiddeld 15,2 g/dag) (Van Rossum et al., 2020; Vellinga et al., 2022). Of het drooggewicht of natgewicht betreft wordt niet vermeld in de publicaties. Het aantal ondervraagden in de VCP dat aangeeft zeewier te consumeren is te klein om voldoende inzicht te krijgen in de consumptie van zeewier en zeewierproducten door de Nederlandse bevolking.

Om beter inzicht te krijgen in de zeewierconsumptie heeft het RIVM, in opdracht van BuRO, aanvullend onderzoek uitgevoerd door middel van een vragenlijstonderzoek onder een representatieve steekproef van de Nederlandse bevolking (Dinnissen et al., 2020). In totaal zijn 2710 vragenlijsten ingevuld voor 1- t/m 80-jarigen. Voor kinderen tot en met 15 jaar is de vragenlijst door de ouders/verzorgers ingevuld. Van 2710 deelnemers hadden 1238 mensen wel eens zeewierproducten geconsumeerd en hadden 632 mensen de afgelopen vier weken zeewierproducten geconsumeerd (i.e. zeewiergebruikers).

RIVM concludeerde dat een kwart van de deelnemers regelmatig zeewier(producten) at en dat zeewier(producten) gegeten wordt in alle lagen van de bevolking. In vergelijking met anderen eten hoogopgeleiden, mensen die meer dan modaal verdienen, bewoners van steden en jongvolwassenen vaker zeewier(producten). De meeste zeewier wordt gegeten in de vorm van chips/kroepoek met zeewier, noedels op basis van zeewier, zeespaghetti, wraps met zeewier en zeewiersalade (Dinnissen et al., 2020). Tabel 3 geeft een overzicht van de consumptie van zowel

Tabel 3 Consumptie van nat en droog zeewier in gram/dag door 1- t/m 80-jarige zeewiergebruikers (n=632) opgesplitst naar leeftijdsgroepen. Tussen haakjes is het 95% betrouwbaarheidsinterval weergegeven (Dinnissen et al., 2020).

Consumptie nat zeewier (g/dag*)					
Consument	**N**	**Gemiddelde**	**P50**	**P90**	**P95#**
1- t/m 17-jarigen§	56	31,8 (12,5-51,1)	6,5 (1-11,9)	54,6 (0-221)	249,6 (64,5-434,7)
18- t/m 80-jarigen	576	16,5 (12,9-20,2)	3,3 (2,6-3,9)	33,4 (14,1-52,8)	93,9 (25,1-161,4)
18- t/m 50-jarigen	296	20,2 (14,2-26,1)	3,3 (2,6-4,1)	43,3 (0-90,1)	128,8 (24,9 – 232,7)
51- t/m 80-jarigen	280	9,8 (7-12,5)	2,8 (1,6-3,9)	20 (7,8-32,3)	36,3 (0-78,8)
Consumptie droog zeewier (g/dag)					
Consument	**N**	**Gemiddelde**	**P50**	**P90**	**P95#**
1- t/m 17-jarigen§	56	4,5 (1,8-7,3)	0,9 (0,1-1,7)	7,8 (0-31,6)	35,7 (9,2-62,1)
18- t/m 80-jarigen	576	2,4 (1,8-2,9)	0,5 (0,4-0,6)	4,8 (2,0-7,5)	13,3 (3,6-23,1)
18- t/m 50-jarigen	296	2,9 (2,0-3,7)	0,5 (0,4-0,6)	6,2 (0-12,9)	18,4 (3,6-33,2)
51- t/m 80-jarigen	280	1,4 (1,0-1,8)	0,4 (0,2-0,6)	2,9 (1,1-4,6)	5,2 (0,0-11,3)

*Met behulp van de aangegeven frequentie van consumptie en de aangegeven hoeveelheid in grammen is berekend wat de gemiddelde consumptie van dat product is per dag in grammen per dag.
§De resultaten van 1- t/m 17-jarige zeewiergebruikers zijn gebaseerd op minder dan 100 waarnemingen.
#Deze resultaten worden beïnvloed door de metingen van personen met extreme rapportage van de consumptie.

nat als droog zeewier door zeewiergebruikers (n=632) opgesplitst in verschillende leeftijdscategorieën. Hierbij zijn de consumptiehoeveelheden berekend op basis van het (geschatte) percentage zeewier in de geconsumeerde zeewierproducten. RIVM is verder bij de berekening uitgegaan van het feit dat 100 g nat zeewier overeenkomt met 15 g droog zeewier (100 g nat zeewier bestaat voor 85% uit water) (Dinnissen et al., 2020).

4 Risico's volksgezondheid – voedselveiligheid

4.1 Inleiding

Voedingsmiddelen mogen niet in de handel worden gebracht als ze onveilig zijn. Levensmiddelen zijn onveilig als ze schadelijk zijn voor de gezondheid of als ze ongeschikt zijn voor menselijke consumptie (Algemene Levensmiddelenverordening (ALV, Verordening (EG) nr. 178/2002)[2].

Onveilig heeft met gevaar te maken, wat wordt omschreven als "een biologisch, chemisch of fysisch agens in een levensmiddel, of de toestand van een levensmiddel, met mogelijke nadelige gevolgen voor de gezondheid" (Verordening (EG) nr. 178/2002). Het bijbehorende risico van een gevaar is omschreven als de "functie van de kans op een nadelig gezondheidseffect en de ernst van dat effect". Ondanks alle maatregelen die worden getroffen om te zorgen dat ons voedsel veilig is, komen er agentia (chemisch, microbiologisch, fysisch) in ons eten voor die schadelijk kunnen zijn voor de gezondheid. Dat kan leiden tot nadelige gezondheidseffecten en daarmee tot ziektelast.

Chemische gevaren zijn stoffen die vanuit de omgeving in voedsel terechtkomen (bijvoorbeeld milieucontaminanten), daar aan worden toegevoegd (bijvoorbeeld voedseladditieven), of gevormd worden tijdens bewerking van voedsel (procescontaminanten).

[2] Verordening (EG) Nr. 178/2002 tot vaststelling van de algemene beginselen en voorschriften van de levensmiddelenwetgeving, tot oprichting van een Europese Autoriteit voor voedselveiligheid en tot vaststelling van procedures voor voedselveiligheidsaangelegenheden

Onder biologische gevaren van een levensmiddel worden ziekteverwekkende micro-organismen (pathogenen) en antibioticaresistentie van micro-organismen verstaan die via levensmiddelen op de mens kunnen worden overgedragen.

Blootstelling aan chemische stoffen in voedsel leidt meestal niet tot direct aantoonbare ziektelast (Van Kreijl et al., 2004). Dat komt omdat chemische stoffen meestal pas na langdurige blootstelling effecten veroorzaken voor de gezondheid, in tegenstelling tot micro-organismen, die binnen uren of dagen of hooguit enkele weken ziekte veroorzaken. Voor sommige chemische stoffen is er soms wel sprake van acute effecten als gevolg van een hoge blootstelling.

Fysische gevaren in voedsel zijn 'vreemde voorwerpen' die onbedoeld in een voedingsmiddel aanwezig kunnen zijn en vervolgens bij gebruik of consumptie van het product een gevaar voor de gezondheid van de consument kunnen vormen. Daarbij gaat het om vreemde voorwerpen of fragmenten daarvan, zoals stenen, glas, dierlijk materiaal, plantaardig materiaal (inclusief hout), metaal en plastics (inclusief nano- en microplastics). Alle drie de invalshoeken (chemisch, microbiologisch en fysisch) van voedselveiligheid worden in deze ketenbeoordeling over zeewier belicht.

4.2 Afbakening

Deze risicobeoordeling gaat over zeewier als voedsel. Hierbij zijn voedingssupplementen met zeewier als ingrediënt niet meegenomen, evenmin als levensmiddelengrondstoffen die uit zeewier bereid worden (manitol, alginaten, etc.) en zeewier geoogst door consumenten zelf. Ook is niet gekeken naar de aanwezigheid van mogelijke allergenen in het geteelde zeewier. Tenslotte is geen kosten/baten analyse gemaakt voor de consumptie van zeewier.

4.3 Aanpak

4.3.1 Literatuuronderzoek

Literatuuronderzoek naar chemische en fysische gevaren voor de voedselveiligheid met betrekking tot de consumptie van zeewier of zeewierproducten is uitgevoerd door Wageningen Food Safety Research (WFSR) (Banach et al., 2020b) en dat naar de microbiologische gevaren door Wageningen Food & Biobased Research (WFBR) (Rodríguez Illera & Van Bokhorst-Van de Veen, 2019).

Met betrekking tot het onderdeel chemie heeft BuRO een aanvullend literatuuronderzoek gedaan over de jaren 2019 t/m 2022 (20 juli 2022). Search strings zijn opgenomen in Bijlage II. Waar relevant, zijn de laatste ontwikkelingen (tot en met januari 2024) meegenomen; zoals de gewijzigde gezondheidskundige grenswaarden van arseen.

BuRO heeft de literatuurstudie van WFBR naar microbiologische risico's aangevuld met literatuur tot en met 03-10-2023. Daarnaast is een aanvullende zoekopdracht uitgevoerd met betrekking tot bewerking- en verwerkingsmethoden van zeewier (2022-2024). Informatie over de aanpak van dit literatuuronderzoek is opgenomen in Bijlage II.

Voor de beoordeling van de fysische gevaren is informatie gezocht en verzameld tot en met april 2024. De zoekwerkwijze is opgenomen in Bijlage II.

4.3.2 RASFF

De gegevens in het Rapid Alert System for Food and Feed (RASFF) geven een indicatie van welke microbiologische, chemische en fysische gevaren in de verschillende levensmiddelen in de EU en daarbuiten aanwezig kunnen zijn. Dit RASFF-systeem is in de EU in het leven geroepen voor grensoverschrijdende incidenten op het gebied van voedselveiligheid. De autoriteiten van de aangesloten landen (de EU-landen, Noorwegen, Liechtenstein, IJsland en Zwitserland), de Europese Commissie en EFSA melden en informeren elkaar over geconstateerde overschrijdingen van wettelijk maximumgehalten of andere problemen op het gebied van voedselveiligheid en diervoeder. De RASFF-meldingen gaan niet alleen over overschrijdingen van contaminanten of aanwezigheid van micro-organismen, maar kunnen ook gaan over onjuiste etikettering, fraude of organoleptische aspecten (bijvoorbeeld vorm, textuur, kleur of geur). RASFF-meldingen betreffen verse, bewerkte en verwerkte voedingsmiddelen. De meldingen geven echter geen representatief beeld van het vóórkomen van gevaren in levensmiddelen, omdat alleen de geconstateerde

overschrijdingen die grensoverschrijdend zijn gemeld worden en omdat de meldingen vooral voedingsmiddel-chemische stof combinatie betreffen waarvoor normen zijn vastgelegd in de EU.

Er is in het RASFF-systeem gezocht onder 'food' en 'seaweed' voor de jaren 1980 tot en met 2024. In het RASFF-systeem staan tot 2003 geen meldingen over zeewier (filter op 'seaweed' en 'food'; aanvullend is er 1 melding met 'seeweed'). Van 2003 tot en met 2024 zijn 275 meldingen in 'food' gerelateerd aan zeewier (Tabel 4), waarbij het aantal meldingen varieert tussen de 2 en 28 per jaar. Verreweg de meeste meldingen gaan over chemische stoffen in zeewier, 233 van de 275 meldingen. De verschillende soorten meldingen worden verderop uitgesplitst en toegelicht (paragraaf 4.5.2.1 chemische meldingen, paragraaf 4.6.2.3 microbiologische meldingen, paragraaf 4.7.2.1 fysische meldingen).

Tabel 4 RASFF-meldingen met betrekking tot zeewierproducten van 2003 tot en met 2024.

Soort melding	Aantal meldingen
Chemisch	233
Microbiologisch	10
Fysisch	2
Toevoegingen/vervalsing/incorrecte etikettering	15
Anders	15
Eindtotaal	275

4.3.3 Nederlandse gegevens

4.3.3.1 In Nederland geteelde zeewier

In 2018, 2019 en 2020 is door WFSR in opdracht van BuRO en LVVN zeewier bij zeewierboerderijen in Nederland bemonsterd en geanalyseerd op chemische contaminanten en jodium. In dezelfde periode is in opdracht van het toenmalig Ministerie van LNV vergelijkbaar onderzoek uitgevoerd door WFSR, met focus op een representatieve bemonstering. Alle bemonsteringen van zeewier bij de verschillende zeewierboerderijen voor deze onderzoeken zijn uitgevoerd door WFSR volgens een ontwikkeld bemonsteringsprotocol (bijlage III) (Noordzeeboerderij, 2020). De onderzoeken voor BuRO en LNV vullen elkaar aan en de resultaten zijn door WFSR gebundeld in één rapportage (Faassen et al., 2022). De geaggregeerde, geanonimiseerde resultaten zijn terug te vinden in de WFSR-rapportage (Banach et al., 2020b). Aanvullend heeft WFSR in opdracht van LVVN onderzocht wat de invloed van bewerking en bereiding van zeewier is op de gehaltes van een aantal contaminanten (Van Tuinen et al., 2023; Gsell et al., 2025).

4.3.3.2 Zeewierproducten

In Nederlandse supermarkten is een groot deel van de producten waarin zeewier is verwerkt afkomstig uit het buitenland. De Nederlandse Voedsel- en Warenautoriteit (NVWA) heeft in 2018, 2019 en 2020 zeewierproducten die bijna volledig uit zeewier bestaan en zeewierproducten met zeewier als ingrediënt (zoals sushi) voor chemisch onderzoek bemonsterd in winkels en groothandels. Deze monsters zijn door WFSR geanalyseerd op chemische contaminanten (Faassen, 2020). Bij de resultaten van deze metingen ontbrak echter de juiste informatie over de producten (gedroogd of vers product, percentage verwerkt zeewier) voor de chemische risicobeoordeling (zie ook 4.5.2.3).

De NVWA heeft in 2019, 2020 en 2021 voor microbiologisch onderzoek zeewier en zeegroenten bemonsterd in de retail, bij groothandels en levensmiddelenproducenten. Deze monsters zijn door WFSR (deels) onderzocht op aanwezigheid van *B. cereus* (kwantitatief) en op *L. monocytogenes*, *Salmonella*, STEC en *Vibrio* spp. (kwalitatief). De resultaten van zeegroenten zijn meegenomen in de microbiologische risicobeoordeling ter vergelijking met zeewier, omdat ook deze producten met zeewater in contact komen tijdens de groei/teelt.

4.3.3.3 Zeewierconsumptie

RIVM heeft in opdracht van BuRO een onderzoek gedaan naar de consumptie van zeewier in Nederland (Dinnissen et al., 2020) (zie ook paragraaf 3.4.2).

4.3.4 Methodiek risicobeoordeling

Om tot een beoordeling te komen van de risico's voor de volksgezondheid (voedselveiligheid) afkomstig van consumptie van zeewier zijn de vier stappen van de risicobeoordeling gevolgd (BuRO, 2024b). Deze methodiek is gebaseerd op die van de Codex Alimentarius (FAO & WHO, 2019) en de werkwijze van EFSA, en is in lijn met de systematische risicobeoordeling zoals genoemd in de Algemene Levensmiddelenverordening (ALV, Verordening (EG) nr. 178/2002)[3]. De vier stappen zijn als volgt:

1. Gevareninventarisatie: inventarisatie van de mogelijke gevaren
2. Gevarenkarakterisatie: beschrijving van de mogelijke effecten van de gevaren
3. Blootstellingsschatting: inschatting van de mate waarin het gevaar voorkomt en effect veroorzaakt
4. Risicokarakterisatie: conclusie van het risico op basis van de gevarenkarakterisatie en de blootstellingsschatting.

Tabel 5 geeft een overzicht van de data en informatie waar de chemische, microbiologische en fysische risicobeoordeling op gebaseerd zijn.

Tabel 5 Gegevens die gebruikt zijn voor de risicobeoordeling voedselveiligheid.

Gevaren	In Nederland geteeld zeewier	Zeewier-producten op de Nederlandse markt	Nederlandse consumptiedata	Internationale literatuur
Chemisch	x		x	x
Microbiologisch		x		x
Fysisch				x

4.4 Wet- en regelgeving

4.4.1 Novel Food

Levensmiddelen en levensmiddeleningrediënten die voor 15 mei 1997 niet in significante mate in de Europese Unie geconsumeerd werden, worden gedefinieerd als nieuw levensmiddel (Novel Food Verordening ((EU) 2015/2283[4])) en moeten, na een beoordeling door EFSA, worden geautoriseerd voor ze op de markt mogen worden gebracht. Het is ook mogelijk om levensmiddelen te laten autoriseren die 'een geschiedenis van veilig gebruik' van minstens 25 jaar buiten de EU hebben. Of een bepaald soort zeewier als nieuw levensmiddel wordt beschouwd moet per species of per product worden bekeken. Dit wordt bepaald aan de hand van de geschiedenis van de consumptie. In 2021 publiceerde Joint Research Centre (JRC) van de Europese Unie een technisch rapport waarin een uitgebreid overzicht is opgenomen over de novel food status van zeewieren gebaseerd op de inclusie van deze wieren in nationale en Europese lijsten van geautoriseerde levensmiddelen en voedingssupplementen (Araújo & Peteiro, 2021). Daarnaast doen de auteurs op basis van het overzicht een voorstel voor het updaten van de Novel Food Status Catalogus. Of een zeewiersoort ook daadwerkelijk opgenomen is in de catalogus kan nagekeken worden via de Novel Food status Catalogus (EC, 2023).

[3] Verordening (EG) Nr. 178/2002 tot vaststelling van de algemene beginselen en voorschriften van de levensmiddelenwetgeving, tot oprichting van een Europese Autoriteit voor voedselveiligheid en tot vaststelling van procedures voor voedselveiligheidsaangelegenheden

[4] Verordening (EU) 2015/2283 betreffende nieuwe voedingsmiddelen, tot wijziging van Verordening (EU) nr. 1169/2011 van het Europees Parlement en de Raad en tot intrekking van Verordening (EG) nr. 258/97 van het Europees Parlement en de Raad en Verordening (EG) nr. 1852/2001 van de Commissie

4.4.2 Voedselveiligheid

Voedingsmiddelen mogen niet in de handel worden gebracht als ze onveilig zijn. Levensmiddelen zijn onveilig als ze schadelijk zijn voor de gezondheid of als ze ongeschikt zijn voor menselijke consumptie (Algemene Levensmiddelenverordening (ALV) Vo. (EG) nr. 178/2002)[5]. De verantwoordelijkheid voor voedselveiligheid ligt bij de voedselproducenten (de exploitanten van levensmiddelenbedrijven). Zij dienen – naast een hygiënische werkwijze - op HACCP-beginselen (*hazard analysis and critical control points*) gebaseerde procedures toe te passen om de voedselveiligheid in de hele voedselketen te waarborgen. Voor sommige gevaren (hazards) zijn voedselveiligheidscriteria (algemeen of product specifiek) vastgelegd in EU-wetgeving of aanvullende nationale wetgeving.

In de wetgeving inzake levensmiddelenhygiëne worden eisen gesteld aan de primaire productie van levensmiddelen (Vo. (EG) 852/2004)[6]. Hieronder valt ook de productie van zeewier. Echter, naast eisen met betrekking tot primaire productie in het algemeen, zijn er ook specifieke eisen voor producten van plantaardige oorsprong. Omdat de meeste zeewieren strikt genomen geen planten zijn, is het onduidelijk of zeewierproducten onder de specifiek benoemde eisen voor plantaardige producten in deze wetgeving vallen.

4.4.2.1 Maximumgehalten voor chemische stoffen

Wettelijke maximumgehalten stellen grenzen aan de maximum toegestane concentraties van stoffen in levensmiddelen. Hiervoor worden productnormen gebruikt die Europees worden vastgesteld, de MRL (Maximum Residu Limiet) of ML (Maximum Limiet). MRL's horen bij stoffen die als residu in een levensmiddel aangetroffen kunnen worden, zoals uit gewasbeschermingsmiddelen. ML's worden gebruikt voor stoffen die onbedoeld in voedsel aanwezig kunnen zijn, zoals milieucontaminanten.

Maximum Limieten voor contaminanten (ML's) worden Europees vastgesteld als uit een risicobeoordeling van EFSA blijkt dat de blootstelling van de consument aan een contaminant hoger is dan de veilige gezondheidskundige grenswaarde. ML's voor contaminanten zijn gebaseerd op het ALARA-beginsel (As Low As Reasonably Achievable), zo laag als redelijkerwijs haalbaar is. Op deze manier worden de levensmiddelenbedrijven gedwongen om de aanwezigheid van contaminanten in hun producten zo laag mogelijk te houden. Overschrijding van de ML betekent niet altijd dat er een gezondheidsrisico is.

Er is (nog) geen Codex-standaard maximumgehalten voor chemische stoffen voor de teelt, bewerking en verwerking van zeewier (FAO & WHO, 2022).

Verordening (EU) 2023/915[7] beschrijft geen maximumgehalten aan bepaalde verontreinigingen in zeewier. Uitzondering vormen voedingssupplementen die tenminste voor 80% bestaan uit gedroogd zeewier of uit van zeewier afgeleide producten. Deze supplementen mogen niet meer dan 3,0 mg/kg cadmium bevatten.

Aanbeveling (EU) 2018/464[8] beschrijft een oproep van de Europese Commissie aan de lidstaten om gedurende de jaren 2018, 2019 en 2020 de aanwezigheid van arseen, cadmium, jodium, lood en kwik in zeewier, halofyten en producten op basis van zeewier te monitoren en deze gegevens bij EFSA aan te leveren. Naar aanleiding van de resultaten van deze monitoring werkt de Europese Commissie aan het vaststellen van maximumgehalten voor jodium en metalen in zeewier.

Verordening (EG) nr. 396/2005[9] stelt het maximumresidugehalte van kwikverbindingen (som van de kwikverbindingen, uitgedrukt als kwik) in algen en prokaryote organismen op 0,01 mg/kg.

---

[5] Verordening (EG) Nr. 178/2002 tot vaststelling van de algemene beginselen en voorschriften van de levensmiddelenwetgeving, tot oprichting van een Europese Autoriteit voor voedselveiligheid en tot vaststelling van procedures voor voedselveiligheidsaangelegenheden

[6] Verordening (EG) Nr. 852/2004 inzake levensmiddelenhygiëne

[7] Verordening (EU) 2023/915 betreffende maximumgehalten aan bepaalde verontreinigingen in levensmiddelen en tot intrekking van Verordening (EG) nr. 1881/2006

[8] Aanbeveling (EU) Nr. 2018/464 betreffende het toezicht op metalen en jodium in zeewier, halofyten en producten op basis van zeewier

[9] Verordening (EG) Nr. 396/2005 tot vaststelling van maximumgehalten aan bestrijdingsmiddelenresiduen in of op levensmiddelen en diervoeders van plantaardige en dierlijke oorsprong en houdende wijziging van Richtlijn 91/414/EG van de Raad

Verordening (EG) nr. 1333/2008[10] bevat specificaties voor levensmiddelenadditieven op basis van zeewier. E406 (agaragar), E407 (carrageen) en E407a (verwerkt *Eucheuma*-wier) mogen maximaal 3 mg/kg arseen, 5 mg/kg lood en 1 mg/kg kwik bevatten. Voor cadmium geldt een maximum van 1 mg/kg (E406) of 2 mg/kg (E407 en E407a).

Omdat Europese wetgeving voor zeewier vrijwel ontbreekt, heeft een aantal landen nationale maximum gehalten voor contaminanten in zeewier opgesteld. In 1988 en 1990 rapporteerde French High Council for Public Health (CSHPF) de volgende maximale gehaltes in zeewier gebruikt als groente of als kruid: anorganisch arseen 3 mg/kg, cadmium 0,5 mg/kg, kwik 0,1 mg/kg, lood 5 mg/kg en jodium 2000 mg/kg. Alle gehaltes zijn gebaseerd op drooggewicht (ANSES, 2020). In 2007 kwam Bundesinstitut für Risikobewertung (BfR) tot een veel lagere waarde, ze concludeerde dat producten van gedroogde mariene algen (i.e. zeewier) niet meer dan 20 mg jodium/kg drooggewicht mogen bevatten omdat deze producten mogelijk schadelijk zijn voor de gezondheid (BfR, 2007). In 2012 adviseerde Agencia Española de Seguridad Alimentaria y Nutrición (AESAN), overeenkomstig CSHPF, een maximum limiet van 2000 mg jodium/kg drooggewicht voor zeewier (AESAN, 2012). In Nederland bestaat op dit moment geen specifieke nationale wetgeving voor chemische contaminanten in zeewier.

4.4.2.2 Microbiologische criteria

In de EU zijn geen specifieke microbiologische criteria voor zeewier opgenomen in de wetgeving. Wel geldt voor kant-en-klare levensmiddelen een voedselveiligheidscriterium voor *L. monocytogenes* (Vo. (EG) nr. 2073/2005)[11].

In Nederland zijn in nationale wetgeving voedselveiligheidscriteria vastgelegd voor eet- en drinkwaren die door de eindgebruiker niet meer worden verhit voor consumptie (kant-en-klare levensmiddelen; Wbbl[12]). Voor deze producten geldt dat *Salmonella*, *Campylobacter* en (per 1-1-2025) STEC niet aantoonbaar mogen zijn in 25 g. Het aantal kweekbare *B. cereus*, *C. perfringens* en *S. aureus* mag niet meer bedragen dan 100.000 per gram.

Cressey et al. (2023) en Løvdal et al. (2021) geven een overzicht van internationale wetgeving met betrekking tot microbiologische criteria voor zeewier (Tabel 6). In Australië/Nieuw Zeeland gelden geen specifieke normen voor zeewier, wel is er een norm voor kant-en-klare levensmiddelen (zoals zeewier) met betrekking tot *L. monocytogenes* (Cressey et al., 2023).

Het BC Center for Disease Control (2013) deed aanbevelingen voor richtlijnen voor het oogsten en verwerken van zeewier in Canada (British Colombia). Wat betreft microbiologische voedselveiligheid betrof dat de aanbeveling dat zeewier niet geoogst mag worden in de nabijheid van een rioolwaterlozingspunt of -overstort (>300 m afstand) of in gebieden die gesloten zijn voor productie van schelpdieren (sanitaire eisen) en dat zeewier moet worden gewassen met drinkwater voordat het verder wordt bewerkt of verwerkt. En specifiek voor zeewier dat vers wordt verkocht, dat dit niet mag worden geoogst uit gebieden die zijn gesloten voor de productie van schelpdieren vanwege aanwezigheid van *V. parahaemolyticus*. In Noorwegen heeft de zeewiersector zelf richtlijnen opgesteld. Wat microbiologische gevaren betreft, worden hier alleen sporenvormers genoemd (FAO & WHO, 2022).

[10] Verordening (EG) Nr. 1333/2008 inzake levensmiddelenadditieven
[11] Verordening (EG) Nr. 2073/2005 inzake microbiologische criteria voor levensmiddelen
[12] Warenwetbesluit Bereiding en behandeling van levensmiddelen

Tabel 6 Overzicht van microbiologische criteria voor zeewier en zeewierproducten in het buitenland, uitgedrukt in kve/g tenzij anders aangegeven (Bron: Cressey et al. (2023), Løvdal et al. (2021)).

Levensmiddel	Gedroogde algen	Deens zeewier	Gedroogd zeewier (laver/nori)	Verpakte zeewier (algen) producten	K&K product
Land	**Frankrijk (kve/g)***	**Denemarken (kve/g)***	**China (kve/g)***	**China (kve/g)***	**Zuid-Korea (kve/g)***
Micro-organisme / hygiëne-indicator					
Aeroob mesofiel kiemgetal	≤ 10^5	-	-	-	-
Aeroob kiemgetal	-	-	<3×10^4	-	-
Coliformen (fecaal)	≤ 10^1	-	<$3x10^1$ kve/100g	-	-
E. coli	-	<10^2 g	-	-	-
Schimmel	-	-	<$3x10^2$	-	-
Anaerobe sulfiet reduceerders	≤ 10^2	-	-	-	-
B. cereus	-	-	-	-	<10^3
C. perfringens	≤ 10^0	-	-	-	<10^2
***Salmonella* spp.**	NA/25 g	NA/25 g	NA/25 g	NA/25 g	NA per 25 g
***Shigella* spp.**	-	-	NA/25 g	-	-
S. aureus	≤ 10^2	-	NA/25 g	-	<10^2
V. parahaemolyticus	-	-	NA/25 g	-	<10^2

* Tenzij anders aangegeven
-: geen wetgeving
NA: niet aantoonbaar
K&K: kant en klaar

4.5 Chemische risico's voedselveiligheid

4.5.1 Aanpak en afbakening chemische risicobeoordeling

De vier stappen van de risicobeoordeling (paragraaf 4.3.4) worden voor de chemische risicobeoordeling als volgt ingevuld.

1. Gevareninventarisatie: inventarisatie van chemische stoffen die in zeewier terecht zouden kunnen komen tijdens de teelt, de oogst, de opslag en het transport en tijdens de bewerking van zeewier. Dit is gebaseerd op literatuuronderzoek en meldingen in RASFF.
2. Gevarenkarakterisatie: beschrijving van de toxische effecten van de stoffen en de gezondheidskundige grenswaarden. De effecten worden vaak afgeleid uit onderzoeken met proefdieren (voornamelijk ratten en muizen) of uit epidemiologische onderzoeken bij de mens. Deze beschrijvingen worden gebaseerd op gegevens uit de wetenschappelijke literatuur.
3. Blootstellingsschatting: schatting van de inname van een stof. Deze is gebaseerd op de gegevens over het voorkomen van een stof in zeewier gekoppeld aan de consumptie van zeewier. In deze risicobeoordeling is de blootstellingschatting gedaan op basis van Nederlandse data (vóórkomen in Nederland geteeld zeewier en Nederlandse consumptiedata).
4. Risicokarakterisatie: bepaling of de aanwezigheid van een stof in zeewier een risico vormt voor de volksgezondheid in Nederland door de inname van die stof vanuit zeewier te vergelijken met gezondheidskundige grenswaarden. Daarnaast is het van belang om te weten wat de totale inname van die stof via voeding is en of deze boven de gezondheidskundige grenswaarde uitkomt.

Deze risicobeoordeling is gebaseerd op de metingen van contaminanten in Nederland geteelde zeewier. De resultaten van metingen aan zeewierproducten bemonsterd in winkels en groothandels, konden niet in deze risicobeoordeling worden meegenomen doordat de juiste informatie voor de chemische risicobeoordeling over de producten ontbrak (gedroogd of vers product, percentage verwerkt zeewier; zie 4.5.2.3). De chemische risicobeoordeling focust daarom op het in Nederland geteelde zeewier.

Bij de risicobeoordeling vindt de beoordeling per individuele stof(groep) plaats. De risicobeoordeling van cumulatieve effecten als gevolg van blootstelling aan meerdere stoffen tegelijk is een veld dat in ontwikkeling is. EFSA en RIVM werken samen aan een onderzoeksprogramma over ontwikkeling van de methodiek om cumulatieve effecten van stoffen te beoordelen (EFSA, 2020).

4.5.1.1 Gezondheidskundige grenswaarden

De gezondheidskundige grenswaarde is de hoeveelheid van een stof die iemand dagelijks kan innemen gedurende zijn hele leven zonder noemenswaardig gezondheidsrisico (chronische blootstelling). De gezondheidskundige grenswaarde wordt berekend door extrapolatie van toxiciteitsgegevens (meestal uit dierstudies) met behulp van veiligheidsfactoren. Voor milieucontaminanten die in voedsel terecht kunnen komen wordt de Tolerable Daily Intake (TDI) of Tolerable Weekly Intake (TWI) gebruikt. Bij een overschrijding van de TDI neemt de kans op een effect toe, maar dit betekent niet dat dit effect ook altijd daadwerkelijk zal optreden, omdat de TDI is afgeleid op basis van levenslange blootstelling. Bij ernstige of langdurige overschrijding neemt de kans op een gezondheidseffect toe. Als er geen TDI voor een stof is, of als er geen bruikbare gegevens zijn om een TDI af te leiden, wordt door EFSA aanbevolen om de Margin of Exposure (MoE) te gebruiken bij de risicobeoordeling. Margin of Exposure geeft het verschil weer tussen het referentiepunt uit de dierstudie (bijvoorbeeld BMDL (Benchmark Dose Lower Confidence Limit)) en de blootstelling van de mens. Om met onzekerheden (intra- en interspeciesvariatie) rekening te houden, wordt voor een niet-carcinogene stof meestal een MoE van 100 toegepast. Voor carcinogene en genotoxische stoffen geeft een MoE van 10.000 of hoger weinig reden tot zorg (EFSA, 2005).

Voor de beoordeling van acute gezondheidseffecten, na kortdurende blootstelling, wordt de ARfD (Acute Referentie Dosis) gebruikt. Dit is de maximale hoeveelheid van een stof in voedsel of drinkwater die iemand binnen 24 uur kan innemen zonder dat er gezondheidseffecten optreden.

4.5.2 Risicobeoordeling chemische gevaren

4.5.2.1 Gevareninventarisatie

Bij de inventarisatie van gevaren die mogelijk voor kunnen komen in zeewier is gekeken naar chemische stoffen die in (wetenschappelijke) publicaties beschreven worden als gevaarlijk voor de voedselveiligheid van zeewier of worden aangetroffen in zeewier (Banach et al., 2020b; Banach et al., 2022; FAO & WHO, 2022). Ook zijn de meldingen in RASFF meegenomen (Tabel 7). Aanvullend is nagegaan welke processen en handelingen in de verschillende schakels van de ketens plaatsvinden en welke chemische stoffen daarbij geïntroduceerd zouden kunnen worden. Op basis hiervan is een lijst van chemische gevaren opgesteld (Tabel 8).

RASFF

Van de 275 meldingen over zeewier in RASFF had het overgrote deel betrekking op chemische meldingen (n=233) (Tabel 4). Het grootste deel van deze chemische meldingen betrof meldingen over hoge jodiumgehaltes (n=180; 77%) en hoge arseengehaltes (12%) (Tabel 7). Er is in het RASFF-systeem gezocht onder 'food' en 'seaweed' voor de jaren 1980 tot en met 2024, vanaf 2003 zijn er meldingen gerelateerd aan zeewier.

Tabel 7 RASFF meldingen in zeewier met betrekking tot chemische meldingen (2003 t/m 2024).

Gevarencategorie	Aantal meldingen	Percentage van de totale meldingen
Samenstelling		
Hoog aluminiumgehalte	2	0,9
Hoog jodiumgehalte	180	77,3
Niet gedeclareerd jodium	6	2,6
Metalen/metalloïden		
Arseen	29	12,4
Cadmium	7	3,0
Lood	1	0,4
Mycotoxines		
Aflatoxines	1	0,4
Milieucontaminanten		
Polycyclische aromatische koolwaterstoffen (paks)	1	0,4
Pesticide residuen		
Niet toegelaten stof: ethyleenoxide	4	1,7
Niet toegelaten stof: prometryn	2	0,9
TOTAAL	**233**	**100**

Zeewierteelt

Zeewier dat in open water geteeld wordt, kan verontreinigingen die in het water aanwezig zijn opnemen (Banach et al., 2020a). Hetzelfde geldt voor zeewier dat in bassins geteeld wordt en wordt gevoed met (zee)water. Daarnaast kunnen stoffen die van nature voorkomen in (zee)water, zoals jodium, chroom, ijzer, zink, nikkel en aluminium opgenomen worden door zeewier.

In mariene wateren en brakwatergebieden kunnen (micro-)algen en blauwalgen vóórkomen die een brede range aan toxines kunnen produceren. Algen kunnen ook op het zeewier groeien (Faassen et al., 2022).

Daarnaast zijn er milieucontaminanten in het aquatisch milieu. Bijvoorbeeld persistente organische stoffen (POP's) zoals polychloordibenzo-p-dioxines (PCDD's), polychloordibenzofuranen (PCDF's) en polycyclische aromatische koolwaterstoffen (PAK's) die ontstaan bij verbrandingsprocessen, en polychloorbifenylen (PCB's), zeer stabiele en onbrandbare stoffen, die in het verleden op grote

schaal werden toegevoegd aan hydraulische oliën en vloeistoffen voor elektrische isolatoren en condensatoren. Verder kunnen gebromeerde brandvertragers en poly- en perfluoralkylstoffen (PFAS), die door emissie vanuit producten zoals textiel, elektronica, teflon, brandblusmiddelen en plastics, in het (aquatisch) milieu terechtkomen.

In oppervlaktewater zijn ook minder persistente contaminanten aanwezig, bijvoorbeeld als gevolg van industriële- en rioolwaterlozingen (effluenten van waterzuiveringsinstallaties (AWZI respectievelijk RWZI)). Uiteindelijk komen deze contaminanten in de zee terecht. Voorbeelden van deze groep milieucontaminanten zijn geneesmiddelen, persoonlijke verzorgingsproducten en weekmakers uit plastics.

In het oppervlaktewater worden gewasbeschermingsmiddelen aangetroffen als gevolg van toepassing van deze middelen in de landbouw en door particulieren. Ook in de aquacultuur in open water worden soms gewasbeschermingsmiddelen gebruikt (FAO & WHO, 2022).

Minerale oliën komen in zeewater terecht na lekken van olie vanuit schepen, na illegale lozingen of na een scheepsongeval. Daarnaast kunnen residuen van aangroeiwerende middelen (antifouling) aanwezig zijn.

Een andere groep milieucontaminanten is die van de (zware) metalen, die van nature voorkomen in de bodem en/of als verontreiniging in de bodem terecht kunnen komen na gebruik van dierlijke mest of als gevolg van (regionale) atmosferische depositie afkomstig van industriële activiteiten. Vanuit de bodem kunnen deze stoffen vervolgens uitspoelen naar het oppervlaktewater om uiteindelijk in de zee terecht te komen. De polysachariden in zeewieren hebben de eigenschap dat ze metalen sterk kunnen binden (Hogstad et al., 2023), zodat zware metalen zoals arseen, cadmium, kwik en lood effectief vanuit het water kunnen worden opgenomen (Banach et al., 2020b).

Tenslotte kunnen, als gevolg van een stralingsongeval, radioactieve stoffen in het aquatisch milieu terechtkomen. Vanwege de hoge opname van jodium (I) door zeewier, is 129I een goede indicator voor radioactieve besmetting (Banach et al., 2020b).

Bij de bouw van windmolenparken op de Noordzee worden de mogelijkheden onderzocht van de vestiging van zeewierteelt in windmolenparken (Verhoef, 2020; North Sea Farmers, 2022; WUR, 2022b; Deltares, 2024). Als gevolg van de emissie vanuit de coatings van de windmolens kunnen stoffen in het zeewater aanwezig zijn zoals een aantal metalen (zink, indium, lood en cadmium) en bisfenol A en 4-tert-butylfenol uit coatings op basis van epoxy (RIVM, 2021a; Hof et al., 2022). Als gevolg van lekkages van smeerolie uit de windmolens en/of apparatuur tijdens het onderhoud van de windmolens in windmolenparken kan er ook minerale olie naar het zeewater lekken.

Oogst, transport en opslag

In deze ketenschakel kunnen chemische gevaren worden geïntroduceerd door verontreinigingen afkomstig van apparatuur (bijvoorbeeld minerale oliën of koudemiddelen) die wordt gebruikt tijdens de oogst, het transport, het drogen (ventilatoren en/of ontvochtigers) of gekoeld bewaren van vers zeewier (FAO & WHO, 2022). Mycotoxines, afkomstig van schimmels, kunnen worden gevonden op gedroogd zeewier (FAO & WHO, 2022). Er zijn aanwijzingen voor de toepassing van gewasbeschermingsmiddelen tijdens de opslag van zeewier (China) om contaminatie met schimmel te voorkomen (Banach et al., 2020b).

Kisten voor transport, apparatuur en materialen die gebruikt worden bij het oogsten en bewerken van zeewier, worden gereinigd en gedesinfecteerd met reinigings- en desinfectiemiddelen. Desinfectie wordt uitgevoerd om de verspreiding van ziekmakende micro-organismen te voorkomen. Residuen van deze desinfectiemiddelen zouden op zeewierproducten kunnen achterblijven als niet voldoende wordt nagespoeld.

Tenslotte kunnen mogelijk vanuit verpakkingsmaterialen die tijdens transport en/of opslag worden gebruikt, zoals kratten of plastic zakken, stoffen migreren en in het zeewier terecht komen.

Bewerking, verwerking en verpakking

Tijdens de bewerking en verwerking van zeewier kunnen verschillende stoffen in of op het zeewier terecht komen. Dat kunnen proceshulpstoffen zijn die bijvoorbeeld gebruikt worden bij het wassen van zeewier, of stoffen die toegevoegd worden aan zeewier (levensmiddelenadditieven),

bijvoorbeeld om ze te conserveren. Voorafgaand aan de bewerkings- en verwerkingsstappen zullen ook reinigings- en desinfectiemiddelen gebruikt worden om machines en apparatuur te reinigen en te ontsmetten (desinfecteren), waarvan residuen kunnen achterblijven.

Nieuwe stoffen kunnen geïntroduceerd worden als gevolg van het bereiden en verhitten van voedingsmiddelen. PAK's kunnen gevormd worden bij het drogen (onder verhitting) van zeewier (Banach et al., 2020b) en/of bij het bereiden zoals barbecueën (bijvoorbeeld zeewierburgers). Tenslotte kunnen er vanuit verpakkingsmaterialen stoffen migreren die in het voedingsmiddel terecht komen.

Omdat chemische analyses in zeewier nog niet routinematig worden uitgevoerd, is het nog niet mogelijk om de gehalten van alle stoffen uit Tabel 8 (gevalideerd) te analyseren. De stoffen/stofgroepen met gevalideerde analysemethoden (in Tabel 8 vet) staan genoemd in Tabel 9.

Tabel 8 Overzicht van de mogelijke chemische gevaren met voorbeelden van stof(groepen) en introductieroutes in de zeewierketen. Vet: voor deze stoffen of stofgroepen zijn chemische analyses uitgevoerd in Nederlands zeewier en/of zeewierproducten uit Nederlandse supermarkten.

Gevarencategorie	Stofgroep	Bron of introductieroute
Ketenschakel – Teelt, oogst, transport en opslag van zeewier		
Teelt		
Algentoxines	**cyanotoxines** **cylindrospermopsine (CYN)**	zoet- of zoutwater algen die toxines produceren
Jodium		van nature aanwezig in zeewater, emissies naar (aquatisch) milieu
Persistente organische stoffen	**polychloordibenzo-p-dioxines (PCDD) en polychloordibenzofuranen (PCDF), polycyclische aromatische koolwaterstoffen (PAK's)**	persistente stoffen die ontstaan bij verbrandingsprocessen; emissies naar (aquatisch) milieu.
	polychloorbifenylen (PCB), gebromeerde brandvertragers, **poly- en perfluoralkylstoffen (PFAS)**	emissie van deze stoffen (vanuit plastic, textiel, elektronica, printplaten, hydraulische vloeistoffen, teflon, brandblusmiddelen) naar (aquatisch) milieu.
Overige milieucontaminanten	**(dier)geneesmiddelen**, persoonlijke verzorgingsproducten (PCP)	emissies vanuit effluenten van rioolwaterzuiveringsinstallatie (RWZI) en uitspoeling vanuit mest naar aquatisch milieu.
	gewasbeschermings-middelen	toepassing van gewasbeschermingsmiddelen door landbouw en particulieren.
	minerale oliën	lekkage en lozingen vanuit schepen in zeewater.
	bisfenol a, 4-tert-butylfenol	emissie vanuit de coatings op basis van epoxy van de windmolens
	aangroeiwerende middelen	emissie vanuit verf op schepen, aquacultuurinstallaties of andere in het water gebruikte constructies.
(Zware) metalen en metalloïden*	**arseen, cadmium, kwik, lood, nikkel,** aluminium, zink	van nature aanwezig in bodem en vandaaruit uitspoeling naar aquatisch milieu. atmosferische depositie naar (aquatisch) milieu. emissie vanuit de coatings op basis van epoxy van de windmolens
Radioactieve stoffen		verontreiniging in (aquatisch) milieu (na incident met radioactieve stoffen).

*De groep (zware) metalen en metalloïden wordt verder als (zware) metalen aangeduid.

Tabel 8 vervolg

Gevarencategorie	Stofgroep	Bron of introductieroute
Ketenschakel – Teelt, oogst, transport en opslag van zeewier		
Oogst, transport en opslag		
Gewasbeschermings-middelen		toepassing tijdens bewaren ter voorkoming van schimmel.
Mycotoxines		toxines die worden geproduceerd door schimmels
Chemische stoffen uit machines	**minerale oliën** koudemiddelen	lekkage uit apparatuur gebruikt voor oogst, transport en koeling van zeewier.
Reinigings- en desinfectiemiddelen		ontsmetten van machines, gereedschappen (gebruik bij oogsten, transporteren, sorteren) en oppervlakken (vloeren, tafels, bewaarplaatsen).
Ketenschakel – Bewerking, verwerking en verpakking van zeewier		
Reinigings- en desinfectiemiddelen		ontsmetten van machines en apparatuur voorafgaand aan het bewerkings- en verwerkingsproces. spoelen van zeewier met chloorhoudend (drink)water.
Proceshulpstoffen		worden gebruikt tijdens de bewerking en verwerking van voedsel, maar maken zelf geen onderdeel uit van het voedingsmiddel.
Levensmiddelen-additieven		toevoegingen tijdens productie van zeewierproducten (bijvoorbeeld conserveermiddelen).
Procescontaminanten	**polycyclische aromatische koolwaterstoffen (PAK's)**	ontstaan tijdens roken en/of drogen van voedingsmiddelen.
Stoffen uit verpakkings-materialen en andere voedsel-contactmaterialen	uitgangsstoffen en toevoegingen, bijvoorbeeld weekmakers.	migratie vanuit verpakkingsmaterialen en andere voedselcontactmaterialen.

De stofgroepen, zoals algentoxines, gewasbeschermingsmiddelen en poly- en perfluoralkylstoffen, omvatten ieder een (groot) aantal individuele stoffen (Faassen, 2020; Krätschmer, 2024).

De niet vetgedrukte stoffen uit Tabel 8, waarvoor geen analyses konden worden uitgevoerd, zijn verder niet meegenomen in de risicobeoordeling omdat de blootstellingsschatting niet gemaakt kon worden. Ook in de literatuur is er over de aanwezigheid van deze stoffen geen informatie gevonden (zie bijvoorbeeld (FAO & WHO, 2022).

Tabel 9 Stoffen en stofgroepen die zijn geanalyseerd in zeewier afkomstig van zeewiertelers en in zeewierproducten uit de groothandel en supermarkt.

Geanalyseerde stoffen en stofgroepen	Chemische analyses in	
	Zeewier van zeewiertelers	Zeewierproducten uit groothandel en supermarkt
Algentoxines	x	x
Jodium	x	x
Persistente organische stoffen (dioxines, dibenzofuranen, PCB's, PAK's)	x	x
Poly- en perfluoralkylstoffen (PFAS)	x	
(Dier)geneesmiddelen (werkzame stoffen)		x
Planttoxines		x
Gewasbeschermingsmiddelen (werkzame stoffen)	x	x
Minerale oliën	x	x
(Zware) metalen en metalloïden (arseen, cadmium, lood, kwik, nikkel)	x	x
Radioactieve stoffen	x	x

4.5.2.2 Gevarenkarakterisatie

Alleen van de stoffen die geanalyseerd zijn in zeewier en/of zeewierproducten (Tabel 9) wordt een gevarenkarakterisatie gegeven.

Algentoxines

Algentoxines kunnen geproduceerd worden door algen, zowel in zoet- als in zoutwater. Er bestaat een groot aantal verschillende algentoxines.

Cyanotoxines (blauwalgtoxines) vormen een groep toxines die worden geproduceerd door blauwalgen (cyanobacteriën). Er zijn veel verschillende soorten blauwalgen die verantwoordelijk kunnen zijn voor verschillende cyanotoxines. De volgende cyanotoxines worden onderscheiden: neurotoxines, cytotoxines, hepatotoxines en irriterende stoffen voor de huid (dermatotoxines).

Cylindrospermopsine (CYN) is sporadisch aangetroffen op zeewier van Nederlandse telers. CYN is cytotoxisch. Acute effecten na orale inname van CYN die worden waargenomen zijn effecten op de lever (cytolyse, infiltratie van ontstekingscellen en eiwitten), nieren (tubulaire necrose, verandering van de proximale tubulus of glomeruli) en soms darmen (bloeding). CYN heeft bij een chronische blootstelling effecten op de lever en de nieren. Het Franse Agentschap voor voedselveiligheid en milieu (ANSES) neemt als kritisch effect de toename van lever- en niergewicht en verhoogde serumconcentraties van leverenzymen (ANSES, 2019). Verder moet CYN beschouwd worden als een genotoxische stof, waarbij mutageniteit niet kan worden uitgesloten (BuRO, 2023).

Humpage & Falconer (2003) hebben een voorlopige TDI afgeleid van 0,03 µg/kg lichaamsgewicht per dag. In 2019 heeft ANSES, op basis van een NOAEL, een toxicologische referentiewaarde afgeleid voor CYN van 0,14 µg/kg lichaamsgewicht per dag (ANSES, 2019). RIVM heeft een BMDL afgeleid voor CYN van 9,4 µg/kg lichaamsgewicht per dag, gebaseerd op klinische en histopathologisch effecten op de lever en nier (muizen) met een LOAEL (lowest observed adverse effect level) van 75 µg/kg lichaamsgewicht/dag (RIVM, 2020).

Jodium

Jodium komt van nature voor in zeewater. Het komt in het milieu vanuit jodiumhoudende rotsen of via vulkanische activiteit (EFSA NDA Panel, 2014). Maar ook menselijk handelen zorgt voor emissies van jodium naar het milieu; via effluenten van zuiveringsinstallaties (gebruik als desinfectiemiddel en gebruik bij medische behandelingen) en via toepassingen in de chemische industrie (bijvoorbeeld verf, batterijen).

Jodium in zeewier heeft een functie bij verdedigingsmechanismen tegen bacteriën en bij bescherming tegen hoge lichtintensiteit tijdens laag water of droogval. Jodium kan actief worden uitgescheiden door zeewier, maar ook tot hoge concentraties accumuleren. Vooral in bruine zeewieren kunnen hoge concentraties voorkomen in vergelijking met rode en groene zeewieren (Faassen et al., 2022; FAO & WHO, 2022).

Jodium wordt opgenomen vanuit voedsel in verschillende organische (monojodotyrosine en dijodotyrosine) en anorganische (jodaat) vormen. Anorganisch jodium wordt in de darm gereduceerd tot jodide (I^{-1}) en vervolgens opgenomen (FAO & WHO, 2022). De beschikbaarheid van jodium in zeewier voor opname kan sterk variëren tussen zeewiersoorten. Er worden percentages gerapporteerd van slechts 2% in verse *Ulva*, tot 28% in verse *Laminaria* (Van Tuinen et al., 2023) tot 31-90% in bruine algen (Hogstad et al., 2023).

Een tekort aan jodium kan leiden tot een groeiachterstand bij kinderen door verstoring van de schildklierwerking (EFSA NDA Panel, 2014). RIVM concludeert in een rapport uit 2023 dat de jodiuminname van Nederlandse volwassenen net toereikend is. De Nederlandse jodiuminname komt vooral vanuit gejodeerd zout, onder andere verwerkt in brood. Echter, er wordt in het Nederlandse gezondheidsbeleid ook ingezet op een lagere zoutinname. Een daling van de zoutinname zou kunnen leiden tot een jodiumtekort. Om jodiumtekorten te voorkomen wijst RIVM op onder andere zeewier als mogelijk vervangend jodiumrijk voedingsmiddel (De Jong et al., 2023).

Ook overmatige inname van jodium kan tot een verstoorde werking van de schildklier leiden (te hoge of te lage productie van de schildklierhormonen). De gezondheidsraad adviseert een dagelijkse adequate inname van 150 µg/dag voor volwassenen (Gezondheidsraad, 2018). Bij personen zonder onderliggende schildklierziekte kan een acute overmatige jodiuminname

resulteren in een afname van de productie van schildklierhormoon. De symptomen van acute jodiumvergiftiging zijn onder andere koorts, misselijkheid, braken, diarree en coma (BuRO, 2011). Door Agency for Toxic Substances and Disease Registry (ATSDR) in de Verenigde Staten is een 'minimal risk level' voor acute orale blootstelling (1-14 dagen) van 10 µg/kg lichaamsgewicht per dag afgeleid. Dit komt overeen met de door EFSA afgeleide aanvaardbare bovengrens (UL) voor volwassenen (60 kg) van 600 µg per dag voor chronische blootstelling. Voor 1 t/m 3-jarigen leidde EFSA een aanvaarbare bovengrens af van 200 µg per dag. Er is geen grenswaarde voor acute inname (Scientific Committee on Food & EFSA NDA Panel, 2006). Deze grenzen gelden niet voor mensen die gevoelig zijn voor hoge jodiuminnames, zoals mensen met aandoeningen die het gevolg zijn van een jodiumdeficiëntie, met aandoeningen van de schildklier, met een lage inname van jodium of met een jodiumbehandeling onder medisch toezicht. Voor kinderen tot en met tien jaar zou de inname van jodiumrijke voedingsmiddelen of supplementen moeten worden ontraden (BuRO, 2011). ANSES concludeerde dat zeewier niet geconsumeerd zou moeten worden door mensen met een aandoening van de schildklier, met hartproblemen of slecht functionerende nieren, door mensen met een jodium of lithiumbehandeling onder medisch toezicht en niet door zwangere of lacterende vrouwen (ANSES, 2018). Kelptabletten en andere zeewierextracten worden afgeraden om te gebruiken vanwege hun variabele en soms zeer hoge jodiumgehalte (Gezondheidsraad, 2008; Bath et al., 2022).

Dioxines, dibenzofuranen en polychloorbifenylen

Polychloordibenzo-p-dioxines (PCDD) en polychloordibenzofuranen (PCDF) zijn stoffen die ontstaan tijdens verbrandingsprocessen als de verbrande materialen chloorhoudende componenten (bijvoorbeeld PVC) bevatten. Maar ook bij de productie van chloorhoudende pesticiden en bij papierbleekprocessen ontstaan dioxines en dibenzofuranen. Ze worden als groep vaak aangeduid als '(totaal)dioxines'.

Polychloorbifenylen (PCB's) zijn zeer stabiele en onbrandbare stoffen, die daarom werden toegevoegd aan hydraulische oliën en vloeistoffen voor elektrische isolatoren en condensatoren. Sinds 1985 is productie en gebruik van PCB's niet meer toegestaan in de EU (EEG Richtlijn 85/467/EEG[13]). Sinds 2004 is er een wereldwijd verbod via het Verdrag van Stockholm[14].

Een groep van twaalf PCB's heeft vergelijkbare structurele en toxicologische eigenschappen als dioxines. (EFSA CONTAM Panel, 2018). Dioxines en PCB's hechten in het milieu vooral aan bodemdeeltjes en organisch stof en kunnen zo verspreid worden. Ze worden overal in het milieu teruggevonden, ook in het aquatisch milieu.

Dioxines en DL-PCB's vormen een groep van verschillende verschijningsvormen (congeneren) die in verschillende combinaties voorkomen maar eenzelfde toxisch profiel vertonen. Ze kennen zowel acute als chronische toxiciteit. Effecten op de lever(functies), de voortplanting en ontwikkeling zijn de belangrijkste effecten. Dioxines, DL-PCB's zijn carcinogenen.

Omdat de potentie van de verschillende dioxines en DL-PCB's voor specifieke toxische effecten verschillen, zijn Toxic Equivalency Factors (TEF's) ontwikkeld voor de congeneren die in de mens accumuleren. Aan de hand van de TEF's kunnen de gewogen dioxine- en DL-PCB's gehaltes worden opgeteld en kan de Toxische Equivalent (TEQ) van het de stoffen samen worden bepaald. EFSA heeft eind 2018 een TWI (Tolerable Weekly Intake) vastgesteld van 2 pg WHO-TEQ/kg lichaamsgewicht per week (0,28 pg WHO-TEQ/kg lichaamsgewicht per dag) (EFSA CONTAM Panel, 2018).

Polycyclische aromatische koolwaterstoffen (PAK's)

PAK's vormen een groep met een groot aantal verschillende verbindingen die bestaan uit twee of meer gefuseerde aromatische ringen. PAK's ontstaan door (onvolledige) verbranding of pyrolyse van organisch materiaal en bij industriële processen. PAK's kunnen via het milieu in de

[13] Richtlijn 85/467/EEG houdende zesde wijziging (PCB's/PCT's) van Richtlijn 76/769/EEG betreffende de onderlinge aanpassing van de wettelijke en bestuursrechtelijke bepalingen der Lid- Staten inzake de beperking van het op de markt brengen en van het gebruik van bepaalde gevaarlijke stoffen en preparaten

[14] Verdrag van Stockholm inzake persistente organische verontreinigende stoffen, Stockholm, 22-05-2001. Een verdrag van de Verenigde Naties

zeewierketen worden geïntroduceerd en kunnen ontstaan tijdens de bereiding van voedsel (EFSA CONTAM Panel, 2008).

De meest voorkomende en meest onderzochte PAK is benzo(a)pyreen. EFSA concludeerde in 2008 dat benzo(a)pyreen geen geschikte merkerstof is voor het voorkomen van carcinogene PAK's in voedingsmiddelen (EFSA CONTAM Panel, 2008). Het gebruik van vier of acht PAK's, respectievelijk PAK4 en PAK8, levert een betere indicator voor PAK's in voedingsmiddelen. EFSA concludeerde dat een systeem met acht stoffen (PAK8) niet veel toegevoegde waarde zou hebben ten opzichte van een systeem met vier stoffen (PAK4) (EFSA CONTAM Panel, 2008). PAK4 staat voor chryseen, benzo(a)pyreen, benzo(a)antraceen en benzo(b)fluorantheen. PAK8 is PAK4 plus enzo(k)fluorantheen, benzo(g,h,i)peryleen, dibenzo(a,h)antraceen en indeno(1,2,3,c,d)pyreen.

De meeste PAK's zijn kankerverwekkend (carcinogeen). Benzo(a)pyreen is een genotoxisch carcinogeen. EFSA leidde een BMDL10 (de 95% onderste betrouwbaarheidsgrens van de benchmark-dosis die leidt tot een toename van 10% in het aantal proefdieren met een tumor vergeleken met controledieren) af van 0,070 mg/kg lichaamsgewicht per dag voor benzo(a)pyreen en 0,34 mg/kg lichaamsgewicht per dag voor PAK4 en voor PAK8 een BMDL10 van 0,49 mg/kg lichaamsgewicht per dag (EFSA CONTAM Panel, 2008). Een MoE van 10.000 of meer wordt door EFSA gebruikt om te concluderen dat er weinig of geen zorg is voor de gezondheid van de consument.

Poly- en perfluoralkylstoffen (PFAS)

PFAS is een groepsnaam voor poly- en perfluoralkylstoffen. PFAS zijn door de mens gemaakte stoffen die van nature niet in het milieu voorkomen. Er zijn meer dan 4000 PFAS bekend (OECD, 2018). Vanwege de chemisch en thermisch stabiele eigenschappen en hun water- en vuilafstotende werking worden ze als deklaag toegepast in veel industriële producten en consumentenproducten. Voorbeelden zijn meubelstof, outdoor- en regenkleding, en verpakkingsmaterialen voor voedingsmiddelen (voedselcontactmaterialen). Doordat PFAS in veel producten worden toegepast en als gevolg van industriële emissies en incidenten, komen deze stoffen in het milieu terecht in onder andere de bodem, bagger en het oppervlaktewater. Vanwege hun stabiliteit blijven PFAS lang aanwezig in het milieu en kunnen vanuit het oppervlaktewater in zeewier terecht komen.

PFAS zijn niet acuut toxisch. Daarom heeft EFSA geen ARfD afgeleid. Voor chronische effecten heeft EFSA een TWI afgeleid voor de som van vier PFAS (EFSA-4): perfluoroctaanzuur (PFOA), perfluoroctaansulfonzuur (PFOS), perfluornonaanzuur (PFNA) en perfluorhexaansulfonzuur (PFHxS) gebaseerd op immunotoxiciteit als het kritische effect (EFSA CONTAM Panel, 2020a). Momenteel zijn dit de vier PFAS die het meest bijdragen aan de gehalten die in serum van de mens zijn gemeten.

In de mens hebben deze vier PFAS vergelijkbare toxicokinetische eigenschappen, vergelijkbare accumulatie en lange halfwaardetijden. EFSA concludeerde dat het effect op het immuunsysteem het kritisch effect is, waarbij blootstelling aan PFAS geassocieerd is met een verminderde immuunrespons (namelijk een verlaging van de antistofproductie na vaccinatie) en leidde een TWI van 4,4 ng/kg lichaamsgewicht per week af gebaseerd op een verminderde vaccinatierespons bij kinderen van 1 jaar. Deze TWI is ook beschermend tegen andere beschreven gezondheidseffecten (zoals verhoogd cholesterol en ALT-concentratie in serum en verlaagd geboortegewicht) (EFSA CONTAM Panel, 2020a).

EFSA is bij de afleiding van de TWI uitgegaan van equipotentie. Waarschijnlijk zijn er echter wel verschillen in potentie van de vier PFAS, die nu niet tot uitdrukking komen in deze TWI. EFSA geeft aan dat er momenteel onvoldoende gegevens zijn om hiervoor te corrigeren.

De TWI, gebaseerd op de som van vier PFAS, levert vragen op met betrekking tot de toepassing van deze gezondheidskundige grenswaarde bij de risicobeoordeling. De vier PFAS zijn namelijk niet de enige PFAS die zijn aangetroffen in zeewier.

Er zijn twee mogelijkheden om met de som-TWI in de risicobeoordeling om te gaan. Ten eerste uitgaan van gelijke toxiciteit (equipotentie) van de PFAS (EFSA-4 of alle gemeten PFAS). Hiervoor worden de individuele gehaltes van de PFAS opgeteld en deze gesommeerde concentratie gebruikt bij toetsing aan de gezondheidskundige grenswaarde (TWI).

De tweede mogelijkheid is het gebruik van relatieve potentiefactoren (RPF's). RPF's geven de toxische potentie van individuele PFAS weer ten opzichte van PFOA (indexstof). RIVM heeft op dit

moment voor 23 PFAS een RPF afgeleid op basis van levereffecten (Bil et al., 2021; RIVM, 2021b; Bil et al., 2022; Bil et al., 2023). Dit is een ander effect dan de immuuneffecten (het meest kritische effect) waarop de EFSA-TWI is gebaseerd. Met de RIVM-RPF's kan een individueel PFAS-gehalte in zeewier omgerekend worden naar PFOA-equivalenten (PEQ), die vervolgens opgeteld worden voor een toetsing aan de EFSA-TWI.

Aangezien er op dit moment nog geen consensus is over de aanpak voor het berekenen van de som van de aangetroffen PFAS-gehalten zal BuRO in deze risicobeoordeling de blootstelling schatten aan de hand van zowel concentratieadditie als de RPF-methode. Voor een verdere toelichting en kanttekeningen wordt verwezen naar het BuRO-advies over PFAS in eieren van kippen van particulieren (BuRO, 2024a).

(Dier)geneesmiddelen

Residuen van (dier)geneesmiddelen kunnen in oppervlaktewater terechtkomen via effluenten van rioolwaterzuiveringsinstallaties of door uitspoeling vanuit dierlijke mest. Het gaat om een groot aantal verschillende stoffen: geneesmiddelen zoals antibiotica, pijnstillers en antidepressiva, maar ook bijvoorbeeld oestrogenen afkomstig van mens en dier (Lahr et al., 2014; Moermond et al., 2020). In grotere wateren, zoals de Oosterschelde, de Waddenzee of de Noordzee, zullen de concentraties door sterke verdunning lager zijn dan in kleine wateren zoals rivieren.

Gewasbeschermingsmiddelen

In het oppervlaktewater worden gewasbeschermingsmiddelen aangetroffen als gevolg van toepassing van deze middelen in de landbouw en door particulieren. De werkzame stof van een gewasbeschermingsmiddel kan naast het bedoelde effect, het bestrijden van het plaagorganisme, ook ongewenste of schadelijke effecten hebben. Hoewel deze effecten in de toelatingsprocedure van de middelen worden meegewogen, kunnen er toch nadelige effecten voor mens en milieu optreden. De werkzame stoffen hebben geen noodzakelijke chemische verwantschap en er zijn diverse chemische groepen te onderscheiden. Door de grote variatie in chemische structuur tussen de individuele werkzame stoffen zijn de toxische effecten voor de mens sterk uiteenlopend. Mogelijke toxische (lange termijn) effecten van gewasbeschermingsmiddelen die worden beschreven in de literatuur zijn: uiteenlopende vormen van kanker, neurodegeneratieve ziekten zoals Parkinson, amyotrofische laterale sclerose (ALS) en Alzheimer, luchtweg-, voortplantings-, ontwikkelings- en stofwisselingsziekten en aangeboren afwijkingen (Gezondheidsraad, 2020).

Gezondheidskundige grenswaarden (ARfD en ADI) zijn voor Europees goedgekeurde werkzame stoffen (inclusief de stoffen die een Europese goedkeuring hadden, maar inmiddels verboden zijn) te vinden in de pesticide database van de Europese Commissie (Eurostat, 2023).

Minerale oliën

Minerale olie is een verzamelnaam voor duizenden koolwaterstoffen, de zogenaamde MOH's (Mineral Oil Hydrocarbons). Hierin zijn drie groepen te onderscheiden: i) paraffines, ii) naftenen (cycloalkanen) en iii) aromaten. De eerste twee klassen worden samen MOSH (Mineral Oil Saturated Hydrocarbons) genoemd en de laatste groep MOAH (Mineral Oil Aromatic Hydrocarbons). De precieze samenstelling hangt af van de herkomst van de minerale olie (EFSA CONTAM Panel, 2012a).

Er is geen duidelijk kritische effect voor MOSH. EFSA heeft op basis van een NOAEL-waarde, een referentiepunt afgeleid van 236 mg/kg lichaamsgewicht per dag voor een MoE-benadering van negatieve gezondheidseffecten (EFSA CONTAM Panel et al., 2023).

MOAH kan, afhankelijk van de samenstelling, mutageen en carcinogeen zijn. Voor de fractie met drie of meer aromatische ringen geeft EFSA een referentiepunt van 0,49 mg/kg lichaamsgewicht per dag, gebaseerd op toename van tumorvorming uit carcinogeniteitsstudies met polycylische koolwaterstoffen (EFSA CONTAM Panel et al., 2023).

(Zware) metalen

(Zware) metalen komen van nature voor in de bodem. Daarnaast kunnen (zware) metalen als verontreiniging aanwezig zijn in de grond na gebruik van meststoffen (dierlijke mest, kunstmest en gebruik van zuiveringsslib) en gewasbeschermingsmiddelen of als gevolg van (regionale) atmosferische depositie afkomstig van industriële activiteiten. Het gebruik van gelode benzine was

in het verleden een belangrijke bron van verontreiniging van het milieu met lood. De belangrijkste zware metalen zijn arseen, cadmium, lood en kwik. Door uitspoeling komen (zware) metalen in het oppervlaktewater.

Sommige metalen zijn essentieel, en nodig voor het goed functioneren van zeewier, zoals koper, ijzer en zink. Andere metalen (lood, kwik, arseen) kunnen bij lage concentraties giftig zijn voor zeewier (Moennea et al., 2016). Zeewier heeft verschillende mechanismen om de concentraties in de cellen zo laag mogelijk te houden: van het uitscheiden uit de cel tot het binden aan het zeewierbestanddeel carrageen. Factoren die van invloed zijn op het vóórkomen van metalen in zeewier zijn: omgeving waarin zeewier groeit (zoutgehalte van het water, temperatuur, pH, zuurstofgehalte), zeewiersoort, leeftijd en conditie van het zeewier (FSAI Sci. Com., 2020; Faassen et al., 2022).

Arseen

Voor arseen kunnen twee vormen worden onderscheiden; organisch arseen en anorganisch arseen. Vooral anorganisch arseen is zeer giftig voor mensen. Voor de meeste organische vormen zijn onvoldoende toxicologische data om het kritische effect en bijbehorende referentiepunt af te leiden, Voor twee organische arseen verbindingen, monoethylarseenzuur (MMA(V)) en dimethylarseenzuur (DMA(V)), met een incomplete toxicologische dataset, wordt een MoE-benadering gehanteerd. EFSA geeft voor DMA(V) een BMDL10 van 1,1 mg per kg lichaamsgewicht per dag gebaseerd op een toename van blaastumoren in ratten. En stelt dat DMA(V) genotoxisch en carcinogeen is. Voor MMA(V) wordt een BMDL10 van 18,2 mg per kg lichaamsgewicht per dag gegeven, gebaseerd op diarree in ratten als kritisch effect (EFSA CONTAM Panel et al., 2024).

De belangrijkste effecten van kortdurende blootstelling van de mens aan anorganisch arseen zijn effecten op het maagdarmstelsel, hematologische, dermale en neurotoxische effecten. De Amerikaanse Agency for Toxic Substances and Disease Registry (ATSDR) heeft voor kortdurende blootstelling aan anorganisch arseen (tot maximaal veertien dagen) een oraal 'minimal risk level' afgeleid van 5 µg/kg lichaamsgewicht per dag, gebaseerd op een LOAEL van 0,05 mg/kg lichaamsgewicht per dag voor maagdarmeffecten bij de mens (ATSDR, 2007).

De belangrijkste gezondheidseffecten die worden geassocieerd met langetermijninname van anorganisch arseen bij de mens zijn huidafwijkingen, huid-, long- en blaaskanker, ontwikkelingstoxiciteit, neurotoxiciteit, hart- en vaatziekten, abnormaal glucosemetabolisme en diabetes. Ook is er enig bewijs dat anorganisch arseen een negatieve invloed heeft op de ontwikkeling van de foetus en het jonge kind (EFSA CONTAM Panel, 2009a).

EFSA leidde als referentiepunt een BMDL05 van 0,06 µg/kg lichaamsgewicht per dag af (EFSA CONTAM Panel, 2024). Deze BMDL05 is de relatieve toename van 5% van de kankerincidentie ten opzichte van de achtergrondincidentie. De BMDL05 is afkomstig van een Amerikaanse case-control studie naar huidkanker (squameuze cel carcinomen). EFSA concludeerde dat het referentiepunt ook geldt voor andere nadelige effecten van langdurige blootstelling aan anorganisch arseen, zoals long- en blaaskanker, huidlaesies, ischemische hartziekten, chronische nierziekten, respiratoire ziekten, spontane abortus, doodgeboorte en effecten op de neurologische ontwikkeling. Omdat anorganisch een genotoxisch carcinogeen is past EFSA een margin of exposure (MoE) benadering toe. Een MoE gelijk aan 1 komt overeen met een blootstellingsniveau dat overeen komt met een relatieve toename van 5% van de kankerincidentie ten opzichte van de achtergrondincidentie. Dit is reden tot zorg voor de gezondheid van de consument. Een MoE waarbij sprake is van geen of weinig reden tot zorg (MoE of low concern) voor de gezondheid van de consument is niet afgeleid door EFSA. Er bestaat geen precedent dat EFSA kan gebruiken bij de identificatie van een MoE of low concern wanneer gebruik wordt gemaakt van een BMDL gebaseerd op gegevens met betrekking tot kankerincidentie bij de mens (EFSA CONTAM Panel, 2024). Het gevolg hiervan is dat, wanneer de MoE kleiner is dan 1, BuRO geen uitspraak kan doen met betrekking tot de mogelijke risico’s voor de gezondheid van de consument.

Cadmium

Langdurige blootstelling aan cadmium kan nierschade veroorzaken. Cadmium is door het International Agency for Research on Cancer (IARC) van de WHO geclassificeerd als humaan carcinogeen (categorie 1) (Nijkamp et al., 2017). Het Joint Research Centre van de Europese Commissie (JRC) concludeerde dat er geen bewijs is dat cadmium carcinogeen is na orale

blootstelling maar dat er sterke aanwijzingen zijn dat cadmiumoxide carcinogeen is na inhalatie (Nijkamp et al., 2017).

EFSA concludeerde in 2011 (EFSA CONTAM Panel, 2011) dat de TWI voor orale inname van cadmium van 2,5 µg/kg lichaamsgewicht per week (0,36 µg/kg lichaamsgewicht per dag), zoals vastgesteld op basis van niertoxiciteit in 2009, moest worden gehandhaafd.

Kwik

Methylkwik is de meest toxische en ook meest voorkomende vorm van kwik in voedsel, en wordt voornamelijk in vis aangetroffen. Langdurige orale blootstelling aan methylkwik kan leiden tot schadelijke effecten op de neurologische ontwikkeling (EFSA CONTAM Panel, 2012b).

EFSA heeft een TWI afgeleid van 1,3 µg/kg lichaamsgewicht per week (0,18 µg/kg lichaamsgewicht per dag) voor methylkwik (uitgedrukt als kwik) en van 4 µg/kg lichaamsgewicht per week (0,57 µg/kg lichaamsgewicht per dag) voor anorganisch kwik (EFSA CONTAM Panel, 2012b).

Lood

Lood kan accumuleren in het menselijk lichaam en schade veroorzaken aan het ontwikkelende zenuwstelsel. Verder veroorzaakt lood een hoge bloeddruk en niertoxiciteit in volwassenen.

EFSA heeft geconcludeerd dat de eerder afgeleide voorlopige TWI (PTWI) van 25 µg/kg lichaamsgewicht per week niet langer geschikt was omdat er geen bewijs was voor een drempelwaarde voor een aantal kritische eindpunten inclusief neurotoxiciteit in de ontwikkelingsfase en niertoxiciteit. De BMDL voor neurotoxiciteit in de ontwikkelingsfase (BMDL01) komt overeen met een dosis van 0,50 µg/kg lichaamsgewicht per dag. Deze waarde wordt gebruikt voor kinderen. Voor volwassenen, waar de neurotoxiciteit in de ontwikkelingsfase geen rol meer speelt, wordt een BMDL10 van 0,63 µg/kg lichaamsgewicht per dag toegepast. Er wordt een MoE van 10 gehanteerd (EFSA CONTAM Panel, 2010).

Nikkel

Nikkel is van nature of als gevolg van menselijk handelen overal aanwezig in bodem, water en lucht. Nikkel komt in voedsel en drinkwater het meeste voor als nikkel(II). Over het algemeen wordt totaal nikkel gemeten, zonder rekening te houden met de speciatie. Organisch nikkel kan echter zowel andere fysisch-chemische eigenschappen als andere biologische eigenschappen hebben dan anorganisch nikkel. De speciatie is van invloed op de mate van absorptie van nikkel vanuit het maagdarmkanaal (EFSA CONTAM Panel, 2020b).

De belangrijkste effecten van nikkel na korte herhaalde orale blootstellingen waren gewichtsafname, effecten op lever, nieren, botten en darmmicrobiota (knaagdieren en honden) en effecten op de reproductie (muizen). In carcinogeniteitsstudies met proefdieren werd na orale blootstelling geen tumorvorming geconstateerd (EFSA CONTAM Panel, 2020b).

Het kritische acute effect na orale blootstelling aan nikkel is eczeemreactie op de huid bij voor nikkel gevoelige personen. Een LOAEL van 4,3 µg/kg lichaamsgewicht per dag werd als referentiepunt gekozen (EFSA CONTAM Panel, 2020b).

EFSA gaf een TDI van 13 µg/kg lichaamsgewicht per dag. Het kritisch effect hiervoor was het effect op de reproductie (toegenomen post-implantatie verlies) in ratten met een BMDL10 van 1,3 mg/kg lichaamsgewicht per dag (EFSA CONTAM Panel, 2020b).

Radioactieve stoffen

Dagelijks wordt de mens blootgesteld aan lage hoeveelheden radioactieve straling uit de bodem, uit de ruimte, uit bouwmaterialen, bij medisch onderzoek of tijdens vliegreizen. De hoeveelheid natuurlijke radioactieve straling in het lichaam van de mens is zo'n 120 Bq/kg, voornamelijk als gevolg van kalium-40 en koolstof-14. De gemiddelde mens is dus een radioactieve bron van circa 8500 Bq (Aristoteles Consulting, 2023).

Als gevolg van een stralingsongeval kunnen radioactieve stoffen in verhoogde concentraties in het milieu terechtkomen, zoals bijvoorbeeld na het ongeval met de kerncentrale in Fukushima. Het belangrijkste effect van radioactieve straling is de schade die aan het DNA toegebracht kan

worden, met als gevolg een verhoogde kans op kanker. Bij extreem hoge doses treedt stralingsziekte op die na een aantal weken tot de dood kan leiden (RIVM, 2021c).

Verordening (Euratom) 2016/52[15] geeft maximaal toegelaten niveaus van radioactieve besmetting in voedingsmiddelen in Bq/kg, als volgt:

- Totaal strontiumisotopen, met name Sr-90: 750 Bq/kg.
- Totaal jodiumisotopen, met name I-131: 2000 Bq/kg.
- Totaal alfastraling uitzendende isotopen van plutonium en transplutoniumelementen, met name Pu-239 en Am-241: 80 Bq/kg.
- Totaal alle andere nucliden met een halveringstijd van meer dan tien dagen: 1250 Bq/kg.

Voor de invoer van voedingsmiddelen van oorsprong uit of verzonden vanuit Japan, in verband met het ongeval in de kerncentrale van Fukushima, was de maximale concentratie voor totaal cesium-134 en cesium-137 voor de meeste voedingsmiddelen 100 Bq/kg (Uitvoeringsverordening (EU) nr. 322/2014[16]). Deze uitvoeringsverordening was geldig tot 8 januari 2016.

4.5.2.3 Blootstellingsschatting

Vers onbewerkt zeewier van Nederlandse zeewierboerderijen

Om inzicht te krijgen in het vóórkomen van chemische contaminanten in zeewier dat in Nederland wordt geteeld is door WFSR in 2018, 2019 en 2020 bij zeewierboerderijen in de Oosterschelde, Waddenzee en Noordzee zeewier bemonsterd. Daarnaast is ook zeewier bemonsterd in bassins die op het land staan en zeewater ontvangen via een pijpleiding (Faassen et al., 2022). De meest geteelde zeewiersoorten in Nederland zijn zeesla (*Ulva* spp.) en suikerwier (*Saccharina latissima*) (Faassen et al., 2022). Er zijn zeeslasoorten die voor Nederland uitheems zijn. Het is niet bekend welke *Ulva* soorten er zijn geanalyseerd. Suikerwier is een inheemse soort in Nederland (Gittenberger et al., 2020b). Er zijn slechts een paar monsters van andere soorten zeewier genomen, daarom is de risicobeoordeling gebaseerd op het onderzoek aan *Ulva* spp. en *Saccharina latissima*, afgekort tot zeesla en suikerwier.

Zeesla is zeewier dat groeit in de zomer (mei-oktober). Per seizoen zijn meerdere oogsten mogelijk. Suikerwier is een wier dat groeit in de winter (november- juni) en wordt geoogst in het voorjaar. Voor beide soorten zijn gedurende het groeiseizoen monsters genomen op verschillende locaties op verschillende punten in het zeewierveld om de gehaltes van contaminanten in de loop van de tijd te volgen (Faassen et al., 2022).

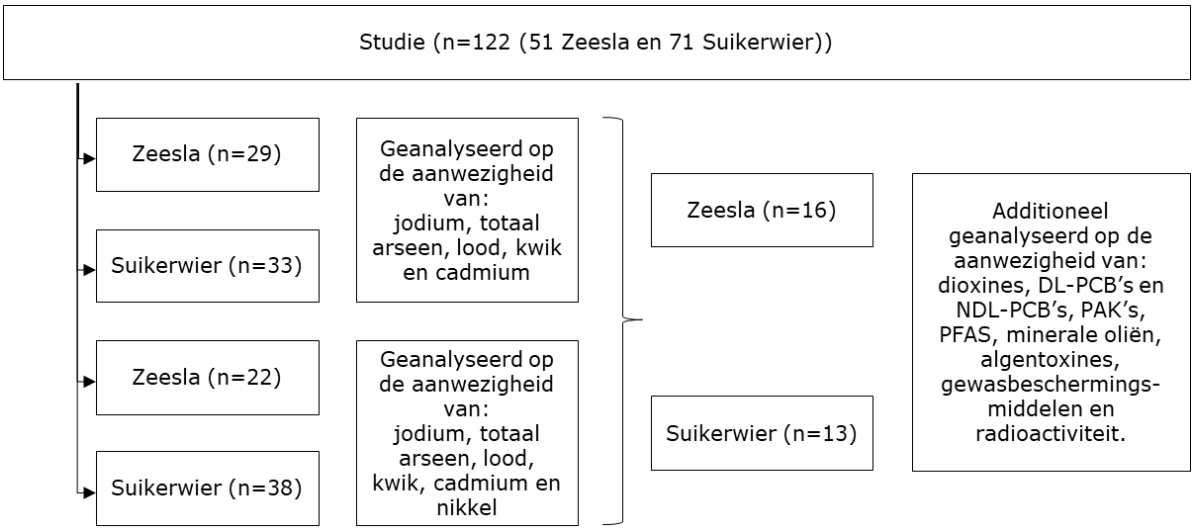
Niet al het zeewier dat op dit moment geteeld wordt, wordt gebruikt voor consumptie. Een gedeelte wordt gebruikt voor onderzoek waardoor de teeltomstandigheden kunnen verschillen en van invloed kunnen zijn op de contaminantconcentratie. Voor de blootstellingsschatting is geen onderscheid gemaakt tussen geteeld zeewier voor onderzoeksdoeleinden of consumptie.

De volgende contaminanten zijn geanalyseerd in de zeewiermonsters: jodium, kwik, lood, cadmium, arseen, nikkel, dioxines, PCB's, PAK's, PFAS, minerale oliën, gewasbeschermingsmiddelen, radioactiviteit en algentoxines (cyanotoxines) (zie ook Tabel 9). In totaal zijn 122 monsters genomen en geanalyseerd (51 zeesla en 71 suikerwier). Wegens het kleine aantal monsters per bemonsteringslocatie en per bemonsterde periode wordt geen onderverdeling gemaakt in locatie en groeiseizoen van de bemonsteringen.

De studie besloeg twee groeiseizoenen per zeewiersoort. Alle 122 monsters uit de studie zijn geanalyseerd op de aanwezigheid van jodium, totaal arseen, lood, kwik en cadmium. Wanneer het totaal arseengehalte groter was dan 0,1 mg/kg natgewicht is ook het gehalte anorganisch arseen bepaald. De monsters uit het tweede groeiseizoen (22 zeesla en 38 suikerwier) zijn bovendien geanalyseerd op de aanwezigheid van nikkel. Daarnaast is een deel van de monsters uit beide

[15] Verordening (Euratom) 2016/52 tot vaststelling van maximaal toelaatbare niveaus van radioactieve besmetting van levensmiddelen en diervoeders ten gevolge van een nucleair ongeval of ander stralingsgevaar en tot intrekking van Verordening (Euratom) nr. 3954/87 en de Verordeningen (Euratom) nr. 944/89 en (Euratom) nr. 770/90 van de Commissie

[16] Uitvoeringverordening (EU) nr. 322/2014 tot vaststelling van bijzondere voorwaarden voor de invoer van levensmiddelen en diervoeders van oorsprong uit of verzonden vanuit Japan in verband met het ongeval in de kerncentrale van Fukushima



Figuur 6 Een overzicht van het aantal geanalyseerde monsters en de daarbij behorende stoffen waarop deze monsters geanalyseerd zijn.

groeiseizoenen (16 zeesla en 13 suikerwier) geanalyseerd op de aanwezigheid van dioxines, dioxine-achtige PCB's (DL-PCB's) en niet dioxine-achtige PCB's (NDL-PCB's), PAK's, PFAS, minerale oliën, algentoxines, gewasbeschermingsmiddelen en radioactiviteit. Bijlage IV geeft een overzicht van de individueel geanalyseerde dioxines, DL-PCB's en NDL-PCB's. De selectie van deze monsters is gemaakt op basis van een zo breed mogelijke vertegenwoordiging van beide soorten zeewier, oogst/teelttechnieken, locaties en oogstmomenten. Figuur 6 geeft een overzicht van het aantal geanalyseerde monsters en de daarbij behorende stoffen waarop deze monsters geanalyseerd zijn. Vanwege de relevantie van en de huidige zorgen over PFAS-verbindingen als wijdverspreide milieucontaminanten, is voor deze stoffen een analysemethode voor zeewier ontwikkeld en gevalideerd. De analyses van de PFAS-verbindingen hebben daardoor op een later moment plaatsgevonden (2023) in de bewaarde oorspronkelijke zeewiermonsters (14 zeesla en 12 suikerwier) (Krätschmer, 2024). De individuele PFAS worden beschreven aan de hand van een afkorting. De lijst van afkortingen en volledige naamgeving is terug te vinden in Bijlage V.

Gehaltes contaminanten in vers onbewerkt zeewier

Tabel 11 geeft een overzicht van het aantal geanalyseerde monsters en het aantal monsters met een meetwaarde kleiner dan de kwantificatielimiet (LOQ) voor de aangetroffen stoffen gemeten in zeesla en suikerwier. Voor details met betrekking tot de LOQ wordt verwezen naar Bijlage VI. In twee monsters zeesla zijn de algentoxines cylindrospermopsine en 7-epi-cylindrospermopsine aangetoond maar kon het gehalte van deze stoffen niet worden bepaald. In de suikerwiermonsters zijn geen algentoxines aangetroffen. Minerale oliën, gewasbeschermingsmiddelen en radioactiviteit zijn in geen van de geanalyseerde monsters zeesla en suikerwier aangetroffen.

In de PFAS-analyses zijn de volgende individuele PFAS geanalyseerd: PFHxA, PFHpA, PFOA, PFNA, PFDA, PFUnDA, PFDoDA, PFTrDA, PFTeDA, PFBS, PFHxS, PFHpS, PFOS, PFDS, GenX, NaDONA, 9Cl-PF3ONS. Het was niet mogelijk om PFBA, PFPeA, PFHxDA, PFODA, PFOSA en 11Cl-PF3OUdS te bepalen.

Voor de aangetroffen individuele PFAS staat in Tabel 10 een overzicht van het aantal geanalyseerde monsters en het aantal monsters met een meetwaarde kleiner dan de kwantificatielimiet (LOQ) gemeten in zeesla en suikerwier. PFOS is in bijna alle monsters zeesla en in alle monsters suikerwier aangetroffen in concentraties groter dan de LOQ. Voor details met betrekking tot de LOQ wordt verwezen naar Bijlage VI.

Voor een aantal stoffen lag het analyseresultaat onder de kwantificatielimiet (Tabel 11, Tabel 10). Om hiermee in de risicobeoordeling rekening te houden heeft BuRO bij de blootstellingsgehaltes (P50- en P95) gebruik gemaakt van twee berekeningswijzen, namelijk gebaseerd op lower bound (LB) en gebaseerd op upper bound (UB). Bij het gebruik van LB zijn de gerapporteerde gehalten

<LOQ vervangen door de waarde 0 en bij UB zijn de gerapporteerde gehalten <LOQ vervangen door de bijbehorende LOQ's. De resultaten met LB en UB zijn hetzelfde als er voor een stof geen of relatief weinig analyseresultaten zijn die kleiner zijn dan de LOQ.

Tabel 10 Een overzicht van het aantal geanalyseerde monsters en het aantal monsters kleiner dan de kwantificatielimiet (LOQ) voor de aangetroffen individuele PFAS in zeesla en suikerwier.

Individuele PFAS*	Zeesla		Suikerwier	
	Geanalyseerde monsters (N)	Monsters <LOQ (N)	Geanalyseerde monsters (N)	Monsters <LOQ (N)
PFHxA	14	14	12	12
PFHpA	14	12	12	9
PFOA	14	14	12	12
PFNA	14	6	12	9
PFDA	14	5	12	9
PFUnDA	14	6	12	10
PFDoDA	14	8	12	10
PFTrDA	14	11	12	11
PFTeDA	14	14	12	11
PFBS	14	14	12	12
PFHxS	14	14	12	11
PFHpS	14	14	12	12
PFOS	14	2	12	0
PFDS	14	14	12	12
GenX	14	14	12	12
NaDONA	14	14	12	12
9Cl-PF3ONS.	14	14	12	12

* Zie bijlage V voor de verklaringen van de afkortingen.

Tabel 11 Een overzicht van het aantal geanalyseerde monsters en het aantal monsters kleiner dan de kwantificatielimiet (LOQ) voor de aangetroffen stoffen in zeesla en suikerwier. De LOQ is geschat door de LOQ voor natte monsters te corrigeren voor het vochtgehalte van het monster (Faassen et al., 2022).

Stof	Zeesla		Suikerwier	
	Geanalyseerde monsters (N)	Monsters <LOQ (N)	Geanalyseerde monsters (N)	Monsters <LOQ (N)
Jodium	51	0	71	0
Cadmium	51	10	71	28
Kwik	51	26	71	45
Lood	51	11	71	4
Nikkel	22	0	38	3
Totaal arseen	51	5	71	0
Anorganisch arseen	41	13	70	33
Totaal dioxines	16	0*	13	0*
Totaal DL- PCB's	16	0*	13	0*
Totaal NDL- PCB's	16	1	13	2
Benzo(a)anthraceen	16	4	13	5
Chryseen	16	4	13	4
Benzo(b)fluorantheen	16	4	13	4
Benzo(a)pyreen	16	4	13	4

*hier wordt van het totaalgehalte van de geanalyseerde dioxines uitgegaan; individuele dioxines of DL-PCB's (zie bijlage IV) kunnen wel onder de LOQ liggen.

Tabel 12 Overzicht van het P50- en P95-gehalte (mg/kg) van jodium en de verschillende metalen aangetroffen in de onderzochte zeewieren zeesla en suikerwier.

Stof	Zeesla				Suikerwier			
	Nat zeewier		Droog zeewier		Nat zeewier		Droog zeewier	
	LB	UB	LB	UB	LB	UB	LB	UB
	P50-gehalte (mg/kg)							
Jodium	6,2	6,2	27	27	560	560	3483	3483
Cadmium	0,0075	0,011	0,038	0,049	0,019	0,021	0,12	0,14
Lood	0,26	0,26	1,3	1,3	0,29	0,29	1,8	1,8
Kwik	0	0,0047	0	0,028	0	0,015	0	0,091
Nikkel	0,59	0,59	2,7	2,7	0,48	0,48	3,2	3,2
Anorganisch arseen	0,11	0,11	0,46	0,53	0,12	0,12	0,78	0,83
	P95-gehalte (mg/kg)							
Jodium	31	31	161	161	1150	1150	6925	6925
Cadmium	0,022	0,066	0,089	0,31	0,049	0,066	0,24	0,39
Lood	1,65	1,65	6,4	6,4	1,3	1,3	6,9	6,9
Kwik	0,016	0,016	0,041	0,048	0,018	0,018	0,11	0,12
Nikkel	1,5	1,5	6,0	6,0	1,8	1,8	12	12
Anorganisch arseen	0,28	0,28	1,3	1,3	0,39	0,39	2,08	2,08

Voor de blootstellingsberekening van PFAS zijn alleen op LB gebaseerde berekeningen uitgevoerd. De PFAS-resultaten laten zien dat in een relatief groot aantal monsters gehaltes onder de LOQ worden gerapporteerd (Tabel 10). Een UB geeft fictieve PFAS-gehalten waarbij gehalten van niet-gedetecteerde PFAS zijn gebaseerd op de kwantificatielimiet van de analytische methode. De som van de gehalten van de individuelen PFAS die gebruikt wordt bij toetsing aan de TWI wordt dan dus voor een groot deel bepaald door de hoogte van de kwantificatielimieten van de PFAS die onder de kwantificatielimiet zijn geanalyseerd. Upper bound gehalten zijn voor de risicobeoordeling dus niet reëel en laten slechts de onzekerheid zien die PFAS-gehalten onder de LOQ maximaal kunnen introduceren.

Het totale PFAS-gehalte in zeesla en suikerwier is op vier manieren berekend:

1. De som EFSA-4 (gebaseerd op equipotentie)
2. De som EFSA-4 (gebaseerd op relatieve potentie)
3. De som van alle gemeten PFAS (gebaseerd op equipotentie)
4. De som van alle gemeten PFAS (gebaseerd op relatieve potentie).

Tabel 13 Overzicht van het P50- en P95-gehalte van totaal dioxines + totaal DL-PCB's (ng WHO(2005)-PCB-TEQ/kg) en de som van PAK4 (µg/kg) aangetroffen in de onderzochte zeewieren zeesla en suikerwier.

Stof	Zeesla				Suikerwier			
	Nat zeewier		Droog zeewier		Nat zeewier		Droog zeewier	
	LB	UB	LB	UB	LB	UB	LB	UB
	P50-gehalte (ng WHO(2005)-PCDD/F-TEQ/kg)							
Totaal dioxines + DL-PCB's	0,046	0,073	0,16	0,32	0,021	0,071	0,14	0,41
	P50-gehalte (µg/kg)							
Som PAK4	0,82	0,82	4,0	4,0	1,03	1,03	4,7	4,7
	P95-gehalte (ng WHO(2005)-PCDD/F-TEQ/kg)							
Totaal dioxines + DL-PCB's	0,13	0,20	0,61	0,99	0,18	0,21	0,96	1,2
	P95-gehalte (µg/kg)							
Som PAK4	3,8	3,8	16	16	7,9	7,9	44	44

Bij de berekening van de som EFSA-4 en de som van alle gemeten PFAS, beiden gebaseerd op relatieve potentie, heeft BuRO gebruik gemaakt van RPF's zoals die zijn voorgesteld door RIVM (Bil et al., 2021; RIVM, 2021b) (Bijlage VII).

Tabel 12, Tabel 13 en Tabel 14 geven een overzicht van het P50- en P95-gehalte van jodium en de overige contaminanten aangetroffen in de onderzochte zeewieren zeesla en suikerwier. Omdat er geen gezondheidskundige grenswaardwaarde beschikbaar is voor totaal NDL-PCB's is deze niet meegenomen in de berekeningen.

Alle gehalten zijn berekend voor zowel nat als voor droog zeewier. De basis voor deze berekeningen vormde de door WFSR geanalyseerde gehalten in zowel nat als droog zeewier. In haar rapportage heeft WFSR alle analyseresultaten uitgedrukt in drooggewicht. Wanneer analyses op natte monsters zijn uitgevoerd, zijn de gehalten op basis van drooggewicht berekend door te corrigeren voor het vochtgehalte van het monster (Faassen et al., 2022).

Bijlage VIII bevat drie tabellen waar, naast het P50- en P95-gehalte, ook een gemiddelde, minimum en maximum gehalte zijn weergegeven van jodium, de verschillende metalen en de overige contaminanten.

De totale PFAS-gehalten in zeesla en in suikerwier zijn op vier manieren berekend en weergegeven in Bijlage VIII. Tabel 14 geeft een overzicht van de totale PFAS-gehalten berekend volgens methode 1 (som van EFSA-4 gebaseerd op equipotentie) en methode 4 (som van alle gemeten PFAS gebaseerd op relatieve potentie). De resultaten van deze twee methoden worden

weergegeven omdat methode 1 een directe vergelijking met de TWI mogelijk maakt en omdat methode 4 alle gemeten PFAS in ogenschouw neemt. Methode 2 en 3 vormen een combinatie van methode 1 en methode 4 en zijn voor de leesbaarheid in de bijlage geplaatst.

Tabel 14 De door BuRO berekende totale PFAS-gehalten (ng PFAS/kg of ng PEQ/kg voor de berekeningen gebaseerd op RPF's) in de onderzochte zeewieren zeesla en suikerwier. De P50- en P95-gehalten zijn berekend op basis van een lower bound scenario. Voor het optellen van de individuele PFAS-gehalten zijn twee verschillende methoden gebruikt; som van de EFSA-4 gebaseerd op equipotentie en de som van alle gemeten PFAS gebaseerd op RPF's.

PFAS	Zeesla		Suikerwier	
	Nat zeewier	Droog zeewier	Nat zeewier	Droog zeewier
	P50-gehalte			
Som EFSA-4 (ng PFAS/kg)	161	211	35	1.505
Som alle gemeten PFAS (ng PEQ/kg)	825	3.373	80	4.615
	P95-gehalte			
Som EFSA-4 (ng PFAS/kg)	619	3.804	270	2.280
Som alle gemeten PFAS (ng PEQ/kg)	2.480	14.489	1.400	9.830

Bewerking en verwerking van zeewier

Het aantal onderzoeken in de literatuur over de effecten van bereiding van zeewier op de aanwezigheid van jodium of metalen neemt de laatste jaren (sterk) toe. Wassen/spoelen, weken en/of koken kan leiden tot een afname van het jodiumgehalte (60 – 80%) (FAO & WHO, 2022). De mate waarin de jodium- of metaalgehalten afnemen na rehydratatie of koken is afhankelijk van het soort zeewier (Correia et al., 2021). Blancheren en vervolgens fermenteren van *S. latissima* leidde tot een afname van 81% van de jodiumgehalten (Banach et al., 2024). Blancheren in water (80 °C gedurende 120 seconden) van *S. latissima* leidde tot een afname van het jodiumgehalte van 94% (Nielsen et al., 2020). Spoelen (drie keer) en weken (15 min) van *S. latissima* leidde tot een soortgelijke afname (85%) van het jodiumgehalte (Blikra et al., 2021).

Wassen en weken van zeewier kan de totaal arseengehalten verlagen tot wel 60% van het oorspronkelijke gehalte (FAO & WHO, 2022). Verhitten in water (90 °C) kan leiden tot een afname van het arseengehalte tot wel 80%. Wanneer deze behandeling gevolgd werd door weken (20

minuten) in water met 2% natriumchloride (NaCl, keukenzout) nam het arseengehalte verder af met 5 tot 20% (Park et al., 2019). Blancheren en vervolgens fermenteren van *S. latissima* leidde tot een afname van 46% van het totale arseengehalte (Banach et al., 2024). Spoelen (drie keer) en weken (15 min) van *S. latissima* leidde tot een afname van 43% van het totale arseengehalte (Blikra et al., 2021).

Cadmium, chroom en lood kunnen verwijderd worden door immersie/onderdompeling van vers wier (genera *Porphyra* en *Pyropia*) in een zuuroplossing (pH 2,5-4,0) gedurende 20 minuten. De aanwezigheid van lood, kwik en cadmium in verwerkt wier (geroosterd of gekruid) kan mogelijk verminderd worden door koken (Cho & Rhee, 2020). Na blancheren verminderde het cadmiumgehalte niet. Werd het blancheren gevolgd door fermenteren dan nam het cadmiumgehalte af met 35% (Banach et al., 2024). Daarentegen leidde blancheren en vervolgens fermenteren tot een toename in het gehalte van koper en zink (Banach et al., 2024).

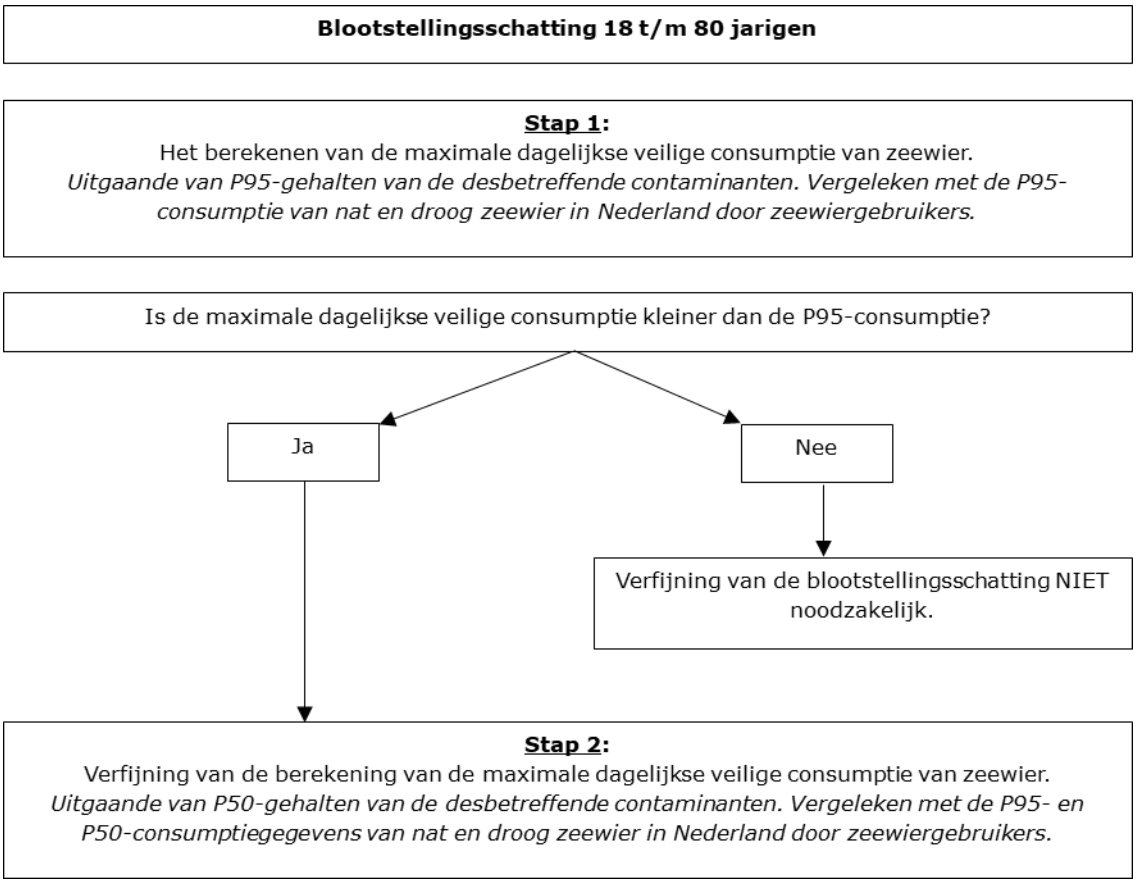
WFSR heeft twee studies uitgevoerd waarin is gekeken naar het effect van verschillende verwerkingsstappen op de aanwezigheid van jodium en een aantal zware metalen in zeesla en suikerwier (Van Tuinen et al., 2023) en suikerwier (Gsell et al., 2025) van Nederlandse zeewierboerderijen. Factoren die mogelijk zorgen voor een verlaging van gehalten zijn wassen van vers zeewier in ruime hoeveelheden zoetwater en het rehydrateren van droog zeewier met ruime hoeveelheden warm tot kokend water. Daarentegen zorgt het drogen van vers zeewier voor een verhoging van de contaminantgehalten in het gedroogde product (Van Tuinen et al., 2023). Wanneer suikerwier gewassen werd met kunstmatig zeewater bij 60 °C namen de jodium- en arseengehalten af. Het toevoegen van een extra verwerkingsstap droeg vervolgens niet (jodium) of nauwelijks (arseen) bij aan verdere verlaging van de gehalten. Het koper- en in mindere mate het kwikgehalte nam toe na het toepassen van een tweede was/rehydratatie stap met leidingwater. De onderzoekers raden aan om meer onderzoek te doen naar het gebruik van waswater met verschillende zoutgehalten. De loodgehalten werden niet beïnvloed door de onderzochte verwerkingsstappen (Gsell et al., 2025).

Bovenstaande resultaten geven aan dat verschillende bewerking- en verwerkingsstappen een bijdrage kunnen leveren aan de afname van (zware) metalen en jodium in zeewier. De hoogte van de afname varieert. Hierbij moet in het achterhoofd gehouden worden dat dit mogelijk niet voor alle (zware) metalen geldt en dat de afname afhankelijk is van onder andere het soort zeewier en de (combinatie van) bewerkings- en verwerkingsstappen. Daarom zijn bij deze risicobeoordeling door BuRO de mogelijke afnames van (zware) metalen en jodium door de verwerking en/of bereidingsstappen niet meegenomen. Er is bij de berekening van het risico vanuit gegaan dat alle (zware) metalen en jodium in het zeewier ook beschikbaar zijn voor opname; een worst-case scenario.

In de literatuur is geen informatie gevonden over de invloed van bewering- of verwerkingsstappen op de aanwezigheid van PFAS in zeewier.

Blootstellingsschatting

Bij de blootstellingsschatting is de blootstelling berekend voor de doelgroep 18- t/m 80-jarigen op basis van de consumptiehoeveelheden zoals deze zijn gedefinieerd in het consumptieonderzoek van RIVM (zie paragraaf 3.4.2) (Dinnissen et al., 2020). De blootstellingschatting is uitgevoerd in twee stappen (Figuur 7). De consumptiegegevens van 1- t/m 17-jarigen zeewiergebruikers zijn in dit onderzoek gebaseerd op een klein aantal consumenten. Hierdoor zijn deze gegevens niet representatief en worden dan ook niet gebruikt voor de blootstellingsschatting. Als alternatief is door BuRO voor peuters (1- t/m 3-jarigen; 12 kg) berekend wat de maximale veilige consumptie van zeewier is om een grove inschatting te maken met betrekking tot mogelijke risico’s voor kinderen.



Figuur 7 Overzicht van de stappen die genomen zijn bij de blootstellingsschatting voor de doelgroep 18- t/m 80-jarigen.

Maximale veilige consumptie van zeewier
Allereerst is, aan de hand van de P95-gehalten van de contaminanten uit Tabel 12, Tabel 13 en Tabel 14 uitgerekend hoeveel nat en droog zeewier 1- t/m 3-jarigen (12 kg) en 18- t/m 80-jarigen (60 kg) per dag mogen consumeren voordat de desbetreffende gezondheidskundige grenswaarden overschreden worden. De resultaten voor jodium, cadmium, kwik, lood, nikkel en anorganisch arseen zijn weergegeven in Tabel 15. De resultaten voor totaal dioxines + DL-PCB's en som PAK4 zijn weergegeven in Tabel 16 en de resultaten voor PFAS zijn weergegeven in Tabel 17. Vervolgens zijn de resultaten vergeleken met de P95-consumptie van nat en droog zeewier in Nederland.

De P95-consumptie van nat zeewier in Nederland door zeewiergebruikers (18- t/m 80-jarigen) wordt door RIVM geschat op 93,3 gram per dag, met een 95% betrouwbaarheidsinterval van 25,1 – 161,4 gram per dag. Dit komt overeen met een dagelijkse consumptie van 13,3 gram droog zeewier (P95), met een 95% betrouwbaarheidsinterval van 3,6 – 23,1 gram per dag (Tabel 3) (Dinnissen et al., 2020). De P95-consumptie wordt beïnvloed door de metingen van personen met extreme rapportage van de consumptie. Het betreft dus overschatting van de consumptie, een worst-case consumptie. In Tabel 15, Tabel 16 en Tabel 17 zijn de maximale hoeveelheden zeewier die kleiner zijn dan de bovenste grens van het 95% betrouwbaarheidsinterval van de P95-consumptie vetgedrukt (i.e. <161,4 gram per dag en <23,1 gram per dag, respectievelijk voor nat en droog zeewier). Deze waarden duiden op een mogelijk gezondheidsrisico omdat de maximale veilige inname voor een volwassene lager ligt dan een realistische consumptiehoeveelheid. Voor 1- t/m 3-jarigen kan deze duiding niet worden gegeven vanwege het ontbreken van betrouwbare consumptiegegevens voor deze groep.

Bijlage IX geeft een overzicht van de maximale dagelijkse veilige consumptie van de onderzochte zeewieren zeesla en suikerwier voordat de gezondheidskundige grenswaarde voor PFAS overschreden wordt voor alle vier de methoden waarmee het totale PFAS-gehalte berekend is.

Op basis van de berekende maximale dagelijkse veilige consumptie van zeewier (Tabel 15, Tabel 16, Tabel 17) concludeert BuRO dat 18- t/m 80-jarigen (zeer) grote hoeveelheden van het onderzochte natte of droge zeewier (zowel zeesla als suikerwier) kunnen consumeren voordat de gezondheidskundige grenswaarden voor cadmium, kwik, nikkel en de som van PAK4 overschreden worden. Hierbij is geen rekening gehouden met de inname van deze contaminanten uit andere bronnen. BuRO acht het onwaarschijnlijk dat deze maximum veilige hoeveelheden dagelijks door een consument gegeten worden, omdat deze boven de bovenste grens van het 95% betrouwbaarheidsinterval van de P95-consumptie liggen (niet vetgedrukte waardes in Tabel 15, Tabel 16, Tabel 17). Voor peuters (1- t/m 3-jarigen) zijn geen consumptiegegevens beschikbaar zodat geen vergelijking gemaakt kan worden met de berekende maximaal veilige consumptie. Het beeld voor peuters lijkt voor deze contaminanten op basis van de schattingen echter overeen te komen met dat van volwassenen: de porties zijn zo groot dat het onwaarschijnlijk is dat ze dagelijks door peuters gegeten worden. De mate van aanwezigheid van de genoemde contaminanten in het onderzochte zeewier zorgt dus niet voor een risico voor de gezondheid van de consument (zowel voor peuters als voor volwassenen). Dit geldt niet voor de consumptie van zeewier met betrekking tot jodium, lood, anorganisch arseen, dioxines (totaal dioxines + DL-PCB's) en PFAS. De maximale veilige consumptie ligt onder de bovenste grens van het 95% betrouwbaarheidsinterval van de P95-consumptie van 18- t/m 80-jarigen (vetgedrukte waardes in Tabel 15, Tabel 16, Tabel 17). Deze berekening van de maximale veilige consumptie is gebaseerd op P95-concentratiegegevens en vervolgens vergeleken P95-consumptiegegevens, dit is een worst-case scenario. Verfijning naar een meer realistisch blootstellingsscenario is noodzakelijk om eventuele risico's met betrekking tot blootstelling aan jodium, lood, anorganisch arseen, dioxines (totaal dioxines + DL-PCB's) en PFAS beter in te schatten. Deze verfijning is hieronder uitgewerkt.

Tabel 15 De maximale dagelijkse veilige consumptie van de onderzochte zeewieren zeesla en suikerwier voordat de gezondheidskundige grenswaardes voor jodium, cadmium, kwik, lood, nikkel, en anorganisch arseen overschreden worden door 1- t/m 3-jarigen (12 kg) en 18- t/m 80-jarigen (60 kg). Vetgedrukte waardes: de berekende maximale dagelijkse veilige consumptie ligt lager dan de bovenste grens van een hoge consumptie (95% betrouwbaarheidsinterval van de P95 consumptie; i.e. <161,4 gram per dag en <23,1 gram per dag, respectievelijk voor nat en droog zeewier). Hierbij is geen rekening gehouden met blootstelling uit andere bronnen.

Zeewier		Stof	Gezondheids-kundige grenswaarde (µg/kg lichaams-gewicht per dag)	P95-gehalte (mg/kg)		Maximale dagelijkse veilige consumptie (g/dag)			
						1- t/m 3-jarigen		18- t/m 80-jarigen	
				LB	UB	LB	UB	LB	UB
Zeesla	Nat	Jodium	17 (peuters)[a] 10 (volwassenen)[b]	31	31	6,5	6,5	19	19
		Cadmium	0,36[c]	0,022	0,066	196	65	982	327
		Kwik	0,18[d]	0,016	0,016	135	135	675	675
		Lood	0,06[e]	1,7	1,7	0,42	0,42	**2,1**	**2,1**
		Nikkel	13	1,5	1,5	104	104	520	520
		Anorganisch arseen	0,06[f]	0,28	0,28	3	3	**13**	**13**
	Droog	Jodium	17 (peuters) 10 (volwassenen)	161	161	1,2	1,2	3,7	3,7
		Cadmium	0,36	0,089	0,31	49	14	243	70
		Kwik	0,18	0,041	0,048	53	45	263	225
		Lood	0,06	6,4	6,4	0,11	0,11	**0,56**	**0,56**
		Nikkel	13	6,0	6,0	26	26	130	130
		Anorganisch arseen	0,06	1,3	1,3	0,6	0,6	**3**	**3**
Suikerwier	Nat	Jodium	17 (peuters) 10 (volwassenen)	1150	1150	0,17	0,17	**0,52**	**0,52**
		Cadmium	0,36	0,049	0,066	88	65	441	327
		Kwik	0,18	0,018	0,018	120	120	600	600
		Lood	0,06	1,3	1,3	0,55	0,55	**2,8**	**2,8**
		Nikkel	13	1,8	1,8	87	87	433	433
		Anorganisch arseen	0,06	0,39	0,39	1,8	1,8	**9**	**9**
	Droog	Jodium	17 (peuters) 10 (volwassenen)	6925	6925	0,029	0,029	**0,087**	**0,087**
		Cadmium	0,36	0,24	0,39	18	11	90	55
		Kwik	0,18	0,11	0,12	20	18	98	90
		Lood	0,06	6,9	6,9	0,1	0,1	**0,52**	**0,52**
		Nikkel	13	12	12	13	13	65	65
		Anorganisch arseen	0,06	2,08	2,08	0,3	0,3	**1,7**	**1,7**

[a] Met betrekking tot peuters (1 t/m 3-jarigen) is de gezondheidskundige grenswaarde voor jodium gebaseerd op een tolerable upper level van 200 µg/dag en een lichaamsgewicht van 12 kg.
[b] Voor volwassenen geldt dat de gezondheidskundige grenswaarde voor jodium is gebaseerd op een tolerable upper level van 600 µg/dag en een lichaamsgewicht van 60 kg.
[c] De gezondheidskundige grenswaarde van cadmium is gebaseerd op een TWI van 2,5 µg/kg lichaamsgewicht per week.
[d] De gezondheidskundige grenswaarde van kwik is gebaseerd op een TWI van 1,3 µg/kg lichaamsgewicht per week.
[e] Het toepassen van een factor 10 (MoE) op een $BMDL_{10}$ van 0,63 µg lood/kg lichaamsgewicht per dag leidt tot een gezondheidskundige grenswaarde van 0,06 µg lood/kg lichaamsgewicht per dag.
[f] Het toepassen van een factor 1 (MoE) op een $BMDL_{0,5}$ van 0,06 µg anorganisch arseen/kg lichaamsgewicht per dag leidt tot gezondheidskundige grenswaarde van 0,06 µg anorganisch arseen/kg lichaamsgewicht per dag.

Tabel 16 De maximale dagelijkse veilige consumptie van de onderzochte zeewieren zeesla en suikerwier voordat de gezondheidskundige grenswaardes voor dioxines en PAK4 overschreden worden door 1- t/m 3-jarigen (12 kg) en 18- t/m 80-jarigen (60 kg). Vetgedrukte waardes: de berekende maximale dagelijkse veilige consumptie ligt lager dan de bovenste grens van een hoge consumptie (95% betrouwbaarheidsinterval van de P95 consumptie; i.e. <161,4 gram per dag en <23,1 gram per dag, respectievelijk voor nat en droog zeewier). Hierbij is geen rekening gehouden met blootstelling uit andere bronnen.

Zeewier		Stof	Gezondheids-kundige grenswaarde (µg/kg lichaams-gewicht per dag)	P95-gehalte (µg/kg)		Maximale dagelijkse veilige consumptie (g/dag)			
						1- t/m 3-jarigen		18- t/m 80-jarigen	
				LB	UB	LB	UB	LB	UB
Zeesla	Nat	Totaal dioxines + DL-PCB's	0,00000028[a]	0,00013	0,000204	26	17	**129**	**84**
		Som PAK4	0,034[b]	3,8	3,8	108	108	537	537
	Droog	Totaal dioxines + DL-PCB's	0,00000028	0,00061	0,00099	5,5	3,4	28	**17**
		Som PAK4	0,034	15,7	15,7	27	27	136	136
Suikerwier	Nat	Totaal dioxines + DL-PCB's	0,00000028	0,00018	0,00021	19	16	**93**	**80**
		Som PAK4	0,034	7,9	7,9	52	52	258	258
	Droog	Totaal dioxines + DL-PCB's	0,00000028	0,00096	0,0012	3,5	2,8	**18**	**14**
		Som PAK4	0,034	44	44	9,3	9,3	46	46

[a] De gezondheidskundige grenswaarde (TDI) voor totaal dioxines + DL-PCB's is gebaseerd op een TWI van 2 pg WHO-TEQ/kg lichaamsgewicht per week.
[b] Het toepassen van een factor 10.000 (MoE) op een $BMDL_{10}$ van 0,34 mg som PAK4/kg lichaamsgewicht per dag leidt tot een gezondheidskundige grenswaarde van 0,034 µg som PAK4/kg lichaamsgewicht per dag.
[a] De gezondheidskundige grenswaarde (TDI) PFAS is gebaseerd op een TWI van 4,4 ng/kg lichaamsgewicht per week.

Inname van jodium, lood, arseen, dioxines en PFAS
In Tabel 18, Tabel 19 en Tabel 20 is voor jodium, lood, anorganisch arseen, dioxines (totaal dioxines + DL-PCB's) en PFAS uitgerekend welke hoeveelheid contaminanten door 18 t/m 80-jarigen ingenomen worden door de consumptie van het onderzochte natte of droge zeewier. Hiervoor is gebruik gemaakt van de P50-gehalten (Tabel 12, Tabel 13, Tabel 14) en de P50- en P95-consumptiegegevens zoals die zijn gerapporteerd door RIVM (Tabel 3) (Dinnissen et al., 2020). Met betrekking tot de gehalten is gekozen voor een realistisch scenario (P50-gehalten), omdat het onwaarschijnlijk is dat de meeste consumenten in Nederland geteeld zeewier met (zeer) hoge concentraties jodium, metalen of andere contaminanten gedurende langere tijd (chronische blootstelling) consumeren. Met betrekking tot de consumptiegegevens zijn twee scenario's gebruikt: worstcase scenario (P95-consumptie; consumenten die grote hoeveelheden consumeren) en een meer realistisch scenario (P50-consumptie).

Tabel 17 De maximale dagelijkse veilige consumptie van de onderzochte zeewieren zeesla en suikerwier voordat de gezondheidskundige grenswaarde voor PFAS overschreden wordt door 1- t/m 3-jarigen (12 kg) en 18- t/m 80-jarigen (60 kg). Vetgedrukte waardes: de berekende maximale dagelijkse veilige consumptie ligt lager dan de bovenste grens van een hoge consumptie (95% betrouwbaarheidsinterval van de P95 consumptie; i.e. <161,4 gram per dag en <23,1 gram per dag, respectievelijk voor nat en droog zeewier). Hierbij is geen rekening gehouden met blootstelling uit andere bronnen.

Zeewier		PFAS	Gezondheids-kundige grenswaarde (ng/kg lichaams-gewicht per dag)	P95-gehalte	Maximale dagelijkse veilige consumptie (g/dag)	
					1- t/m 3-jarigen	18- t/m 80-jarigen
Zeesla	Nat	Som EFSA-4 (ng PFAS/kg)	0,63[a]	619	12	**61**
		Som alle gemeten PFAS (ng PEQ/kg)		2.480	3	**15**
	Droog	Som EFSA-4 (ng PFAS/kg)		3.804	2	**10**
		Som alle gemeten PFAS (ng PEQ/kg)		14.489	1	**3**
Suikerwier	Nat	Som EFSA-4 (ng PFAS/kg)		270	28	**140**
		Som alle gemeten PFAS (ng PEQ/kg)		1.400	5	**27**
	Droog	Som EFSA-4 (ng PFAS/kg)		2.280	3	**17**
		Som alle gemeten PFAS (ng PEQ/kg)		9.830	1	**4**

[a] De gezondheidskundige grenswaarde (TDI) PFAS is gebaseerd op een TWI van 4,4 ng/kg lichaamsgewicht per week.

Tabel 18 De inname (µg/kg lichaamsgewicht/dag) van jodium, lood en anorganisch arseen van 18- t/m 80-jarigen (60 kg) door P50- en P95-consumptie (zeewiergebruikers) van onderzocht nat en droog zeewier (zowel zeesla als suikerwier).

Zeewier		Stof	P50-gehalte (mg/kg)		Inname (µg/kg lichaamsgewicht/dag)				Gezondheids-kundige grenswaarde (µg/kg lichaams-gewicht/dag)
					P50-consumptie		P95-consumptie		
			LB	UB	LB	UB	LB	UB	
Zeesla	Nat	Jodium	6,2	6,2	0,34	0,34	9,6	9,6	10[a]
		Lood	0,26	0,26	0,014	0,014	0,404	0,404	0,06[b]
		Anorganisch arseen	0,11	0,11	0,0061	0,0061	0,17	0,17	0,06[c]
	Droog	Jodium	27	27	0,23	0,23	6,0	6,0	10
		Lood	1,3	1,3	0,011	0,011	0,29	0,29	0,06
		Anorganisch arseen	0,46	0,53	0,0038	0,0044	0,102	0,12	0,06
Suikerwier	Nat	Jodium	560	560	31	31	871	871	10
		Lood	0,29	0,29	0,016	0,016	0,45	0,45	0,06
		Anorganisch arseen	0,12	0,12	0,0066	0,0066	0,19	0,19	0,06
	Droog	Jodium	3483	3483	29	29	772	772	10
		Lood	1,8	1,8	0,015	0,015	0,40	0,40	0,06
		Anorganisch arseen	0,78	0,83	0,0065	0,0069	0,17	0,18	0,06

[a] Voor volwassenen geldt dat de gezondheidskundige grenswaarde voor jodium is gebaseerd op een tolerable upper level van 600 µg/dag en een lichaamsgewicht van 60 kg.
[b] Het toepassen van een factor 10 (MoE) op een $BMDL_{10}$ van 0,63 µg lood/kg lichaamsgewicht per dag leidt tot een gezondheidskundige grenswaarde van 0,06 µg lood/kg lichaamsgewicht per dag.
[c] Het toepassen van een factor 1 (MoE) op een $BMDL_{0,5}$ van 0,06 µg anorganisch arseen/kg lichaamsgewicht per dag leidt tot gezondheidskundige grenswaarde van 0,06 µg anorganisch arseen/kg lichaamsgewicht per dag.

Tabel 19 De inname (pg/kg lichaamsgewicht/dag) van dioxines (totaal dioxines + DL-PCB's) van 18- t/m 80-jarigen (60 kg) door P50- en P95-consumptie (zeewiergebruikers) van onderzocht nat en droog zeewier (zowel zeesla als suikerwier).

Zeewier		Stof	P50-gehalte (ng WHO(2005)-PCB-TEQ/kg)		Inname (pg/kg lichaamsgewicht/dag)				Gezondheidskundige grenswaarde (pg WHO-TEQ/kg lichaamsgewicht per dag)
					P50-consumptie		P95-consumptie		
			LB	UB	LB	UB	LB	UB	
Zeesla	Nat	Totaal dioxines + DL-PCB's	0,046	0,073	0,0025	0,0040	0,072	0,11	0,28[a]
	Droog		0,16	0,32	0,013	0,0027	0,035	0,071	
Suikerwier	Nat		0,021	0,0705	0,0012	0,0039	0,033	0,11	
	Droog		0,14	0,41	0,0012	0,0034	0,031	0,091	

[a] De gezondheidskundige grenswaarde (TDI) voor totaal dioxines + DL-PCB's is gebaseerd op een TWI van 2 pg WHO-TEQ/kg lichaamsgewicht per week.

Tabel 20 De inname (ng PFAS/kg lichaamsgewicht/dag of ng PEQ/kg lichaamsgewicht per dag voor de berekeningen met RPF's) van PFAS van 18- t/m 80-jarigen (60 kg) door P50- en P95-consumptie (zeewiergebruikers) van onderzocht nat en droog zeewier (zowel zeesla als suikerwier).

Zeewier		Stof	P50-gehalte	Inname (ng PFAS/kg lichaamsgewicht/dag of ng PEQ/kg lichaamsgewicht/dag)		Gezondheidskundige grenswaarde (ng/kg lichaamsgewicht per dag)
				P50-consumptie	P95-consumptie	
Zeesla	Nat	Som EFSA-4 (ng PFAS/kg)	161	0,0089	0,25	0,63[a]
		Som alle gemeten PFAS (ng PEQ/kg)	825	0,045	1,3	
	Droog	Som EFSA-4 (ng PFAS/kg)	211	0,0018	0,047	
		Som alle gemeten PFAS (ng PEQ/kg)	3373	0,028	0,75	
Suikerwier	Nat	Som EFSA-4 (ng PFAS/kg)	35	0,0019	0,055	
		Som alle gemeten PFAS (ng PEQ/kg)	80	0,0044	0,12	
	Droog	Som EFSA-4 (ng PFAS/kg)	1505	0,013	0,33	
		Som alle gemeten PFAS (ng PEQ/kg)	4615	0,038	1,02	

[a] De gezondheidskundige grenswaarde (TDI) PFAS is gebaseerd op een TWI van 4,4 ng/kg lichaamsgewicht per week.

Bijlage X geeft een overzicht van de PFAS inname door de P50- en P95-consumptie van onderzocht nat en droog zeewier voor alle vier de methoden waarmee het totale PFAS-gehalte berekend is. Vervolgens is in Tabel 21, Tabel 22 en Tabel 23 uitgerekend wat de verhouding is tussen de dagelijkse inname van jodium, lood, anorganisch arseen, dioxines en PFAS en de maximaal veilige inname (i.e. de gezondheidskundige grenswaarde) door de consumptie van het onderzochte zeewier. Wanneer de verhouding groter is dan 1 betekent dit dat de inname groter is dan de gezondheidskundige grenswaarde en dat dagelijkse inname van de verschillende contaminanten door de consumptie van het onderzochte zeewier gedurende een langere periode mogelijk tot gezondheidsrisico's leidt. In de tabellen zijn deze waardes vetgedrukt. Hierbij is geen rekening gehouden met de inname van deze contaminanten uit andere bronnen.

Tabel 21 De verhouding van de dagelijkse inname (µg/kg lichaamsgewicht/dag) van jodium, lood en anorganisch arseen van 18- t/m 80-jarigen (60 kg) door P50- en P95-consumptie (zeewiergebruikers) van onderzocht nat en droog zeewier (zowel zeesla als suikerwier). Verhoudingen >1 zijn vetgedrukt weergegeven. Het uitgangspunt vormt een P50-gehalte van jodium, lood en anorganisch arseen.

Zeewier		Stof	Verhouding tussen dagelijkse contaminant inname (µg/kg lichaamsgewicht/dag) en gezondheidskundige grenswaarde			
			P50-consumptie		P95-consumptie	
			LB	UB	LB	UB
Zeesla	Nat	Jodium	0,034	0,034	0,96	0,96
		Lood	0,24	0,24	**6,7**	**6,7**
		Anorganisch arseen	0,101	0,101	**2,9**	**2,9**
	Droog	Jodium	0,023	0,023	0,599	0,599
		Lood	0,18	0,18	**4,8**	**4,8**
		Anorganisch arseen	0,064	0,074	**1,7**	**1,96**
Suikerwier	Nat	Jodium	**3,08**	**3,08**	**87**	**87**
		Lood	0,27	0,27	**7,5**	**7,5**
		Anorganisch arseen	0,11	0,11	**3,1**	**3,1**
	Droog	Jodium	**2,9**	**2,9**	**77**	**77**
		Lood	0,25	0,25	**6,7**	**6,7**
		Anorganisch arseen	0,11	0,12	**2,9**	**3,1**

Tabel 22 De verhouding van de dagelijkse inname (pg/kg lichaamsgewicht/dag) van dioxines (totaal dioxines + DL-PCB's) van 18- t/m 80-jarigen (60 kg) door P50- en P95-consumptie (zeewiergebruikers) van onderzocht nat en droog zeewier (zowel zeesla als suikerwier). Verhoudingen >1 zijn vetgedrukt weergegeven. Het uitgangspunt vormt een P50-gehalte van dioxines (totaal dioxines + DL-PCB's).

Zeewier		Stof	Verhouding tussen dagelijkse contaminant inname (pg/kg lichaamsgewicht/dag) en gezondheidskundige grenswaarde			
			P50-consumptie		P95-consumptie	
			LB	UB	LB	UB
Zeesla	Nat	Totaal dioxines + DL-Pcb's	0,0090	0,014	0,26	0,405
	Droog		0,0048	0,0095	0,13	0,25
Suikerwier	Nat		0,0041	0,014	0,12	0,39
	Droog		0,0042	0,012	0,11	0,32

Tabel 23 De verhouding van de dagelijkse inname (ng/kg lichaamsgewicht/dag) van PFAS van 18- t/m 80-jarigen (60 kg) door P50- en P95-consumptie (zeewiergebruikers) van onderzocht nat en droog zeewier (zowel zeesla als suikerwier). Verhoudingen >1 zijn vetgedrukt weergegeven. Het uitgangspunt vormt een P50-gehalte van PFAS.

Zeewier		Stof	Verhouding tussen dagelijkse contaminant inname (ng/kg lichaamsgewicht/dag) en gezondheidskundige grenswaarde	
			P50-consumptie	P95-consumptie
			LB	LB
Zeesla	Nat	Som EFSA-4 (ng PFAS/kg)	0,014	0,40
		Som alle gemeten PFAS (ng PEQ/kg)	0,072	**2,04**
	Droog	Som EFSA-4 (ng PFAS/kg)	0,0028	0,074
		Som alle gemeten PFAS (ng PEQ/kg)	0,045	**1,2**
Suikerwier	Nat	Som EFSA-4 (ng PFAS/kg)	0,0031	0,087
		Som alle gemeten PFAS (ng PEQ/kg)	0,0070	0,20
	Droog	Som EFSA-4 (ng PFAS/kg)	0,020	0,53
		Som alle gemeten PFAS (ng PEQ/kg)	0,061	**1,6**

Bijlage XI geeft een overzicht van de verhouding van de dagelijkse PFAS inname door de P50- en P95-consumptie van onderzocht nat en droog zeewier en de maximale veilige inname (i.e. gezondheidskundige grenswaarde) voor alle vier de methoden waarmee het totale PFAS-gehalte berekend is.

In Tabel 24 staat een overzicht van Tabel 21, Tabel 22 en Tabel 23, de inname van jodium en contaminanten vanuit vers onbewerkt Nederlands zeewier ten opzichte van de gezondheidskundige grenswaarde. In de risicokarakterisatie (4.5.2.4) wordt dit verder toegelicht.

Zeewierproducten uit de supermarkt

Gehaltes contaminanten in zeewierproducten uit de supermarkt

In de periode 2018 en 2019 zijn naar aanleiding van de oproep van de Europese Commissie (Aanbeveling (EU) 2018/464) door de NVWA 31 op zeewier gebaseerde producten bemonsterd in

Tabel 24 Inname van jodium en contaminanten vanuit Nederlands zeewier ten opzichte van de gezondheidskundige grenswaarde.

Contaminanten in onbewerkt Nederlands zeewier (zeesla & suikerwier)			
Geanalyseerd	**Aangetroffen**	**Gekwantificeerd**	**Blootstelling**
Jodium	ja	ja	
Cyanotoxines	ja	nee	
Dioxines & DL-PCB's	ja	ja	
PAKs	ja	ja	
PFAS	ja	ja	
Gewasbeschermingsmiddelen	nee	nee	
Minerale olie	nee	nee	
Anorganisch arseen	ja	ja	
Cadmium	ja	ja	
Lood	ja	ja	
Kwik	ja	ja	
Nikkel	ja	ja	
Radioactive stoffen	nee	nee	

* rood: Inname boven de gezondheidskundige grenswaarde.
groen: Inname onder de gezondheidskundige grenswaarde.
geel: Geen innameberekening mogelijk.

de supermarkt en bij de groothandel. Dit zijn naar alle waarschijnlijkheid geïmporteerde zeewierproducten. Tijdens de bemonstering zijn niet alle productgegevens goed gedocumenteerd. In de meeste gevallen was bijvoorbeeld niet beschreven of het product gedroogd of vers was. Vaak was ook onbekend hoeveel zeewier in het product verwerkt was. De monsters zijn onderzocht op de aanwezigheid van arseen (totaal en anorganisch), cadmium, kwik, lood, nikkel (alleen monsters uit 2019) en jodium, dioxines en PCB's, PAK's, minerale oliën, residuen van bestrijdingsmiddelen, door algen en planten geproduceerde toxines, farmaceutische stoffen en radioactiviteit. De concentraties zijn bepaald op basis van het product zoals die aangeleverd zijn en betreffen zowel gedroogde als verse producten. De concentraties zijn uitgedrukt op productbasis (massa eenheid per hoeveelheid gedroogd of nat product). Het bleek niet mogelijk om terug te rekenen naar nat of drooggewicht omdat het vochtgehalte niet was bepaald en het percentage zeewier in het product niet bekend was (Faassen, 2020).

Geen van de onderzochte zeewierproducten bevatte minerale oliën, door algen en planten geproduceerde toxines of farmaceutische stoffen. Er zijn alleen natuurlijk voorkomende radioactieve stoffen (nucliden) aangetoond. Daarnaast zijn jodium, verschillende zware metalen, dioxines, dioxine-achtige en niet dioxine-achtige PCB's, PAK's en residuen van bestrijdingsmiddelen aangetroffen. Voor details met betrekking tot de gemeten gehaltes wordt verwezen naar de rapportage van WFSR (Faassen, 2020).

Blootstellingsschatting

Omdat het onduidelijk is welke op zeewier gebaseerde producten precies bemonsterd zijn kan er geen onderscheid gemaakt worden naar bijvoorbeeld droog versus nat zeewier of percentage zeewier in het product. Wat overblijft is een algemene groep met 'zeewierproducten' zodat het niet mogelijk is om een blootstellingsschatting uit te voeren voor de verschillende geanalyseerde contaminanten.

In 2023 publiceerde EFSA een opinie waarbij gekeken is naar de blootstelling van de Europese bevolking aan zware metalen en jodium door de consumptie van zeewier, op zeewier gebaseerde producten en halofyten (EFSA, 2023). De blootstelling is niet berekend voor de algemene populatie maar alleen specifiek voor zeewierconsumenten omdat dit een kleine groep betreft. EFSA concludeerde het volgende:

- De gemiddelde inname van cadmium door volwassenen van de consumptie van zeewier, op zeewier gebaseerde producten en halofyten is vergelijkbaar met de inname van cadmium uit de totale voeding van alle volwassenen. Dus zeewierconsumenten hebben een dubbele cadmiuminname.
- De blootstelling aan lood en anorganisch arseen door de consumptie van zeewier, op zeewier gebaseerde producten en halofyten door zeewierconsumenten komt overeen met 10 tot 30% van de blootstelling aan deze stoffen afkomstig uit de totale voeding (zonder zeewier).
- De blootstelling aan kwik door de consumptie van zeewier, op zeewier gebaseerde producten en halofyten door zeewierconsumenten komt overeen met 10% van de blootstelling aan kwik afkomstig uit de totale voeding (zonder zeewier). EFSA neemt hierbij aan dat al het aanwezige kwik bestaat uit methylkwik.
- De P90-inname van jodium door de consumptie van zeewier, op zeewier gebaseerde producten en halofyten door zeewierconsumenten is 32,7 µg/kg lichaamsgewicht per dag (volwassenen). Dit komt overeen met een inname van 1.962 tot 2.289 µg jodium per dag voor volwassenen van 60 tot 70 kg. Ter vergelijking: de tolerable upper intake level (UL) is 600 µg/dag voor een volwassene.

4.5.2.4 Risicokarakterisatie

Vers onbewerkt zeewier van de zeewierboerderijen

In Nederland geteeld en onderzocht zeewier (zeesla en suikerwier) bevat jodium, metalen en overige contaminanten zoals dioxines, PAK's en PFAS. Wanneer gekeken wordt naar de risico's voor de gezondheid van de consument op basis van de individuele contaminanten (P95-gehalte en P95-consumptie; worst-case scenario) concludeert BuRO dat de aanwezigheid van cadmium, kwik, nikkel en de som van PAK4 niet leidt tot een gezondheidsrisico. De hoeveelheden zeewier (zeesla en suikerwier) die een consument dagelijks mag eten voordat de desbetreffende gezondheidskundige grenswaarden overschreden worden zijn (zeer) groot en liggen boven de

bovenste grens van het 95% betrouwbaarheidsinterval van de P95-consumptie zoals gerapporteerd door RIVM (Tabel 15, Tabel 16). Hierbij is geen rekening gehouden met de inname van deze contaminanten uit andere bronnen. Voor de consumptie van zeewier met betrekking tot jodium, lood, anorganisch arseen, dioxines (totaal dioxines + DL-PCB's) en PFAS kan niet geconcludeerd worden dat er geen gezondheidsrisico is. Om de gezondheidsrisico's van deze stoffen in te schatten is de blootstellingsschatting verfijnd. Bij het schatten van langdurige (chronische) blootstelling geeft een P50-gehalte een meer realistisch scenario dan een P95-gehalte, omdat het onwaarschijnlijk is dat een consument gedurende langere tijd zeewier consumeert dat contaminanten bevat op het niveau van het P95-gehalte. Op basis van P50-gehalten en P50- en P95-consumptiegegevens (mediane en grote porties) van zeewier concludeert BuRO dat de consumptie van zeewier niet leidt tot een gezondheidsrisico wat betreft de inname van dioxines (totaal dioxines + DL-PCB's). De verhouding tussen de dagelijkse dioxine inname en de maximale veilige inname (i.e. gezondheidskundige grenswaarde) is kleiner dan 1 (Tabel 22).

Daarentegen concludeert BuRO op basis van P50-gehalten en P50- en P95-consumptiegegevens dat consumptie van zeewier mogelijk leidt tot een gezondheidsrisico met betrekking tot de inname van jodium, lood, anorganisch arseen en PFAS. De verhouding tussen de dagelijkse jodium, lood, anorganisch arseen of PFAS inname en de maximale veilige inname van die contaminanten is groter dan 1 in de volgende scenario's (Tabel 21, Tabel 23):

- Jodium: P50-consumptie en P95-consumptie van nat en droog zeewier (suikerwier).
- Lood: P95-consumptie van nat en droog zeewier (zeesla en suikerwier).
- Anorganisch arseen: P95-consumptie van nat en droog zeewier (zeesla en suikerwier).
- PFAS: P95-consumptie van droog zeewier (zeesla) (alleen op basis van PFAS-gehalte berekend met behulp van RPF's).

Op basis van de bovenstaande risicobeoordeling concludeert BuRO dat dagelijkse consumptie van grote hoeveelheden in Nederland geteeld onbewerkt (vers) nat en droog zeewier (zeesla en suikerwier) mogelijk leidt tot een risico voor de gezondheid van de consument door de aanwezigheid van jodium, lood, anorganisch arseen en PFAS. Hierbij zijn mogelijke afnames van (zware) metalen en jodium door de verwerking en/of bereidingsstappen niet meegenomen, een worst-case scenario.

Een nuancering van deze conclusie is verder op zijn plaats wegens onzekerheden in de beoordeling. Met betrekking tot de gegevens over de gehaltes van de stoffen in de zeewiermonsters is geen onderscheid gemaakt naar locatie van bemonstering, bemonsteringsplek in het zeewierveld en het moment van monstername. Hierdoor kunnen de gehaltes in de monsters zowel onderschat als overschat zijn. Voor jodium geldt dat er van een 100% beschikbaarheid voor opname is uitgegaan, hoewel die afhankelijk van de zeewiersoort ook lager kan zijn (Beerman & Van Tuinen, 2023; Hogstad et al., 2023; Van Tuinen et al., 2023). Voor PFAS geldt dat de conclusie over een mogelijk risico voor de gezondheid van de consument afhangt van de manier waarop het totale PFAS-gehalte berekend is (concentratieadditie versus het gebruik van RPF's). De gebruikte voedselconsumptiegegevens laten een grote spreiding zien zodat gebruik is gemaakt van zowel het 50ste als het 95ste percentiel van de consumptieverdeling bij deze beoordeling. Daarbij is het 95ste percentiel waarschijnlijk een overschatting (worst-case) door de metingen van personen met extreme consumptie. Daarnaast ontbreken representatieve consumptiegegevens voor kinderen en jongeren zodat het niet mogelijk was om het risico voor deze groep te beoordelen. Verder is in deze beoordeling geen rekening gehouden met mogelijke cumulatieve effecten van blootstelling aan meerdere stoffen tegelijk en met een mogelijke afname van de gehaltes van de contaminanten door bewerking of verwerking van zeewier.

Zeewierproducten uit de supermarkt

Omdat het niet mogelijk is om een blootstellingsschatting uit te voeren voor de verschillende contaminanten aanwezig in de 31 bemonsterde op zeewier gebaseerde producten uit de supermarkt en groothandel kan voor deze producten geen risicokarakterisatie worden uitgevoerd. Uit de studie van EFSA naar producten gebaseerd op zeewier (EFSA, 2023) blijkt echter dat de consumptie van zeewier, op zeewier gebaseerde producten en halofyten door zeewierconsumenten een grote bijdrage kan leveren aan de maximale veilige inname van jodium en metalen.

4.5.2.5 Conclusie chemische risico's

In Nederland geteeld en onderzocht zeewier (zeesla en suikerwier) bevat jodium en andere contaminanten. De mate van aanwezigheid van jodium en contaminanten in zeewier kan verschillen. Dit hangt onder andere af van het soort zeewier. Uit de literatuur blijkt dat ook de locatie, en seizoen waarin geoogst wordt van invloed zijn. Bovendien zorgen bewerkings- en/of verwerkingsstappen vaak voor een verlaging van de concentraties.

Op basis van de uitgevoerde risicobeoordeling concludeert BuRO dat dagelijkse consumptie van grote hoeveelheden in Nederland geteeld onbewerkt (vers) nat (ruim 90 gram) en droog (ruim 13 gram) zeewier (zeesla en suikerwier) mogelijk leidt tot een risico voor de gezondheid van de consument door de aanwezigheid van jodium, lood, anorganisch arseen en PFAS (op basis van het berekende PFAS-gehalte met behulp van RPF's). Hierbij zijn mogelijke afnames van (zware) metalen en jodium door de verwerking en/of bereidingsstappen niet meegenomen, een worst-case scenario. Er is daarnaast nog een aantal andere onzekerheden – in de gehaltes van contaminanten en jodium, in de berekende totale PFAS-gehalten, in de consumptiegegevens voor Nederlandse consumenten – waar rekening mee gehouden moet worden voor een juiste interpretatie van deze conclusie.

Een overmatige inname van jodium kan leiden tot een verstoring van de schildklierwerking. Een tekort aan jodium echter kan ook leiden tot verstoring van de schildklierwerking en tot een groeiachterstand bij kinderen. De jodiuminname van Nederlandse volwassenen is (net) toereikend. Door een daling van de zoutinname zou een jodiumtekort bij consumenten kunnen ontstaan (Gezondheidsraad, 2008; De Jong et al., 2023). Om tekorten te voorkomen wordt onder andere zeewier als mogelijk vervangend jodiumrijk voedingsmiddel genoemd, waarbij opgemerkt wordt hier voorzichtig mee om te gaan omdat jodiumgehaltes sterk kunnen variëren (Gezondheidsraad, 2008; Voedingscentrum, 2022; De Jong et al., 2023). Bij de consumptie van zeewier als jodiumbron bestaat het risico van een te hoge inname van jodium, zoals deze risicobeoordeling bevestigt.

Daarnaast kan de consumptie van in Nederland geteeld onbewerkt (vers) nat en droog zeewier een (substantiële) bijdrage leveren aan de totale inname van verschillende zware metalen via voedsel. Hierbij wordt opgemerkt dat de inname van cadmium, kwik, arseen en lood via voedsel in het algemeen leidt tot blootstelling rond de gezondheidskundige grenswaarde (EFSA CONTAM Panel, 2009b; EFSA, 2012b;2014; Sprong & Boon, 2015; Boon et al., 2017). Consumptie van in Nederland geteeld zeewier draagt hier (extra) aan bij.

De inname van dioxines en DL-PCB's uit voedsel (berekeningen uit 2014 voor de Nederlandse bevolking (Boon et al., 2014) overschrijdt de in 2018 door EFSA vastgestelde TWI (EFSA CONTAM Panel, 2018). De inname van PFAS vanuit voedsel en drinkwater overschrijdt de gezondheidskundige grenswaarde voor een groot deel van de Europese bevolking (EFSA CONTAM Panel, 2020a) en voor de Nederlandse bevolking (RIVM, 2021b; Schepens et al., 2023). Consumptie van in Nederland geteeld zeewier draagt hier (extra) aan bij.

Uit de studie van EFSA naar producten gebaseerd op zeewier blijkt dat de consumptie van zeewier, op zeewier gebaseerde producten en halofyten door zeewierconsumenten een grote bijdrage kan leveren aan de maximale veilige inname van jodium en zware metalen (met name cadmium).

4.6 Microbiologische risico's voedselveiligheid

4.6.1 Aanpak en afbakening microbiologische risicobeoordeling

Bij het beoordelen van het risico voor de volksgezondheid (voedselveiligheid) van de verschillende microbiologische gevaren die op zeewier kunnen voorkomen is een kwalitatieve (beschrijvende) aanpak gevolgd. Voor deze aanpak is gekozen vanwege het gebrek aan voldoende (prevalentie)gegevens om een meer kwantitatieve beoordeling van het risico te geven. De risicobeoordeling is met name gericht op de blootstellingschatting, dus op de mate waarin micro-organismen in de keten voorkomen en kunnen overleven dan wel uitgroeien. Daarmee is de risicobeoordeling gericht op de kans op infectie en niet zo zeer op de ernst van de infectie. Dit is gedaan, omdat er geen reden is om aan te nemen dat zeewier invloed heeft op de mate waarin een pathogeen ziekte verwekt (ernst van het ziektebeeld) en deze informatie onder andere in eerdere risicobeoordelingen van BuRO te vinden is. Voor het karakteriseren van het risico is een vergelijking gemaakt met het risico van visserijproducten. Van deze producten is namelijk wel een meer kwantitatieve risicobeoordeling uitgevoerd voor de situatie in Nederland (BuRO, 2022). In deze risicobeoordeling van zeewier, zijn de vier stappen van de risicobeoordeling op de volgende manier gevolgd:

1. Gevareninventarisatie: inventarisatie van de micro-organismen die vanuit de teeltfase via consumptie van zeewier bij de mens terecht kunnen komen en ziekte bij de mens kunnen veroorzaken (pathogenen).
2. Gevarenkarakterisatie: relevante karakteristieken van de geïnventariseerde micro-organismen met het oog op overleven/uitgroeien in zeewier(producten).
3. Blootstellingschatting: gegevens over het aantreffen van pathogene micro-organismen op zeewier(producten) en over uitbraken die door zeewier(producten) zijn veroorzaakt.
4. Risicokarakterisatie: inschatting van het risico voor de volksgezondheid in Nederland dat wordt veroorzaakt door consumptie van zeewier(producten) die besmet zijn met micro-organismen vanuit de teeltfase (conclusie van de risicobeoordeling).

Bij het uitvoeren van deze risicobeoordeling is gebruik gemaakt van diverse bronnen, zoals wetenschappelijke en grijze literatuur, databases en rapporten over voedselgerelateerde uitbraken, gegevens uit het Rapid Alert System for Food and Feed (RASFF) en van onderzoeksgegevens van de NVWA (monsters geanalyseerd door WFSR).

Voor de beoordeling van de microbiologische gevaren die gerelateerd kunnen worden aan zeewier is – naast het rapport van WFBR (Rodríguez Illera & Van Bokhorst-Van de Veen, 2019) – met name gebruik gemaakt van de eerder verschenen risicobeoordelingen van de voedselveiligheidsautoriteiten uit Ierland (FSAI Sci. Com., 2020), Scandinavië (Noorwegen, Denemarken, Zweden, IJsland en de Faeröer Eilanden; Hogstad et al. (2023)) en Nieuw-Zeeland (Cressey et al., 2023) die uit de literatuurstudie naar voren kwamen. Deze zijn aangevuld met data uit de overige literatuur en data van de NVWA.

Voor deze risicobeoordeling wordt gebruik gemaakt van de term micro-organismen zoals die in de Verordening microbiologische criteria (VMC; Vo. (EG) nr. 2073/2005) is vastgelegd. Hieronder vallen bacteriën, virussen, prionen, gisten, schimmels, algen, parasitaire protozoa en microscopische parasitaire helminten, alsmede toxines en metabolieten van deze organismen. Niet meegenomen in deze beoordeling zijn opportunistische pathogenen, enterotoxines van schimmels en mariene biotoxines. Deze toxines zijn onderdeel van de risicobeoordeling van chemische gevaren. Antibioticaresistentie is geen onderdeel van deze risicobeoordeling.

Besmetting met pathogene micro-organismen tijdens de bewerking en verwerking van het product is niet specifiek voor zeewier en vormt geen onderdeel van deze beoordeling. Dit geldt ook voor de introductie van pathogenen door ziek personeel (oogst, bewerking en verwerking, voedselbereiding). Deze beoordeling richt zich op de gevaren die in de primaire fase – tijdens de teelt – worden geïntroduceerd.

De risicobeoordeling beperkt zich tot de blootstelling (kans) en gaat niet in op de ernst van infectie (effect).

4.6.2 Risicobeoordeling microbiologische gevaren

Zeewier groeit in de natuur en draagt een rijk palet aan micro-organismen op de bladeren en stengels. De meeste soorten micro-organismen die voorkomen in de natuur zijn niet schadelijk

voor de gezondheid van mens of dier. Er is echter een beperkte groep micro-organismen die in staat is ziekte bij de mens te veroorzaken. Deze laatste groep, ook wel pathogene micro-organismen genoemd, wordt beschouwd als microbiologisch gevaar.

Tabel 25 Overzicht van publicaties (tot en met september 2023) met kwantitatieve gegevens over het voorkomen van (mogelijk) pathogene micro-organismen op zeewier(producten).

Micro-organisme (genus)	Micro-organisme (species)	#Npos[1]	N[2]	Referentie
***Aeromonas* spp.**		20	20	(Ziino et al., 2010)
***Bacillus* spp.**	***B. cereus***	25	57	(Choi et al., 2014; Son et al., 2014; Lytou et al., 2021; Martelli et al., 2021; Banach et al., 2024)
		0	5	(Blikra et al., 2019; FSAI Sci. Com., 2020)
***Campylobacter* spp.**		0	24	(Moore et al., 2002; Zulkifly et al., 2012)
***Clostridium* spp.**	***C. perfringens***	1	2	(FSAI Sci. Com., 2020)
***Cronobacter* spp.**		3	24	(EFSA BIOHAZ Panel, 2013)
E. coli	**STEC O157:H7**	10	30	(Moore et al., 2002; Barberi et al., 2020)
		14	144	(Ziino et al., 2010; Zulkifly et al., 2012; Choi et al., 2014; FSAI Sci. Com., 2020; DVFA, 2021; Lytou et al., 2021; Moreira-Leite et al., 2023)
***Listeria* spp.**	***L. monocytogenes***	4	112	(Moore et al., 2002; EFSA BIOHAZ Panel, 2013; Choi et al., 2014; Son et al., 2014; Blikra et al., 2019; Panebianco et al., 2019; FSAI Sci. Com., 2020; Lytou et al., 2021; Martelli et al., 2021; Moreira-Leite et al., 2023)
		0	6	(FSAI Sci. Com., 2020)
***Pseudomonas* spp.**	***P. aeruginosa***	1	19	(EFSA BIOHAZ Panel, 2013)
***Salmonella* spp.**	***S.* Typhimurium**	14	18	(Barberi et al., 2020)
		0	186	(Moore et al., 2002; Alsulaiman, 2011; Zulkifly et al., 2012; Choi et al., 2014; Son et al., 2014; Panebianco et al., 2019; FSAI Sci. Com., 2020; DVFA, 2021; Lytou et al., 2021; Moreira-Leite et al., 2023; Sørensen et al., 2023; Banach et al., 2024)
***Shigella* spp.**		0	14	(Alsulaiman, 2011)
***Staphylococcus* spp.**	***S. aureus***	0	74	(Moore et al., 2002; Alsulaiman, 2011; Choi et al., 2014; Son et al., 2014; FSAI Sci. Com., 2020; Lytou et al., 2021; Moreira-Leite et al., 2023)
***Vibrio* spp.**	***V. cholerae***	0	26	(Panebianco et al., 2019)
	V. parahaemolyticus	100	182	(Mahmud et al., 2006; Ziino et al., 2010; Choi et al., 2014; Son et al., 2014; Panebianco et al., 2019; Barberi et al., 2020)
	V. vulnificus	24	101	(Mahmud et al., 2008; Panebianco et al., 2019)
		31	90	(Moore et al., 2002; Ziino et al., 2010; Blikra et al., 2019; Panebianco et al., 2019; Lytou et al., 2021; Moreira-Leite et al., 2023; Banach et al., 2024)
Norovirus		0	5	(Banach et al., 2024)

[1] #Npos: aantal monsters dat positief was voor de onderzochte pathogeen
[2] N: aantal onderzochte monsters

4.6.2.1 Gevareninventarisatie

De relevante publicaties uit de literatuurstudie zijn gebruikt om een overzicht te maken van gevaren die op zeewier (wereldwijd) zijn aangetroffen. Hieruit blijkt dat op zeewier veel verschillende bacteriële genera kunnen voorkomen die humaan pathogene soorten bevatten (Tabel 25, Tabel 26). Van de voedseloverdraagbare virussen (norovirus (NoV), hepatitis A-virus (HAV),

Tabel 26 Overzicht van publicaties (tot en met september 2023) met kwalitatieve gegevens over het voorkomen van pathogene micro-organismen op zeewier(producten). Pathogenen (genera, species) die opportunistisch pathogeen zijn of waarvan infecties zelden plaatsvinden of met name in verband worden gebracht met ziekenhuisopname (nosocomiaal) en waarvan voedsel (bijna) niet de blootstellingsroute is, zijn gemarkeerd met een *.

Micro-organisme (genus)	Micro-organisme (species)	Referentie
Acinetobacter	***A. urginsii****	(Kreissig et al., 2023)
Aeromonas	***A. hydrophila****	(Vairappan & Suzuki, 2000)
	A. eucrenophila*	(Kreissig et al., 2023)
Bacillus	***B. cereus***	(Wiese et al., 2009; Singh et al., 2015; Thilakan et al., 2016; Del Olmo et al., 2018)
	B. licheniformis*	(Wiese et al., 2009; Singh et al., 2015; Del Olmo et al., 2018)
	B. megaterium*	(Del Olmo et al., 2018)
	B. (pseudo)mycoides*	(Del Olmo et al., 2018)
	B. pumilus*	(Wiese et al., 2009; Del Olmo et al., 2018)
	B. thuringiensis*	(Wiese et al., 2009)
	spp.	(Beleneva & Zhukova, 2006; Albakosh et al., 2016)
Citrobacter	***C. freundii****	(Kreissig et al., 2023)
Clostridium	**spp.**	(Choi et al., 2014)
Escherichia	***E. coli***	(Vairappan & Suzuki, 2000; Musa & Wei, 2008; Barberi et al., 2020)
Enterobacter	***E. cloacae****	(Musa & Wei, 2008; Kreissig et al., 2023)
Enterobacteriaceae		(Bolinches et al., 1988)
Klebsiella	***K. pneumoniae****	(Singh et al., 2015)
	K. oxytoca*	(Musa & Wei, 2008; Kreissig et al., 2023)
Pasteurella	***P. haemolytica****	(Musa & Wei, 2008)
Proteus	***P. vulgaris****	(Vairappan & Suzuki, 2000)
Pseudomonas	***P. aeruginosa****	(Singh et al., 2015)
	P. fulva*	(Del Olmo et al., 2018)
	P. putida*	(Del Olmo et al., 2018)
	spp.*	(Wiese et al., 2009; Albakosh et al., 2016; Thilakan et al., 2016)
Shewanella	**spp.***	(Albakosh et al., 2016)
Staphylococcus	***S. saprophyticus subs.****	(Albakosh et al., 2016)
	S. hominis*	(Lytou et al., 2021)
	S. epidermis*	(Lytou et al., 2021)
	spp.	(Bolinches et al., 1988; Choi et al., 2014)
Streptomyces	**spp.***	(Wiese et al., 2009)
Vibrio	***V. alginolyticus***	(Vairappan & Suzuki, 2000; Musa & Wei, 2008; Barberi et al., 2020)
	V. cholerae	(Musa & Wei, 2008)
	V. parahaemolyticus	(Vairappan & Suzuki, 2000; Singh et al., 2015)
	spp.	(Beleneva & Zhukova, 2006; Albakosh et al., 2016; Thilakan et al., 2016)
Yersinia	***Y. intermedia****	(Kreissig et al., 2023)

hepatitis E-virus (HEV), rotavirus) wordt alleen norovirus vanuit de literatuur geassocieerd met zeewier.

Er zijn geen publicaties gevonden over onderzoek naar voedseloverdraagbare parasieten (*Cryptosporidium* spp., *Giardia* spp. en *Toxoplasma gondii*) op zeewier of producten daarvan gemaakt (Tabel 32).

Daarnaast zijn opportunistische toxine producerende dinoflagellaten en cyanobacteriën door EFSA geïdentificeerd als mogelijk gevaar geassocieerd met zeewier (EFSA et al., 2017; Cressey et al., 2023). De mariene biotoxines die door deze dinoflagellaten en cyanobacteriën worden geproduceerd, zijn meegenomen in de risicobeoordeling van de chemische gevaren.

De gepubliceerde onderzoeken omvatten een (zeer) beperkt aantal monsters per pathogeen (Tabel 25). Het niet aantreffen van een pathogeen op zeewier of producten daarvan gemaakt is om die reden geen bewijs dat deze pathogeen niet voor kan komen op zeewier. De algemene aanname is dat humaan pathogene micro-organismen die in het teeltwater van zeewier voorkomen ook op het zeewier zelf aangetroffen kunnen worden (Løvdal et al., 2021). Op zeewier dat groeit in water dat wordt blootgesteld aan menselijke activiteit (rioolwater, recreatie, landbouw) zullen dus micro-organismen afkomstig van mens en landbouwhuisdieren voorkomen (Duinker et al., 2016; FSAI Sci. Com., 2020; Cressey et al., 2023).

In deze risicobeoordeling zijn daarom naast de pathogene micro-organismen die daadwerkelijk (op basis van de genoemde bronnen) op zeewier zijn aangetroffen aanvullend de overige pathogenen meegenomen die – meestal met mens of dier als bron - via voedsel kunnen worden overgedragen en die voor een relevante ziektelast zorgen in Nederland (Benincà et al., 2024).

De gevarenkarakterisatie en blootstellingsschatting zullen worden gebruikt om tot een overzicht van de gevaren te komen die het meest relevant zijn voor de volksgezondheid in Nederland met betrekking tot de consumptie van zeewier(producten).

4.6.2.2 Gevarenkarakterisatie

Van de bacteriële genera die op zeewier(producten) zijn aangetroffen en die soorten bevatten die bij de mens ziekte kunnen verwekken, betreft het merendeel genera waarvan de pathogene soorten opportunistisch pathogeen zijn. Dat wil zeggen dat zij met name ziekteverwekkend zijn bij mensen met een zwak immuunsysteem (immuungecompromitteerden). Het risico van deze opportunistische pathogenen beperkt zich tot een specifiek deel van de bevolking, waarbij het risico ontstaat door de gezondheidstoestand van deze consument. Ook gaat het om bacteriën die vooral gerelateerd zijn aan ziekenhuisinfecties of alleen zeer zelden gemeld zijn als ziekteverwekker bij de mens. Daarnaast is wat betreft deze pathogenen voedsel niet (altijd) de besmettingsroute waarlangs de infectie wordt opgelopen. De genera en/of species waar het om gaat zijn in Tabel 26 gemarkeerd met een *. Ook *Cronobacter* spp. (Tabel 25) kunnen aan dit rijtje worden toegevoegd. Deze pathogeen is met name een risico voor neonaten en geassocieerd met zuigelingenvoeding. De op deze manier geselecteerde bacteriën vormen wat betreft de consumptie van voedsel, of die van zeewier in het bijzonder, geen risico voor de voedselveiligheid en zijn om die reden – zoals eerder aangegeven (4.6.1) – buiten de scope van deze risicobeoordeling gelaten.

De rol van *Aeromonas* als verwekker van voedselgerelateerde infecties stond lange tijd ter discussie. Inmiddels is aangetoond dat sommige *Aeromonas* spp. ziekte bij de mens kunnen veroorzaken (met name *A. hydrophila*, *A. veronii* biovar *sobria* en *A. caviae*). *Aeromonas* is een opportunistisch pathogeen, maar veroorzaakt niet alléén ziekte bij mensen met een zwak immuunsysteem. *Aeromonas* wordt daarom soms een *emerging pathogen* genoemd (ESR (FSANZ), 2010; Teunis & Figueras, 2016; Pessoa et al., 2022). Toch is deze pathogeen niet meegenomen in deze risicobeoordeling. De reden hiervoor is dat in algemene zin onduidelijk is hoeveel ziektegevallen deze pathogeen via consumptie van voedsel veroorzaakt. Daarmee is ook niet duidelijk welk aandeel zeewier hierin speelt. Mocht hierover in de toekomst meer duidelijkheid ontstaan, dan is het relevant deze beoordeling te herzien.

Op zeewier zijn verschillende voedseloverdraagbare pathogene bacteriën aangetroffen. Het betreft zowel pathogenen die van nature voorkomen in het milieu (zoals *Vibrio* spp., *Bacillus cereus*), als pathogenen die (ook) met mens en dier zijn geassocieerd (zoals *Listeria monocytogenes*, *Salmonella*, STEC, *Clostridium perfringens*). Een overzicht van relevante karakteristieken van deze gevaren is te vinden in Tabel 44 (Bijlage XII) evenals de karakteristieken van pathogenen waarvan

het niet onaannemelijk is dat ze op zeewier kunnen voorkomen op basis van gelijkenis in oorspronkelijk reservoir en besmettingsroute van de pathogenen die wél zijn aangetroffen.

Van deze pathogenen zijn *B. cereus* en de clostridia sporenvormers, deze pathogenen overleven processen die tijdens de verwerking van zeewier worden gebruikt, zoals blancheren, koken, zouten en drogen. De mens wordt echter niet ziek van de sporen van deze pathogenen, maar van de toxines die door de vegetatieve cellen van deze pathogenen worden geproduceerd. Sporen van deze pathogenen moeten echter eerst ontkiemen en vervolgens moeten de gevormde vegetatieve cellen uitgroeien tot aantallen die voldoende zijn om of toxine in het voedsel te produceren (*B. cereus*, *C. botulinum*) of om de maagpassage te overleven om vervolgens in de darmen toxine te produceren (*B. cereus*, *C. perfringens*). Ook *S. aureus* is een toxine-vormer (in het voedsel) en moet eerst groeien in het voedsel om tot toxineproductie over te kunnen gaan.

Koeling (<7 °C) remt of voorkomt uitgroei en/of toxinevorming van *B. cereus*, *C. perfringens* en *S. aureus*. Dit geldt ook voor de uitgroei van de meeste overige pathogenen. Uitzondering zijn *L. monocytogenes*, *C. botulinum* en sommige *Vibrio* spp. die kunnen uitgroeien bij lagere temperatuur (<5 °C) (Tabel 44).

Specifiek voor *Vibrio* spp. geldt dat zij vrij gevoelig zijn voor verhitten, invriezen, drogen en verschillende andere conserveringstechnieken en ook voor de zuurgraad in de maag (Duinker et al., 2016; FSAI Sci. Com., 2020; US FDA, 2022). Niet alle *Vibrio*-stammen binnen een potentieel humaan pathogene soort zijn overigens in staat een infectie bij de mens te veroorzaken. Net als bij andere pathogenen (*E. coli*, *C. perfringens*, *B. cereus*) bezit maar een deel van de stammen de juiste combinatie van virulentiegenen (Baker-Austin et al., 2010; Nigro et al., 2011; Tamplin et al., 2011; Duinker et al., 2016). Zo werd bijvoorbeeld in een onderzoek uit Japan maar bij 18 van de 6000 *V. parahaemolyticus*-isolaten - afkomstig uit zeewater en zeewier - virulentiegenen aangetroffen (Mahmud et al., 2006).

Virussen kunnen niet uitgroeien buiten hun gastheer, waarbij humaan pathogene virussen afkomstig zijn van de mens zelf (NoV, HAV, rotavirus, HEV (genotype 1 en 2)) of landbouwhuisdieren (HEV genotype 3 en 4). Deze virussen zijn echter wel vrij stabiel in de omgeving en overleven koelen en invriezen. NoV, HAV en HEV zijn ook redelijk bestand tegen verhitten (Johne et al., 2024). Met een hittebehandeling van 2 min. bij 70-72 °C wordt vaak maar een reductie van minder dan 4 log bereikt. Hierin zit wel enige mate van onzekerheid, omdat dit afhangt van het product, de virusstam, het type hittebehandeling en daarnaast van de gebruikte analysemethode om de virusinactivatie te bepalen.

Parasieten kunnen net als virussen niet uitgroeien buiten hun gast- of tussengastheer. De parasitaire voedseloverdraagbare protozoa (*Cryptosporidium* spp., *Giardia* spp. en *Toxoplasma* spp.) kunnen echter wel overleven in het milieu (water) of levensmiddelen. Verhitten of invriezen overleven deze parasieten niet (BuRO, 2022).

4.6.2.3 Blootstellingschatting

Om een inzicht te krijgen van de mate waarin pathogene micro-organismen voorkomen op zeewier(producten) zijn gegevens uit prevalentiestudies verzameld uit de (grijze) literatuur, zijn monitoringsdata van de NVWA opgevraagd en is de RASFF-database geraadpleegd. Ook is gezocht naar gegevens over uitbraken van voedselvergiftigingen en -infecties veroorzaakt door consumptie van zeewier. Tenslotte is ingegaan op het effect van bewerking- en verwerkingsprocessen op de eventueel op zeewier aanwezige pathogene micro-organismen.

Zeewier is echter een product dat in Nederland, maar ook in veel andere landen in Europa of landen met een Westers dieet, nog maar relatief kort in de belangstelling staat om op grotere schaal te worden gegeten en geproduceerd. De hoeveelheid aan gegevens in de Engelstalige literatuur over de microbiologische veiligheid van zeewier blijkt dan ook niet zo uitgebreid te zijn als die van andere levensmiddelen. Dit wordt ook onderschreven door anderen (FSAI Sci. Com., 2020; FAO & WHO, 2022).

Data literatuur

Op zeewier komt een grote variatie aan micro-organismen voor, net als op alle andere macroscopische eukaryoten. Op het oppervlak van zeewier zit een laagje exopolysacchariden (uitgescheiden organische stoffen) wat ervoor zorgt dat micro-organismen zich zouden kunnen hechten (bacteriën, parasieten) en soms zelfs uitgroeien (bacteriën) (Hannah & Cowie, 2009;

Mazzillo et al., 2013; Duinker et al., 2016). Over hechting van virussen aan zeewier is in de verzamelde literatuur niets vermeld. Anderzijds wordt opgemerkt dat zeewier zelf en de natuurlijke microbiota die op zeewier aanwezig zijn juist de hechting en groei van andere bacteriën bemoeilijkt (Hannah & Cowie, 2009; Duinker et al., 2016). Zo is bekend dat zeewier antibacteriële eigenschappen kan hebben (soort afhankelijk), die ook groei van humaan relevante ziekteverwekkers kan remmen (onder andere *L. monocytogenes*, *S. aureus* en *E. coli*) (Hannah & Cowie, 2009; Gupta et al., 2010; Duinker et al., 2016; Hogstad et al., 2023).

Op zeewier komen van nature bacteriën voor die in het omringende water voorkomen, of die met grond/bodem/sediment worden geassocieerd. De aantallen die op zeewier worden aangetroffen variëren van 10^1-10^8 kve/cm^2 (kolonievormende eenheden/cm^2) en zijn hoger in de zomer dan in de winter. De natuurlijke microbiota van zout- of brakwater – en daarmee van zeewier - zijn echter niet pathogeen voor de mens. Uitzondering hierop zijn de pathogene soorten van het geslacht *Vibrio* en *C. botulinum*, *C. perfringens* en *Aeromonas* spp.

Er is een aantal studies gepubliceerd waarin de aanwezigheid van humaan pathogene micro-organismen op zeewier is onderzocht. Het gaat hierbij zowel om studies met kwantitatieve gegevens (Tabel 25, Tabel 31, Tabel 32) als om studies met een kwalitatieve invalshoek (Tabel 26). In de helft van de studies (n=21) is alleen kwalitatief gekeken of zijn geen monsteraantallen beschreven (Tabel 26). De studies waarin wel kwantitatieve data zijn gerapporteerd, betreffen vaak studies met weinig monsters. Van de gevonden kwantitatieve studies (n=19) waren er 5 waarin meer dan 20 monsters zijn onderzocht, in totaal ging het om ruim 400 monsters (Tabel 45).

De gegevens betreffen monsters van vers geoogst zeewier en bewerkt en verwerkt zeewier. Sommige studies waarbij monstername in de teeltfase is uitgevoerd, zijn uitgevoerd op schone locaties en/of juist op locaties waar de invloed van de mens groter (en dus blootstelling aan pathogenen mogelijk ook hoger) is (in de buurt van bijvoorbeeld rioolwaterlozing). Het gaat dan ook niet altijd om zeewier dat als levensmiddel in de handel is of zal worden gebracht, maar ook om meer worst-case scenario's. De data zijn daarmee niet geschikt om een kwantitatieve schatting te geven van het vóórkomen van pathogenen op zeewier als levensmiddel. De data geven echter wel inzicht in de mogelijkheid of humaan pathogene micro-organismen op zeewier kunnen voorkomen.

Bacillus cereus

Bacilli komen algemeen als spore voor in het milieu, waaronder in grond/de bodem (Iwamoto et al., 2010; US FDA, 2012). Ook in oppervlaktewater (rivieren) kunnen pathogene *B. cereus*-stammen worden aangetroffen (Østensvik et al., 2004). In een aantal studies is naar de aanwezigheid van *Bacillus* spp. of meer specifiek *B. cereus* op zeewier gekeken. *B. cereus* wordt geregeld aangetroffen (25/57 monsters) (Tabel 25, Tabel 26). In de studie van Lytou et al. (2021) werden bewaarproeven uitgevoerd. Op vers *Alaria esculenta* was de beginconcentratie *Bacillus* spp. 1-3 log kve/g en dit nam met 1-4 log toe bij 5 °C in 7 dagen. Ook bij 0 °C werd groei waargenomen (2 log toename). Het gaat hierbij waarschijnlijk niet (alleen) om *B. cereus* sensu stricto, omdat deze pathogeen een hogere groeitemperatuur heeft. *B. cereus* werd echter wel op de monsters (einde bewaartijd) bij 5 °C aangetroffen. Op *Saccharina latissima* werden lage aantallen *Bacillus* spp. aangetroffen (<2 log kve/g) en deze namen niet of amper toe (<1 log). Op gedroogde wier (beide soorten) werd 4,5-5 log kve/g aangetroffen door deze auteurs. In de studies van Choi et al. (2014) en Martelli et al. (2021) werd (soms) *B. cereus* aangetroffen op gedroogd zeewier (9/32 monsters), waarbij de gevonden aantallen tussen de 1-4 log (sporen)/g lagen. In een bewaarproef bleek *B. cereus* vervolgens niet uit te groeien op gerehydrateerd product (4 dagen bewaard in de koelkast) (Martelli et al., 2021). *B. cereus* kan dus op zeewier voorkomen, *Bacillus* spp. kan op zeewier uitgroeien. Vermoedelijk zal *B. cereus* dat bij geschikte temperatuur ook kunnen.

Campylobacter spp.

Campylobacter spp. werden niet aangetoond op zeewier (0/24 monsters, Tabel 25). Uit een eerdere literatuurstudie van BuRO bleek dat – op basis van de gecombineerde data uit de literatuur (circa 1.500 monsters) - de berekende prevalentie van *Campylobacter* spp. in vis 1% bedroeg en in schelpdieren 30% (Arumugaswamy & Proudford, 1987; Wilson & Moore, 1996; Daczkowska-Kozon, 1998; Whyte et al., 2004; Ibrahim et al., 2014; Kim et al., 2017). In Nederland zijn geen campylobacteriose uitbraken beschreven die aan schelpdieren worden toegeschreven, maar

bronattributieschattingen aan de hand van voedselgerelateerde uitbraken (exclusief de aan zuivel gerelateerde uitbraken) in de VS in de periode 1998-2017 rekenen 3% van de campylobacteriose gevallen toe aan vis en 13% aan de overige visserijproducten (IFSAC, 2019). *Campylobacter* spp. komen dus voor in zeewater en kunnen daarmee ook aanwezig zijn op zeewier.

Clostridium spp.

In de literatuur is zeer beperkt gepubliceerd over het voorkomen van *C. perfringens* op zeewier, maar deze pathogeen werd wel aangetroffen (1/2 monsters (Tabel 25)). Er zijn geen gegevens over het aantreffen van *C. botulinum* gevonden. *C. botulinum* komt algemeen voor in het milieu, waaronder in grond, water en oceaansediment. Met name type E komt algemeen voor in het sediment van zoet- en zoutwater (EFSA BIOHAZ Panel, 2005; Iwamoto et al., 2010; RIVM, 2011a; US FDA, 2012). Het lijkt dan ook aannemelijk dat op zeewier *C. botulinum* kan worden aangetroffen. *C. botulinum* groeit alleen onder anaerobe omstandigheden, iets wat zich voor kan doen bij toepassing van *modified atmosphere packaging* (MAP).

Listeria monocytogenes

L. monocytogenes komt wijdverspreid voor in het milieu en water en grond worden beschouwd als besmettingsbron van dieren en planten. Meestal is dit in lage aantallen (RIVM, 2016). Zeewier kan - net als vis, schaal- en schelpdieren - met *L. monocytogenes* besmet raken als het aquatisch leefmilieu verontreinigd is. Dit kan een rol spelen in kustwateren of in aquacultuur als de hygiëne standaard laag is. In open zee water speelt dit minder (US FDA, 2019a). De belangrijkste route waarop kant-en-klare producten besmet raken met *L. monocytogenes* is door nabesmetting vanuit de procesomgeving (EFSA BIOHAZ Panel, 2018). *L. monocytogenes* is aangetroffen in zeewierproducten (4/104 monsters). Dit betrof vers zeewier dat volgens de auteurs vermoedelijk na de oogst besmet is geraakt (Lytou et al., 2021) en bewerkt of verwerkt zeewier (EFSA BIOHAZ Panel, 2005).

Salmonella en STEC

In een onderzoek uit de VS werden STEC O157 en *Salmonella* vaak (56% respectievelijk 83% van de monsternamemomenten) op zeewier (kelp) aangetroffen (PCR-detectiemethode, aanwezigheid per circa 8 g wier) (Barberi et al., 2020). Dit was in een baai waarin veel menselijke activiteit plaatsvindt en er verschillende antropogene en natuurlijke vervuilende (punt)bronnen zijn. De waterkwaliteit op de locatie van de zeewierteelt voldeed op basis van de hoeveelheid *E. coli* in het water echter bijna altijd aan de norm voor teeltwater voor schelpdieren (<12 kve/100 ml). In de andere onderzoeken waarbij naar *Salmonella* op zeewier is gekeken, werd deze pathogeen niet aangetroffen (0/186 monsters, Tabel 25). Er zijn geen andere onderzoeken gevonden die naar STEC op zeewier hebben gekeken. *E. coli* in het algemeen wordt met enige regelmaat (14/136 monsters, Tabel 25) op zeewier aangetroffen.

Shigella spp.

De mens is het enige reservoir van betekenis voor *Shigella* spp. *Shigella* spp. worden daarom niet specifiek aangetroffen in bepaalde levensmiddelen. Vaak is de bron een geïnfecteerde voedselbereider die niet hygiënisch heeft gewerkt. In water dat verontreinigd is met menselijke fecaliën zijn *Shigella* spp. regelmatig aangetoond. Water (drinkwater, zwemwater, zeewater) is een bekende bron van shigellose-uitbraken (Iwamoto et al., 2010; RIVM, 2011b; US FDA, 2012; CDC, 2018). Vis of schelpdieren zijn echter zelden een bron van uitbraken (CDC, 2018). En in Nederland worden überhaupt amper voedselgerelateerde shigellose-uitbraken waargenomen (shigellose is meldingsplichtig) (RIVM, 2011b). Zeewier zou dus via verontreinigd zeewater besmet kunnen raken. In het beperkt gepubliceerde onderzoek werd deze pathogeen niet aangetoond (0/16 monsters, Tabel 25).

Staphylococcus aureus

S. aureus is onderdeel van de huidflora (keel, neus handen) van veel mensen. De belangrijkste bron van contaminatie van levensmiddelen is die via handcontact tijdens het bewerken en verwerken van voedsel door een voedselbereider (Argudin et al., 2010). In een eerder uitgevoerd literatuuronderzoek in opdracht van BuRO naar het voorkomen van pathogenen in de visketen (Hayrapetyan & Van Bokhorst-Van de Veen, 2018; Hayrapetyan et al., 2018; Van Bokhorst-Van de Veen & Hayrapetyan, 2018; Van Bokhorst-Van de Veen et al., 2018) bleek dat *S. aureus* alleen

werd aangetroffen na bewerking en verwerking van visserijproducten, en dus niet in de primaire fase (vis, teeltwater) (Ibrahim et al., 2014; Edris et al., 2017). In het in de literatuur beschreven onderzoek naar het voorkomen van *S. aureus* op zeewier werd deze pathogeen niet aangetroffen (0/74 monsters, Tabel 25). Wel werden andere met de mens geassocieerde stafylokokken op vers handmatig geoogst zeewier aangetroffen. Vermoed werd dat de besmetting tijdens het oogsten heeft plaatsgevonden (Lytou et al., 2021). Contaminatie van het zeewier met *S. aureus* zou dus tijdens het oogsten kunnen plaatsvinden als dit niet machinaal zou worden gedaan.

Vibrio spp.

Op zeewier worden met regelmaat *Vibrio* spp. aangetroffen (155/399 monster in totaal). Het kan hierbij gaan om soorten die pathogeen zijn voor het zeewier zelf (Albakosh et al., 2016; Blikra et al., 2019), maar ook om soorten die gastro-intestinale klachten bij de mens kunnen veroorzaken (zoals onder andere *V. parahaemolyticus* (100/182 monsters) en *V. vulnificus* (24/101 monsters) (Tabel 25, Tabel 26). De concentraties die op zeewier worden aangetroffen variëren van <1 log kve *V. parahaemolyticus*/g (VS), 1- >2 log kve *V. parahaemolyticus* of *V. vulnificus*/g (Japan) (Mahmud et al., 2006; Mahmud et al., 2008) en 1-4 log kve *Vibrio* spp./g (Italië) (Ziino et al., 2010) tot 8 log kve *Vibrio* spp./g (Maleisië) (Musa & Wei, 2008). Zonder verdere specificatie van de soort, is onduidelijk of het hierbij ook om humaan-pathogene soorten gaat en in welke mate die deel uitmaken van het totaal aantal getelde *Vibrio*-cellen.

Vibrio spp. komen van nature in zout- en brakwater voor. Optimale groeiomstandigheden voor bepaalde *Vibrio* spp. zijn een hogere watertemperatuur (vooral >20°C) en water met een lage zoutconcentratie (<30 ppt). Deze situaties doen zich vooral voor in de zomermaanden in riviermondingen en omsloten waterlichamen met een matige saliniteit. De open zee is niet erg geschikt voor *Vibrio* spp. De temperatuur is te laag, het zoutgehalte te hoog en er zijn te weinig voedingsstoffen (Lowry & Smith, 2007; Baker-Austin et al., 2010; Ellis et al., 2012; ECDC, 2019). In de koudere maanden overleven *Vibrio* spp. in het bodemsediment en worden ze nauwelijks in het water waargenomen (EC, 2001; Clemence & Guerrant, 2015). Met name voor *V. parahaemolyticus* daalt de concentratie sterk als de watertemperatuur onder de 14-15 °C zakt (Tamplin et al., 2011).

Het ontbreekt aan gegevens over het voorkomen van *Vibrio* spp. op zeewier dat in Nederland is geteeld. Er zijn echter wel gegevens over de mate waarin *Vibrio* spp. voorkomen op verschillende Nederlandse zwemwaterlocaties en in water uit schelpdierproductiegebieden (2019-2021) (Schets et al., 2023). Dit geeft een indicatie van de mate waarin deze pathogeen op zeewier voor zou kunnen komen. Dit onderzoek laat zien dat in de meeste watermonsters *Vibrio* spp. wordt aangetroffen. Afhankelijk van de locatie variëren de hoogst waargenomen concentraties in het water van 10^4 tot 10^6 MPN/L (10^1-10^3 MPN/ml; MPN: *most probable number*). De soortenverdeling verschilt per locatie, maar gemiddeld komt *V. alginolyticus* het meest voor (77%), gevolgd door *V. parahaemolyticus* (29%) en *V. vulnificus* en *V. cholerae* non-O1/O139 beide 1%. Onduidelijk is welk aandeel van de *Vibrio*-isolaten virulentiegenen bezit en daarmee ziekte bij de mens kan veroorzaken (Schets et al., 2023). Onderzoek uit Duitsland laat zien dat *Vibrio*-isolaten die in Duitsland uit schelpdieren werden geïsoleerd, zelden positief waren voor toxinegenen. Voor de meest aangetroffen soort – *V. parahaemolyticus* – was dat 2% (BfR, 2022). In Noorwegen werden bij de geïsoleerde *Vibrio*-stammen geen toxinegenen aangetroffen (Duinker et al., 2016). Het is echter voor *V. parahaemolyticus* aangetoond dat er met het toenemen van de watertemperatuur relatief meer pathogene isolaten worden aangetroffen ten opzichte van het totaal aan *V. parahaemolyticus*-isolaten (Mahmud et al., 2006), zodat deze situatie in de toekomst (klimaatverandering) mogelijk kan veranderen.

Vibrio spp. kunnen bij lage temperatuur (vanaf 5-8 °C) uitgroeien (Tabel 44). Echter, de FDA (Food and Drug Administration, US) houdt voor visserijproducten aan dat groei gedurende 21 dagen wordt voorkómen bij opslag bij 10 °C voor *V. cholerae*, bij 5-10 °C voor *V. parahaemolyticus* en bij 8-10 °C voor *V. vulnificus* (US FDA, 2022). Onbekend is wat de groeikarakteristieken van *Vibrio* spp. op zeewier zijn. Het is de inschatting van BuRO dat bij deze temperatuur-groei-extremen de groeitemperatuur meer van invloed is dan de matrix. Daarbij kan worden verondersteld dat de groei van *Vibrio* spp. op gekoeld zeewier (bewaarfase) in een vergelijkbare mate wordt beperkt als het geval is op visserijproducten.

Fecale indicatororganismen

Er zijn onderzoeken die hebben gekeken naar indicatoren van fecale verontreiniging op zeewier. Zo werden op vers zeewier in Italië (retail) in alle onderzochte monsters (n=20) enterococcen aangetroffen (circa 2-7 log kve/g) (Ziino et al., 2010). Een deel (6/20 monsters) hiervan bleek ook positief voor *E. coli* (0,7-2,7 log kve/g). In Denemarken werd op vers geoogst zeewier in een aantal monsters (8/65 monsters) meer dan 2 log kve *E. coli*/g aangetoond (DVFA, 2021). In Maleisië werd zelfs 8 log kve *E. coli*/g op vers zeewier aangetroffen (Musa & Wei, 2008). Ook op gedroogd zeewier worden deze indicatororganismen teruggevonden. Op gedroogd (al dan niet geroosterd) zeewier in Italië werden op een deel van de monsters (3-4 van de 26 monsters) enterococcen (circa 2,4 log kve/g) en *Enterobacteriaceae* (maximaal 2,7 log kve/g) aangetoond (Panebianco et al., 2019). In een ander onderzoek was dit 2,5-5 log kve/g coliformen en *E. coli* (4/14 monsters) (Martelli et al., 2021). Deze resultaten laten zien dat zeewier besmet kan zijn met fecale bacteriën en dus een bron kan zijn van enterale pathogenen.

Virussen

Van de voedseloverdraagbare virussen (NoV, HAV, HEV, rotavirus (groep A)) wordt alleen norovirus in verband gebracht met zeewier en dat alleen als verwekker van uitbraken (Tabel 25, Tabel 29, Tabel 32). Er is in een van de publicaties binnen de gevolgde zoekstrategie data gepubliceerd over onderzoek naar norovirus op zeewier (vlak na oogsten). In de vijf onderzochte monsters werd geen norovirus aangetroffen (Banach et al., 2024). Verder zijn er geen gegevens gevonden over het voorkomen van virussen op zeewier(producten). In het literatuuronderzoek is breed naar microbiologische gevaren gezocht, maar is niet specifiek naar virussen gezocht, anders dan de vier hierboven genoemde virussen.

Zeewier kan tijdens de teeltfase besmet raken met humaan pathogene virussen als het teeltwater verontreinigd is met humane fecaliën/vomitus (rioolwater; NoV, HAV, rotavirus, HEV-1, HEV-2) of dierlijke mest (HEV-3, HEV-4). Bij een voedselgerelateerde uitbraak of ziektegeval door NoV, HAV of rotavirus is de bron meestal een zieke voedselbereider die het kant-en-klare product besmet (bereid voedsel, voedsel dat rauw wordt gegeten). Wat betreft rotavirus is de belangrijkste besmettingsroute van de mens (risicogroepen: kind, ouderen) niet voedsel, maar direct hand-mond-contact. Dit heeft ook te maken met het feit dat volwassenen als kind immuniteit hebben opgebouwd, terwijl bij ouderen die immuniteit weer is afgenomen (RIVM, 2017). Wat betreft de verschillende genotypen van HEV, komt HEV-1 en HEV-2 endemisch niet voor in Europa. De transmissieroute van deze genotypen is niet voedselgerelateerd, maar met name watergerelateerd. Het hepatitis E-virus dat in Nederland relevant is voor de mens, is vooral afkomstig van varkens (HEV-3). In Nederland is hepatitis A geen endemische ziekte, waardoor HAV minder in water zal worden aangetroffen.

Bekend is dat filtervoedende schelpdieren die rauw of niet goed gegaard worden gegeten (oesters, mosselen) een bron zijn van virusuitbraken (BuRO, 2022). Filtervoedende schelpdieren accumuleren de virusdeeltjes vanuit het water, terwijl zeewier dat niet doet. Virussen die betrokken zijn bij de genoemde schelpdieruitbraken zijn met name NoV, maar ook HAV. In Europa – en dus Nederland – zijn in de periode 2013-2017 geen HAV-uitbraken bekend die zijn veroorzaakt door de consumptie van schaal- en schelpdieren (periode 2013-2017) (BuRO, 2022). Wel was er in 2012 een mossel-gerelateerde HAV-uitbraak in Nederland (Boxman et al., 2016). En hoewel HEV voor kan komen in water en schelpdieren, wordt (wereldwijd) consumptie van filtervoedende schelpdieren amper in verband gebracht met hepatitis E (1 beschreven uitbraak) (Treagus et al., 2021; BuRO, 2022). Norovirus komt echter wel voor in schelpdieren die afkomstig zijn uit Nederlandse teeltgebieden en uitbraken zijn wereldwijd frequent beschreven (BuRO, 2022).

Parasieten

Er zijn geen publicaties gevonden over het voorkomen van voedseloverdraagbare parasieten (*Cryptosporidium* spp., *Giardia* spp. en *Toxoplasma gondii*) op zeewier of producten daarvan gemaakt (Tabel 32). Uit onderzoek naar de besmettingsroute van de Californische zeeotter met *T. gondii* blijkt echter dat *T. gondii* aan zeewier (kelp) kan hechten door het laagje exopolysacchariden op het zeewier (Mazzillo et al., 2013). Onbekend is of dit ook geldt voor *Cryptosporidium* spp. en *Giardia* spp.

Wel is bekend dat C*ryptosporidium* spp. en *Giardia* spp. voor kunnen komen in (zee)water en dat deze parasieten via water (drinkwater, zwemwater) infectie bij de mens veroorzaken. Over het

voorkomen van *T. gondii* in kustwateren is weinig informatie bekend (BuRO, 2022), uitgezonderd de hierboven genoemde situatie van de Californische zeeotters, waarbij slakken die op het zeewier foerageren een bron van infectie zouden zijn voor de zeeotter. *Cryptosporidium* spp. en *Giardia* spp. worden in schelpdieren aangetroffen en – zij het in mindere mate - ook op vis. Ook *T. gondii* is in schelpdieren aangetoond (BuRO, 2022).

Uitbraken veroorzaakt door *Cryptosporidium* spp., *Giardia* spp. en *T. gondii* door consumptie van schelpdieren of vis worden niet of nauwelijks beschreven. Dit terwijl met name schelpdieren geregeld rauw (oesters) of minder goed gegaard (mosselen) worden geconsumeerd. Onbekend is of dit komt doordat visserijproducten daadwerkelijk een zeldzame bron zijn van deze parasitaire infecties of dat het gaat om onderrapportage (of beiden).

Zeewier-zeewater relatie

Aangenomen wordt dat humaan pathogene micro-organismen in dezelfde mate en samenstelling voorkomen op zeewier als in het water waarin het wier groeit (Løvdal et al., 2021). Er zijn onderzoeken die naar de relatie tussen zeewier en zeewater hebben gekeken met betrekking tot het aantreffen van verschillende micro-organismen. In een studie uit Groenland werd gekeken naar het effect van de teeltplaats van zeewier (nabij klein gehucht of nabij dorp) op het voorkomen van fecale indicatorbacteriën (*E. coli*, coliformen) op het zeewier (Kreissig et al., 2023). Deze indicatororganismen kwamen alleen voor in het water en op het wier nabij het dorp (grotere invloed van de mens). Ook werden alleen op dat wier bacteriën aangetroffen die met de mens kunnen worden geassocieerd (Tabel 26). Barberi et al. (2020) zagen dat aanwezigheid van *E. coli* in het water meestal correleerde met aanwezigheid van deze bacterie op kelp. En dat *V. parahaemolyticus* en *V. alginolyticus* in significant hogere aantallen voorkwamen in water dan op zeewier (kelp). De waargenomen concentratie van beide soorten *Vibrio* op kelp was echter laag met minder dan 8 kve/100 ml spoelwater (8 g zeewier). Deze lage concentratie heeft mogelijk met het groeiseizoen van kelp te maken. Kelp groeit in de winter-voorjaarsperiode als het water nog niet sterk is opgewarmd (onderzoeksdata waren van februari-mei) en de hoeveelheid vibrio's in het water nog laag is. Voor *V. vulnificus* werd door Mahmud et al. (2008) juist waargenomen dat de concentratie op het zeewier (in kve/g; diverse soorten, vooral *Porphyra*, *Undaria*, *Laminaria* en *Fucus*) altijd hoger is dan in het zeewater (in kve/ml). Opvallend was dat in de winter geen kweekbare *Vibrio* spp. in zeewater kon worden aangetoond, terwijl op het zeewier nog 3-4 log kve/g werd aangetroffen (Mahmud et al., 2008). In onderzoek uit Schotland bleek dat op zeewier (verschillende soorten) geen *E. coli* werd aangetroffen bij een concentratie van <10 kve *E. coli*/100 ml zeewater (Swinscoe et al., 2020). Terwijl in ander onderzoek van deze auteurs wel *E. coli* op zeewier werd aangetroffen bij een zelfde maximale concentratie van *E. coli* in het zeewater (<10 kve/ml). Hierbij lijkt er verschil te kunnen zitten in het soort zeewier. Op *Laminaria* werd geen *E. coli* aangetroffen (<10 kve/g) en op *Palmaria* en *Ulva* wel (30 respectievelijk 11 kve/g) (Swinscoe et al., 2019).

In onderzoek van Lytou et al. (2021; 2022) bleek dat het oogstjaar, de teeltlocatie en de zeewiersoort invloed hebben op de microbiologische kwaliteit (kiemgetal) van zeewier (1,5-3 log kve/g verschil) en zelfs op de mate waarin het kiemgetal kan toenemen tijdens het bewaren van zeewier. Daarnaast bleken de microbiota op beide soorten zeewier (*A. esculenta* en *S. latissima*) verschillend van samenstelling, wat volgens de auteurs ook door ander onderzoek wordt onderschreven.

Swinscoe et al. (2020) deden onderzoek naar het verloop van de concentratie pathogenen (*E. coli* en STEC O157, *L. monocytogenes* en *V. parahaemolyticus*) op zeewier (5 soorten) tijdens de teeltfase en tijdens verschillende bewerkings- en verwerkingsstappen van het zeewier. Blootstelling (24 h bij 20 °C) van het wier (gesneden stukken) aan zeewater dat met deze pathogenen was besmet, resulteerde in besmetting van het wier. Op het wier was de concentratie (in kve/g) hoger dan in het water (in kve/ml), wat door groei werd veroorzaakt. Onduidelijk is echter of ook op intact zeewier groei kan plaatsvinden.

Deze data laten zien dat er een grote variatie kan zitten in de relatie tussen micro-organismen die voorkomen in zeewater en die op het zeewier zitten, en dat er veel factoren zijn die deze relatie beïnvloeden, zoals onder andere het soort zeewier en de bacteriesoort. De aanname dat humaan pathogene micro-organismen in dezelfde mate en samenstelling voorkomen op zeewier als in het water waarin het wier groeit (Løvdal et al., 2021), lijkt daarmee minder valide te zijn. Relevanter

voor het risico is het feit dat bacteriën (en virussen) die in het water voorkomen, ook op zeewier kunnen voorkomen zelfs als de concentratie van deze micro-organismen in het zeewater laag is.

Data NVWA

De NVWA heeft in de periode 2019-2021 diverse soorten zeewierproducten en zeegroenten bemonsterd (eindproduct/levensmiddel; 533 monsters) (Tabel 27). De monsters waren afkomstig uit de retail (89%) en groothandelsbedrijven en levensmiddelenproducenten (11%). Ongeveer de helft (52%) van de monsters betrof zeewier.

Van de onderzochte zeewierproducten was het merendeel wakame (82%), meestal in de vorm van salade (86%). Onbekend is wat de herkomst (teeltgebied) van het wier is. Wakamesalade wordt vaak, zo niet altijd, als ontdooid product verkocht in de supermarkt. Het merendeel van de onderzochte zeewierproducten betrof een salade (82%, 227 monsters). Deels was dit "zeewiersalade" zonder dat het soort zeewier werd vermeld. Zeer waarschijnlijk gaat het in alle gevallen om wakame. Gedroogd zeewier werd amper bemonsterd. Onduidelijk is in hoeverre het om vers, geblancheerd of gezouten zeewier gaat. Zeewier is zeer bederfelijk en ondergaat daarom vaak een conserveringsstap, zoals blancheren of zouten.

Naast zeewier werden ook zeegroenten bemonsterd, voornamelijk zeekraal (95%). Zeegroenten groeien op het land en kunnen in contact komen met zeewater, maar dat is niet altijd het geval. Zeegroenten behoren niet tot de scope van deze risicobeoordeling en zijn alleen als vergelijking meegenomen.

Het zeewier en de zeegroenten werden onderzocht op aanwezigheid van *B. cereus*, *L. monocytogenes*, *Salmonella*, STEC en *Vibrio* spp. (Tabel 28). *B. cereus* kwam zowel op zeewier als zeegroenten voor (0,7% respectievelijk 3,9%). Op zeewier ging het daarbij om aantallen tussen de 10^2 en 10^3 kve/g. Bij zeegroenten was de range wat breder, namelijk tussen de 10^2 en 10^4 kve/g (7 monsters 10^2-10^3 kve/g, 3 monsters 10^3-10^4 kve/g). *L. monocytogenes*, *Salmonella*, STEC en *Vibrio* spp. werden niet op de zeewier(producten) aangetroffen. Op zeegroenten werd wel *L. monocytogenes* (1,2%) en *Vibrio* spp. (2,8%) aangetroffen. Het ging hierbij om 2 *L. monocytogenes*-isolaten behorend bij serotype "4b, 4d, 4e" en een met serotype 1/2a,3a. De *Vibrio*-isolaten waren niet-pathogene soorten van *V. cholerae* en *V. parahaemolyticus*.

Tabel 27 Overzicht van de door de NVWA onderzochte monsters zeewier en zeegroenten (2019-2021).

Product	Aantal monsters	Product	Aantal monsters
Zeewier	**277**	**Zeegroente**	**256**
wakame (salade)	194	**zeekraal**	244
wakame	32	**overig[2]**	12
zeewier (salade)	32		
overig[1]	19		

[1] dulse (palmwier), hijiki, hijiki (salade), kombu, rood hoorntjeswier, viltwier, zee-eik, zeesla, zeespaghetti en zeewier (gedroogd); 1-4 monsters per soort.
[2] lamsoor, zeebanaan, zeevenkel en zeegras (salade); 1-7 monsters per soort

Tabel 28 Overzicht van pathogenen aangetroffen in zeewier en zeegroenten bemonsterd in de Nederlandse detail- en groothandel (incl. levensmiddelenindustrie) (2019-2021).

	Zeewier			Zeegroente		
Aantal monsters	**Positief**	**Totaal**		**Positief**	**Totaal**	
B. cereus	2	276	0,7%	10	256	3,9%
L. monocytogenes	0	276		3	254	1,2%
Salmonella	0	265		0	248	
STEC	0	250		0	244	
***Vibrio* spp.**	0	263		7	246	2,8%

Recalls/terugroepacties

In de periode 2003 t/m 2024 werden in de EU 10 notificaties in RASFF geregistreerd met betrekking tot het aantreffen van een microbiologische afwijking in zeewier (Tabel 4). Het ging hierbij om 2 notificaties over schimmelvorming op gedroogd zeewier, 1 over een "microbiologische klacht" en 7 notificaties over pathogene micro-organismen. Twee van deze meldingen betrof het aantreffen van *Salmonella*, waarvan een over gedroogd zeewier (*S.* Idikan) en een over zeewiersalade (*Salmonella* spp.). Een melding betrof HEV in zeewiersalade (wakame, via Nederland). De vier andere meldingen betroffen norovirus, waarvan twee uitbraken veroorzaakt door zeewiersalade (bevroren) en twee meldingen over het aantreffen van norovirus op bevroren zeewier (wakame, zeewiersalade).

Cressey et al. (2023) geven een overzicht van internationale terugroepacties. In Nieuw-Zeeland werden geen recalls genotificeerd met betrekking tot microbiologische afwijkingen in zeewier (2016- augustus 2022). Ook in Australië (juni 2019 – september 2022) en Canada (2019 - juni 2022) was dit niet het geval. In de VS werd in de periode 2015-2021 één melding gedaan over een *border rejection*, het betrof een melding over het aantreffen van *L. monocytogenes* in zeewier met saus.

Uitbraken

In de geraadpleegde bronnen (literatuur, uitbraakrapporten Nederland, EU, VS, Australië, Nieuw-Zeeland) zijn 14 uitbraken beschreven die werden veroorzaakt door de consumptie van zeewier. Het betrof 2 uitbraken door *Salmonella*, 1 door STEC, 10 door norovirus (waarvan 7 uitbraken die clusterden) en 1 vibriose-uitbraak waarbij zeewier de vermoedelijke bron was (Tabel 29).

In Nederland zijn in de periode 2017-2023 geen uitbraken geregistreerd waarbij zeewier de bron was. In de datarapportage van EFSA wordt de data geaggregeerd op voedselgroepen, waarbij zeewier in de categorie groenten valt. Er wordt hierbij niet uitgesplitst op specifieke producten, zodat er geen inzicht is in het aantal uitbraken dat is veroorzaakt door bijvoorbeeld een product als zeewier. Ook in de tekst van de rapporten zelf is geen vermelding gemaakt van zeewier (seaweed, wamake).

Van de in de literatuur beschreven uitbraken (Tabel 29) is deels bekend wat de (mogelijke) besmettingsbron van het zeewier was. Van de 10 norovirus-uitbraken waren er zeven uitbraken in Japan die clusterden, een symptomatische medewerker bleek hier de bron van de besmetting. In een norovirus-uitbraak in Zuid-Korea bleek onder andere het zeewater (productielocatie) en het waswater (zeewater) positief voor norovirus. De productielocatie lag in de buurt van een rioolafvoer. In de VS vond in de periode 1998-2021 één uitbraak met *Salmonella* plaats door consumptie van zeewier. De oorzaak van deze salmonellose-uitbraak bleek een onhygiënische

Tabel 29 Overzicht van uitbraken veroorzaakt door de consumptie van zeewier.

Pathogeen	Land	Jaar	Product	Zieken	ZH[$]	Referentie*
Salmonella	Wales	2014	laver-brood (gekookt, gehakt zeewier)	17	3	(Anoniem, 2014; Public Health Wales, 2014)
***S.* Weltevreden**	VS (Hawaï)	2016	zeewier, niet gespecificeerd	16	4	NORS, (Nichols et al., 2017)
STEC O7:H4	Japan	2020	zeewiersalade (*Gigartina tenella*)	2958	-	(Kashima et al., 2021)
***Vibrio* spp.**	Japan	-	mogelijk zeewier	-	-	(Kudaka et al., 2008)
Norovirus	Zuid-Korea	2012	groen zeewier, gekruid (*Enteromorpha* spp.)	91	-	(Park et al., 2015)
Norovirus	Japan	2017	laver, gedroogd en gehakt (7 verschillende uitbraken)	2094	-	(Kusumi et al., 2017; Sakon et al., 2018)
Norovirus	Spanje	2019	wakame salade, bevroren uit China	-	-	RASFF (2019.2938)
Norovirus	Noorwegen	2019	wakame salade, bevroren uit China	>100		RASFF (2019.3003), (Whitworth, 2019; FAO & WHO, 2020)

[$] ZH: ziekenhuisopnames
* Referenties uit FSAI Sci. Com. (2020) en Cressey et al. (2023)

teelt- en procesomgeving van het zeewier. Van de overige uitbraken is geen informatie bekend over hoe het zeewier besmet is geraakt.

In Australië (2009-2020) en Nieuw-Zeeland (2006-2022) werden geen zeewier-gerelateerde uitbraken gerapporteerd. Dit laatste wordt bevestigd door Cressey et al. (2023) (periode 1997-2022). Op de website van de overheid in Hong Kong is wel op geaggregeerd niveau informatie beschikbaar over voedselgerelateerde uitbraken, maar benodigde detailinformatie werd niet gevonden. De geraadpleegde websites uit Taiwan leverden twee Engelstalige publicaties op over uitbraaksurveillance in de periode 1991-2000 (Chang & Chen, 2003) en 2014-2018 (Yu et al., 2021). In beide publicaties wordt zeewier niet als bron genoemd van een uitbraak.

Uit de literatuurstudies kwamen *B. cereus* en *Vibrio* spp. naar voren als pathogenen die relatief vaak – ten opzichte van de overige pathogenen – op zeewier(producten) werden aangetroffen. Qua uitbraken is dat beeld anders.

In het rapport van de FSAI wordt opgemerkt dat in Ierland af en toe uitbraken van voedselgerelateerde vibriose worden waargenomen, maar dat deze tot nu toe nog nooit in verband zijn gebracht met zeewier (FSAI Sci. Com., 2020). In de literatuur die door Cressey et al. (2023) is doorzocht (Engelstalig) werd alleen in een abstract van een Japans artikel een melding gemaakt van een *Vibrio*-uitbraak die mogelijk gerelateerd was aan consumptie van zeewier. In geen van de Engelstalige artikelen werd melding gemaakt van zeewier als bron van vibriose. Ook Løvdal et al. (2021) merken in hun review op dat vibriose-uitbraken door zeewier zeldzaam lijken. In de EU komen weinig (vermoedelijke) vibriose-uitbraken voor. In de periode 2018-2022 zijn 9 *strong-evidence* en 23 *weak-evidence* vibriose-uitbraken bij EFSA gemeld (EFSA, 2021). Het merendeel (23/32 uitbraken) door visserijproducten; geen door zeewier.

Uitbraken en ziektegevallen veroorzaakt door *B. cereus* worden geassocieerd met voedsel dat te lang bij te hoge koeltemperatuur, dan wel te lage warmhoudtemperatuur is bewaard, waardoor groei en/of toxine vorming in het product kon plaatsvinden. Het gaat hierbij eigenlijk altijd om producten die verhit zijn geweest. Indien zeewier wordt geblancheerd, zou dit tot het ontkiemen van sporen van *B. cereus* kunnen leiden. Uitgroei van deze ontkiemde sporen dient dan ook te worden voorkomen. Er zijn voor zo ver bekend geen uitbraken beschreven waarbij zeewier de bron is en *B. cereus* de ziekteverwekker.

Effect bewerken en verwerken op pathogenen in de keten

Zeewier bevat veel nutriënten en vocht en is daarmee een geschikte voedingsbodem voor bacteriën. De houdbaarheid van producten op basis van vers zeewier ligt daarom grofweg tussen de 1 à 2 weken, maar hangt af van het soort zeewier en het oogstseizoen (Cressey et al., 2023).

De vaakst toegepaste processen die plaatsvinden bij de bewerking en verwerking van zeewier in relatie tot het verlengen van de houdbaarheid zijn drogen, invriezen, blancheren, inzouten of fermenteren. Daarnaast wordt zeewier eerst nog schoongespoeld. Voor consumptie kan eventueel nog rehydratatie (weken) van gedroogd wier of verhitten plaatsvinden (3.2.3). In de supermarkt wordt zeewier voornamelijk als wakamesalade verkocht. Dit blijkt (vaak) onder beschermende atmosfeer te zijn verpakt (MAP, *modified atmosphere packaging*). Voor deze risicobeoordeling is in eerste instantie niet specifiek gezocht naar literatuur met betrekking tot het effect van verschillende processen op de microbiële voedselveiligheid, maar het onderwerp kwam wel aan bod in een aantal van de geselecteerde artikelen. Aanvullend is nog specifiek naar literatuur gezocht over het effect van verschillende be- en verwerkingsprocessen op de microbiologische kwaliteit en/of veiligheid van zeewier. Het hieronder gegeven overzicht pretendeert echter niet volledig te zijn.

Spoelen

Zeewier wordt gespoeld met (zee)water om vervuiling die op het wier zit te verwijderen. Mogelijk worden daarmee ook micro-organismen verwijderd (Cressey et al., 2023). Experimenten laten echter zien dat na het wassen van kunstmatig besmet zeewier (5 soorten) met drinkwater de hoeveelheid pathogenen (*E. coli* en STEC O157, *L. monocytogenes* en *V. parahaemolyticus*) niet afneemt, maar mogelijk licht toeneemt (<1 log kve/g) (Swinscoe et al., 2020). Terwijl ander onderzoek laat zien dat op natuurlijk besmet zeewier (≤ 30 kve *E. coli*/g) na het wassen (kraanwater) geen detecteerbare hoeveelheid *E. coli* aanwezig was (Swinscoe et al., 2019). En in weer ander onderzoek bleek er geen effect (<0,5 log kve/g verschil) te zijn van zowel wassen met

drinkwater als wassen met UV-behandeld zeewater op het aeroob kiemgetal (Mariene Agar, 7 dagen incuberen bij 15 °C) van zeewier (*S. latissima*) (Wirenfeldt et al., 2022). Uit dit onderzoek bleek ook dat wassen geen effect had op de waargenomen toename van het aeroob kiemgetal gedurende gekoelde opslag (16 dagen, 2,8 °C).

Onderzoek naar de productie van nori (gedroogde laver van *Porphyra yezoensis*; drie productielocaties) laat zien dat wassen (zeewater) en vervolgens spoelen (kraanwater) geen of beperkt (3 log kve/g afname) heeft op het aeroob kiemgetal van zeewier (Wang et al., 2023). Ook het aantal coliformen nam echter toe (circa 2 log kve/g) bij twee van de productielocaties, wat een indictie is dat het gebruikte water voor wassen en spoelen waarschijnlijk niet van goede kwaliteit was.

Gebruik van zoetwater in plaats van zeewater kan mogelijk zorgen dat eventueel aanwezige pathogene bacteriën beter kunnen uitgroeien op het zeewier (FAO & WHO, 2022). Anderzijds kan gebruik van niet schoon water zorgen voor mogelijke microbiële besmetting.

Drogen

Drogen is de meest toegepaste techniek om de houdbaarheid van zeewier te verlengen (Løvdal et al., 2021; FAO & WHO, 2022). Zeewier kan op verschillende manieren worden gedroogd. Traditioneel wordt zondrogen in de openlucht toegepast. Dit gaat langzaam en is daarom alleen geschikt voor kleinschalige productie. Het kan leiden tot contaminatie met uitwerpselen van vogels en ongedierte en is daarmee de minst hygiënische manier van drogen. Deze manier van drogen is – gezien het klimaat - niet erg relevant voor zeewier dat in Nederland wordt geteeld. Drogen met lucht onder gecontroleerde omstandigheden en vriesdrogen zijn andere toegepaste droogtechnieken. Drogen in een oven wordt echter het meest toegepast (FSAI Sci. Com., 2020; Cressey et al., 2023). Gangbare temperaturen hierbij liggen tussen de 25 en 60 °C (Martelli et al., 2021; Sørensen et al., 2023). De wateractiviteit (Aw; een waarde (tussen 0 en 1) die aangeeft hoeveel vrij-water aanwezig is in een product) van gedroogde zeewier (nori) ligt rond de 0,65 (Cressey et al., 2023).

Drogen kan tot reductie van de aanwezige hoeveelheid micro-organismen leiden. Dit hangt, naast de eigenschappen van het micro-organisme, af van de gebruikte techniek, de toegepaste temperatuur, tijd en snelheid en de bereikte reductie van het vochtgehalte (Cressey et al., 2023). Bekend is dat onder andere *Salmonella* ook op gedroogde producten kan voorkomen (bijvoorbeeld kruiden en melkpoeder), droogprocessen overleeft en uitbraken door "low moisture foods" kan veroorzaken (FAO & WHO, 2014), net als sporen van bacilli en clostridia.

Onderzoek van Vorse et al. (2023) laat zien dat luchtdrogen en vriesdrogen van zeewier (*Saccharina latissima* en *Ascophyllum nodosum*) tot een reductie (2-4 log kve/g) van (pathogene) bacteriën (*L. monocytogenes*, *V. parahaemolyticus*, *V. vulnificus*, *Salmonella, S. aureus* en *E. coli*) kan leiden. Luchtdrogen heeft hierin meer effect dan vriesdrogen. Het drogen van zeewier (*Alaria esculenta*) door middel van convectiewarmte (heteluchtoven; 40 °C) resulteerde in een reductie (circa 4 log kve/g) van *Salmonella* (*S.* Typhimurium) in onderzoek van Sørensen et al. (2023). Onderzoek van Lytou et al. (2021) laat echter zien dat drogen bij 40 °C tot toename van het kiemgetal kan zorgen (2 log kve/g toename), terwijl bij 50 °C en 60 °C een 2 log-afname werd bereikt.

Ook Swinscoe et al. (2020) zien dat drogen bij 40 °C niet altijd tot een reductie van pathogenen leidt. Drogen bij 40 °C (7 dagen) had geen effect op cel aantallen van *E. coli* en *L. monocytogenes*, maar dit proces was wel effectief tegen STEC O157 (circa 8 log kve/g reductie), terwijl *V. parahaemolyticus* de eerste 24 h uitgroeide om pas daarna af te sterven (circa 5 log kve/g ten opzichte van beginconcentratie). *E. coli* werd bij drogen bij 50 °C wel sterk gereduceerd (circa 8 log kve/g reductie). *L. monocytogenes* bleek het meest robuust en onvoorspelbaar. Bij 50 °C werd een 5 log kve/g reductie bereikt, terwijl drogen bij 60 °C geen significant effect had (Swinscoe et al., 2020).

Onderzoek naar het effect van het droogproces op het aeroob kiemgetal van zeewier (drie commerciële productielocaties) laat zien dat tijdens het drogen van nori (gemalen, gemengd en geperst in blokken (circa 20x20x10 cm); 40-50 °C voor 2,5 uur) uitgroei van bacteriën kan plaatsvinden (1,9-3,3 log kve/g toename aeroob kiemgetal) (Wang et al., 2023). Een tweede droogstap (graduele temperatuur van 35-90 °C, 3-4 uur) had geen effect op het aeroob kiemgetal. Wat betreft coliformen resulteerde de eerste droogstap in ongeveer 2 log kve/g reductie. De

tweede droogstap had geen kiemreducerend effect bij twee van de productielocaties, terwijl bij de ander locatie een 2 log kve/g toename werd waargenomen (Wang et al., 2023). Onderzoek naar een extra droogstap laat zien dat drogen van nori blokken (10 lagen) voor 1 uur bij 100 °C, 125 °C of 150 °C resulteerde in een ongeveer 1, 3 respectievelijk 3,5 log kve/g afname.

Drogen bij 40-60 °C kan dus tot een afname van de hoeveelheid bacteriën zorgen, maar wordt niet per sé beschouwd als adequate kiemreducerende stap. Onder minder geschikte productieomstandigheden kan het droogproces juist resulteren in uitgroei van bacteriën.

In gedroogd zeewier (Aw 0,65) zal geen uitgroei plaatsvinden (Tabel 44). En bij een Aw lager dan 0,6 kunnen ook schimmels en gisten niet uitgroeien (Løvdal et al., 2021; Cressey et al., 2023). Tijdens de opslag van gedroogd wier (6 weken) lijkt de hoeveelheid pathogenen af te nemen (Vorse et al., 2023). Tijdens langdurigere opslag van gedroogd wier (6 maanden) neemt het aantal kweekbare micro-organismen (kiemgetal, *Enterobacteriaceae*, *Bacillus* spp., *Pseudomonas* spp., *Vibrio* spp., gisten en schimmels) echter duidelijk af (afhankelijk van soort wier en type micro-organisme) (Lytou et al., 2021). De op gedroogd zeewier overgebleven micro-organismen kunnen na rehydratatie weer uitgroeien (Byappanahalli et al., 2003; Lytou et al., 2021). Ook norovirus blijft op gedroogde norivellen na twee maanden nog infectieus (Kusumi et al., 2017; Sakon et al., 2018).

Invriezen en koelen

Zeewier/wakamesalades die in de retail worden verkocht zijn vaak bevroren geweest. Invriezen kan bacteriën beschadigen en daarmee voor een reductie in de bacteriële besmetting zorgen. Net als bij drogen is dit afhankelijk van de temperatuur en snelheid waarmee dit gebeurt evenals van de gevoeligheid van het micro-organisme hiervoor. Bacteriële sporen zijn ongevoelig voor invriezen. Onderzoek laat zien dat op zeewier dat ingevroren is geweest, minder uitgroei (zowel in hoeveelheid, als snelheid) van bacteriën plaatsvindt dan op vers zeewier (Jönsson et al., 2023). Ook nam in dit onderzoek de variatie in bacteriële genera en soorten binnen deze genera af door invriezen in vergelijking met vers zeewier.

Vibrio spp. zijn vrij gevoelig voor stress en ook voor invriezen (NZFS, 2017; US FDA, 2022). Onbekend is wat het effect van invriezen op pathogenen op zeewier is (Cressey et al., 2023). Het invriezen van zeewier (*S. latissima*; individueel, snel invriezen: 30 min bij -42 °C, daarna bij -20 °C bewaren) liet een onduidelijk beeld zien wat betreft effect op het aeroob kiemgetal. Na 11 dagen bewaren werden geen kiemen teruggevonden (4,2 log kve/g reductie), terwijl na 457 dagen wel aerobe kiemen werden aangetroffen, zij het circa 1,5 log kve/g minder dan voor het invriezen (Stévant et al., 2024). Onduidelijk is wat hier de oorzaak van is.

Koeling (<7 °C) remt of voorkomt uitgroei en/of toxinevorming van *B. cereus*, *C. perfringens* en *S. aureus* in het eindproduct. Dit geldt ook voor de uitgroei van de meeste overige pathogenen. Het voorkómen van uitgroei is met name essentieel voor pathogenen waarbij inname van een lage hoeveelheid cellen een gerede kans op infectie geeft (*C. jejuni*, STEC, *Salmonella*). Maar ook om pathogenen die kunnen uitgroeien bij lage temperatuur (<7 °C), zoals *L. monocytogenes* en *C. botulinum*, te beheersen. *Vibrio* spp. zijn vrij gevoelig voor gekoelde opslag (0-5 °C) en kunnen afsterven (*V. parahaemolyticus*), maar ook in een viable but non-culturable (VBNC) staat verkeren (NZFS, 2017).

Onderzoek naar (gekoelde) opslag van vers zeewier (knotswier (*Ascophyllum nodosum*) en suikerwier (*Saccharina latissima*)) laat zien dat diverse (pathogene) bacteriën (*L. monocytogenes*, *V. parahaemolyticus*, *V. vulnificus*, *Salmonella, S. aureus* en *E. coli*) gedurende 2 dagen stabiel blijven dan wel een (kleine) afname laten zien bij 4 °C en 10 °C. De grootste afname (ruim 1 log kve/g) werd gezien voor *V. vulnificus* bij 4 °C (Vorse et al., 2023). Geen van de pathogenen groeide gedurende de 2-daagse bewaarperiode bij 20 °C uit op knotswier, terwijl op suikerwier een toename werd gezien van *Salmonella*, *V. parahaemolyticus* en *E. coli* en opvallend genoeg een afname van *L. monocytogenes*. Ander onderzoek met suikerwier liet juist een afname zien van *Salmonella*, *L. monocytogenes*, STEC en *Vibrio* spp. tijdens bewaren bij 22 °C (8 uur) van heel en gesneden suikerwier (0,7-3 log kve/g reductie) (Akomea-Frempong et al., 2023). Ook bij 4°C en 10 °C nam de concentratie van deze pathogenen af gedurende de opslag (7 dagen). *Salmonella* en STEC bleken het meest robuust (3-3,6 log kve/g reductie), terwijl voor *Vibrio* spp. (*V. parahaemolyticus* en *V. vulnificus*) de grootste reductie werd waargenomen (bij 4 °C was dat ruim 5 log kve/g). Mogelijk zou het hier ook om VBNC cellen kunnen gaan, zodat het niet om een echte

reductie van het risico gaat. Onderzoek naar *B. cereus* liet zien dat deze pathogeen niet kon uitgroeien op gerehydrateerd zeewier (*Palmaria palmata*, *Undaria pinnatifida*) dat bij koelkasttemperatuur werd bewaard (4 dagen) (Martelli et al., 2021). Lytou et al. (2021) zagen in hun onderzoek een toename van het kiemgetal op *Alaria esculenta* bij 5 °C van rond de 4 log kve/g in 4 dagen en bij 10 °C van rond de 6 log kve/g.

Verpakken onder beschermende atmosfeer

In onderzoek van Moreira-Leite et al. (2023) werd gekeken naar het effect van MAP en vacuüm verpakken op de microbiologische kwaliteit van zeewier (*Porphyra umbilicalis*, *Ulva lactuca*) tijdens gekoelde opslag (6 °C). Verpakken onder MAP en vacuüm voorkwam uitgroei van bacteriën (mariene kiemgetal) op *Porphyra umbilicalis* en resulteerde vanaf 6 dagen in een afname (>0,5 log kve/g reductie), tot zelfs onder de detectielimiet op dag 15 (>4 log KVE/g reductie). Het verpakken had geen effect op het kiemgetal (mariene bacteriën) op *Ulva lactuca*, dit bleef stabiel (verpakt, onverpakt).

Verhitten

Er worden verschillende verhittingsprocessen toepast bij de productie van bewerkt en verwerkt zeewier, zoals blancheren, koken, roosteren, frituren en braden. Deze processen inactiveren in meer of mindere mate de aanwezige micro-organismen op het zeewier. Blancheren is een vrij milde hitte behandeling (korte tijd in heet water) en lijkt vaak te worden toegepast (verlengt de kwaliteit en houdbaarheid), onder andere bij de productie van zeewier/wakamesalade (Banach et al., 2022; Cressey et al., 2023). Er is niet veel bekend over in hoeverre de toegepaste verhittingsprocessen effect hebben op de reductie van pathogene micro-organismen en welke producten (standaard) een verhittingsstap ondergaan (Cressey et al., 2023).

Onderzoek laat zien dat blancheren van zeewier mogelijk niet erg effectief is. Een behandeling van 2 minuten in water van 60 °C resulteerde in circa 1 log kve/g reductie van het aeroob kiemgetal op *S. latissima* (Stévant et al., 2024), Uit het onderzoek van Zhu et al. (2022) naar het effect van onder andere blancheren (70 °C, 5 min) van zeewier (*Alaria esculenta, Ascophyllum nodosum*) kan geen uitspraak worden gedaan over het absolute effect (aantal log-reducties) van de behandeling. Wel blijkt blancheren in een grotere reductie van het aeroob kiemgetal te resulteren dan zouten (1% w/w) en HPP (500 MPa, 3 min).

In onderzoek van Wirenfeldt et al. (2022) werd *S. latissima* geblancheerd in drinkwater (2 min, 76 °C) of zeewater (2 min, 80 °C). Dit resulteerde in een reductie van 3-3,5 log kve/g van het aeroob kiemgetal (op Mariene Agar, 7 dagen bij 15 °C). In ander onderzoek resulteerde een blancheerstap (1-3 minuten bij 100 °C) resulteerde hooguit in een reductie van het aeroob kiemgetal van 0,5 log kve/g (Cressey et al., 2023). In onderzoek van Banach et al. (2024) werd na blancheren (geen tijd-temperatuur aangegeven) vaker *B. cereus* (1/5 versus 0/5 monsters) en *Vibrio alginolyticus* (2/5 versus 5/5 monsters) aangetroffen. Dit laatste duidt mogelijk op nabesmetting.

Verhitting van zeewier (diverse soorten verkrijgbaar in Ierland, verhitting in een autoclaaf (stoom)) bij 85 °C gedurende 15 minuten resulteerde in activatie en ontkieming van bacteriële sporen, verhoging van de temperatuur tot 95 °C zorgde voor een complete inactivatie van de aanwezige bacteriën (Gupta et al., 2010). Opvallend was dat in het onderzoek van Gupta et al. (2010) geen bacteriën (aeroob kiemgetal, halofiel en extreem halofiel kiemgetal) werden aangetroffen op rauw zeewier (bruinwieren: *Himanthalia elongata, Laminaria sachharina* en *Laminaria digitata*). Ook in het beperkte microbiologisch onderzoek van Banach et al. (2024) werd na blancheren vaker (1/5 versus 0/5 monsters) *B. cereus* aangetroffen. In ander onderzoek bleek stomen van vers zeewier (15 minuten bij 95 °C; *S. latissima*) maar beperkt effect te hebben op het aeroob kiemgetal (1,5 log kve/g reductie (Stévant et al., 2024).

Vers zeewier heeft de eigenschap te kunnen gaan klonteren tijdens het verhitten, waardoor de effectiviteit van de hittebehandeling nadelig kan worden beïnvloed. Deze eigenschap verschilt per zeewier soort (Løvdal et al., 2021).

Ook gedroogd wier kan nog worden verhit, bijvoorbeeld door te roosteren. Het toepassen van een tweede roosteringsstap (260-400 °C, 2-10 s) op gedroogde nori blijkt vrij effectief in het verlagen van de microbiële besmetting (tot bijna 5 log kve/g reductie totaal kiemgetal) (Choi et al., 2014).

Inzouten

Zeewier wordt al van oudsher ingezouten om de houdbaarheid te verlengen. Het kan daarbij gaan om zeer hoge hoeveelheden zout (40% op gewichtsbasis). De toevoeging van zout zorgt voor een verlaging van de Aw, waardoor groei van micro-organismen wordt beperkt of voorkomen. Bij inzouten met 30% zout kan zeewier (kelp) zonder koeling (25 °C) 30 dagen worden bewaard zonder kwaliteitsverlies (Løvdal et al., 2021). Inzouten kan voor een reductie in micro-organismen zorgen, maar het is onduidelijk of daarmee een voldoende mate van reductie van pathogenen wordt bereikt om de veiligheid van het product te kunnen garanderen (Cressey et al., 2023). Kwantitatieve gegevens hierover werden gepubliceerd in onderzoek van Stévant et al. (2024). In dat onderzoek werd zouten van zeewier als processtap toegepast. Zeewier werd 1 uur gezouten (2:3 gewichtsverhouding zout:zeewier) wat resulteerde in circa 2 log kve/g reductie van het aeroob kiemgetal. Deze behandeling was effectiever dan blancheren (2 min, 60 °C) en stomen (15 min, 95 °C).

Zhu et al. (2022) onderzochten het effect van droogzouten (1% op gewichtsbasis) van zeewier (*Alaria esculenta, Ascophyllum nodosum*) op het aeroob kiemgetal. Droogzouten heeft effect op het aeroob kiemgetal en op de toename hiervan tijdens gekoelde opslag (4 °C). Onduidelijk is de grootte van het effect (beginconcentratie ontbreekt). Duidelijk is wel dat zouten het kiemgetal reduceert gedurende de eerste dagen (3 dagen) van gekoelde opslag, daarna neemt het kiemgetal toe. Dit verschilt per zeewier, op *Ascophyllum nodosum* is het niveau na 7 dagen opslag 6 log kve/g, terwijl op *Alaria esculenta* na 14 dagen nog steeds <4 log kve/g aanwezig is (Zhu et al., 2022).

Fermenteren

Fermenteren van zeewier zou het risico van pathogenen kunnen verlagen, door de lage zuurgraad van het eindproduct (Hogstad et al., 2023). Fermentatie (door melkzuurbacteriën) van zeewier is echter een vrij recente toepassing, waarschijnlijk vanwege het feit dat op en in zeewier van nature geen melkzuurbacteriën en simpele (fermenteerbare suikers) voorkomen (Løvdal et al., 2021). Onderzoek van Banach et al. (2024) laat zien dat door fermenteren (geblancheerd zeewier) de frequentie waarin *V. alginolyticus* op zeewier werd aangetroffen werd verlaagd (van 5/5 monsters positief voor fermenteren naar 1/26 monsters positief na fermenteren). Het fermentatieproces had geen effect op *B. cereus* (voor en na fermentatie respectievelijk 1/5 en 2/26 monsters positief). In een ander onderzoek naar het fermenteren van zeewier werd zeewier voor fermentatie eerst verhit (100 °C, 3-5 minuten), wat resulteerde in een pathogeen-vrij product. Ook na fermentatie werden geen pathogenen (*B. cereus*, *C. perfringens*, pathogene stafylokokken, coagulase-positieve stafylokokken, *Vibrio* spp. en *Enterobacteriaceae*) aangetroffen (Maiorano et al., 2022).

Hogedruk (HPP)

Een andere techniek om zeewier mogelijk te conserveren is hoge druk (HPP, *high-pressure processing*). Onderzoek uitgevoerd door Jönsson et al. (2023) naar het effect van HPP op de microbiologische kwaliteit van zeewier liet zien dat HPP (180 sec bij 200 MPa, 400 MPa of 600 MPa) veel effect heeft op de textuur en structuur van zeewier. Het bleek niet mogelijk een effect te waar te nemen van de HPP-behandelingen op de microbiologische kwaliteit van zeewier, omdat de initiële besmetting te laag was. In onderzoek van Zhu et al. (2022) werd bruinwier (*Alaria esculenta*, *Ascophyllum nodosum*; Ierland) behandeld met hoge druk (500 MPa, 3 min). Na 30 dagen bewaren bij 4 °C had het product nog steeds een acceptabel niveau wat betreft aeroob kiemgetal (circa 3 log kve/g).

4.6.2.4 Risicokarakterisatie

Zeewier kent een lange traditie als levensmiddel in landen in Azië, zoals China, Japan en Zuid-Korea. In Europa – maar ook de VS en Canada – staat de consumptie en teelt van zeewier pas veel recenter in de belangstelling, en daarmee ook het onderzoek naar de voedselveiligheid ervan. Gegevens over het voorkomen van de meeste voedselgerelateerde pathogenen ontbreken nagenoeg. Datzelfde geldt voor gegevens over het effect van de verschillende bewerkings- en verwerkingsstappen die zeewier ondergaat op de microbiologische voedselveiligheid en voor houdbaarheidsstudies. De risicokarakterisatie kent daardoor een grote onzekerheid. Om het risico toch te kunnen duiden, is een vergelijking gemaakt met visserijproducten, omdat deze uit hetzelfde milieu worden geoogst.

Voor vis, schaal- en schelpdieren geldt dat de microbiële besmetting wordt beïnvloed door het type product (in dit geval de soort zeewier), het aquatisch milieu waarin het product wordt geteeld dan wel groeit, het seizoen waarin het groeit en wordt geoogst en de manier waarop het wordt geoogst, bereid en gegeten (Reilly & Kaferstein, 1999; Iwamoto et al., 2010). Deze factoren komen ook naar voren als zijnde van belang voor zeewier op basis van de voor deze risicobeoordeling geselecteerde publicaties, zoals onder andere door de FAO en WHO (2022).

Net als voor vis, zullen er nog andere factoren zijn die van invloed zijn op de microbiota van zeewier. Voor vis is één van de belangrijke factoren of het wildvangst of aquacultuur betreft (Reilly & Kaferstein, 1999). Voor zeewier is de mogelijke parallel hierin de groei in de natuur (wildoogst en teelt in open water) versus teelt in zoutwaterbassins op land. Cavallo et al. (2021) noemen in hun review over de voedselveiligheid van zeewier echter specifiek open bassins als risico van introductie van pathogenen afkomstig van onder andere ongedierte en vogels, terwijl Winkel (2022) aangeeft dat bij teelt van zeewier in tanks op het land omstandigheden gecontroleerd kunnen worden en daarmee het risico van veel gevaren (onder andere *Vibrio* spp. en *C. botulinum*) wordt beheerst.

Andere factoren die voor vis een belangrijke rol spelen wat betreft het vóórkomen van pathogenen zijn de watertemperatuur, het zoutgehalte van het water, de nabijheid van de mens tot het oogstgebied en de regio waar de vis vandaan komt (Reilly & Kaferstein, 1999). In het algemeen geldt dat vis, schaal- en schelpdieren afkomstig uit koudere wateren lagere hoeveelheden pathogene bacteriën bevatten dan vis, schaal- en schelpdieren afkomstig uit warmere wateren (Hastein et al., 2006; Iwamoto et al., 2010). Al deze factoren lijken ook van toepassing te zijn voor zeewier.

De pathogene micro-organismen die met name op zeewier worden aangetroffen, zijn afkomstig uit het aquatisch milieu: *B. cereus* en *Vibrio* spp. (30-40% positief). Het lijkt daarom aannemelijk dat andere milieugerelateerde pathogenen zoals *C. perfringens* en *C. botulinum* ook op zeewier zullen worden aangetroffen.

Indicatororganismen van blootstelling aan fecale besmetting (enterococcen, coliformen) worden geregeld op zeewier aangetroffen. Ook pathogenen die afkomstig zijn van mens en/of dier, zoals *Salmonella*, STEC, norovirus en – ook vanuit de procesomgeving - *L. monocytogenes* zijn aangetoond op zeewier. Deze pathogenen kunnen dus op zeewier terecht komen vanuit het water, waarbij nabijheid van menselijke activiteit de belangrijkste oorzaak is. Met name nabijheid van rioolwaterlozing is een risicofactor.

Er zijn geen onderzoeken gevonden met gegevens over voedseloverdraagbare parasieten op zeewier. Over virussen is slechts één publicatie beschikbaar met zeer beperkt onderzoek naar virussen (norovirus) en daarnaast publicaties over een aantal norovirusuitbraken. Hieruit blijkt dat norovirus en *T. gondii* op zeewier voor kunnen komen. Wel is bekend dat *Giardia* en *Cryptosporidium* in (zee)water voorkomen en via blootstelling aan water ziektegevallen veroorzaken. HAV is niet endemisch in Nederland en voor rotavirus speelt voedsel geen belangrijke rol in de overdacht, waardoor de rol van zeewier uit Nederland in de blootstelling aan deze virussen niet van belang is. Ook het aandeel van zeewier in de blootstelling aan HEV wordt door BuRO ingeschat als zeer klein, omdat zelfs schelpdieren die virussen ophopen (oesters, mosselen) geen relevante blootstelling geven aan HEV. Voor zeewier geteeld in Nederland is alleen NoV mogelijk relevant, omdat bekend is dat dit virus wordt aangetroffen in schelpdieren afkomstig uit Nederlandse kweekgebieden.

Zeewier kan rauw worden gegeten, maar ondergaat meestal enige vorm van bewerking of verwerking voor het als levensmiddel in de handel wordt gebracht, zoals spoelen, verhitten (onder andere blancheren), drogen of zouten al dan niet in combinatie met gekoelde opslag (koelkast). Deze stappen kunnen een kiemreducerend effect hebben, waarbij de mate van reductie afhangt van het proces, het soort zeewier en de pathogeen. Onduidelijk is of deze stappen een adequate kiemreductie geven voor eventueel aanwezige pathogene micro-organismen.

Data van de NVWA laten zien dat op vers zeekraal (onbewerkte groente) uit de retail/groothandel wel *Vibrio* spp. wordt aangetroffen (3%), maar dat deze pathogeen op zeewier niet werd aangetoond. Het zeewier was grotendeels (95%) wakame/salade. Dit is een verwerkt product, dat vaak eerst wordt bevroren en daarna ontdooit wordt verkocht en onder andere conserveermiddel en zout kan bevatten. Dit heeft zeer waarschijnlijk effect op de overleving van eventueel op het

rauwe wier aanwezige *Vibrio*. Daarnaast komen de producten van verschillende locaties, zodat het maken van een vergelijking niet mogelijk is. Wel is duidelijk dat op plantaardige producten die in (de nabijheid van) zee worden gekweekt *Vibrio* spp. kan worden aangetroffen.

Vers zeewier (niet gedroogd of gezouten) heeft een korte houdbaarheid en dient gekoeld te worden bewaard. De zeer beperkt beschikbare gegevens naar het overleven / uitgroeien van pathogenen op zeewier laten zien dat diverse pathogenen mogelijk afsterven gedurende gekoelde opslag van zeewier. Op basis van deze gegevens is niet te duiden of pathogenen – en dan met name *L. monocytogenes* - op vers zeewier kunnen uitgroeien binnen de houdbaarheidstermijn.

Uitbraken veroorzaakt door de consumptie van zeewier worden niet vaak beschreven en lijken voornamelijk te worden veroorzaakt door micro-organismen die afkomstig zijn van mens en/of dier. De bron van besmetting is hierbij vaak besmet zeewater of een besmette voedselbereider. De voedselveiligheid van zeewier zelf (product specifiek risico) lijkt daarmee sterk geassocieerd met de kwaliteit van het water waarin het wordt geteeld.

Vibrio spp., *B. cereus*, *C. perfringens* en waarschijnlijk *C. botulinum* komen van nature voor op zeewier. Het risico van *B. cereus* en *C. perfringens* is met name geassocieerd met verhitte producten die niet adequaat zijn afgekoeld. Beheersing van het risico ligt daarom bij de voedselbereider. *C. botulinum* wordt beoordeeld als relevant gevaar voor zeewier, omdat het aannemelijk is dat het van nature op zeewier voorkomt en er bewaaromstandigheden zijn die mogelijk gunstig zijn voor groei van *C. botulinum* (onder andere MAP verpakking).

Vibrio spp. komen van nature voor op zeewier door besmetting vanuit het milieu (water). Ook in de Nederlandse wateren komen *Vibrio* spp. voor. In de zomer kan de concentratie *Vibrio* spp. in Nederlandse wateren oplopen tot 10^1-10^3 MPN/ml. De kans op infectie door *Vibrio* spp. is pas redelijk aannemelijk bij inname van een hogere concentratie cellen en dit verschilt per *Vibrio*-soort (10^3-10^6 kve/g). Zo ligt voor *V. parahaemolyticus* de ID50 (de dosis waarbij 50% van de blootgestelden ziek zal worden) op 10^8 kve/consumptie (US FDA, 2005). En hoewel deze dosis voor *V. vulnificus* voor gezonde mensen niet bekend is, is de aanname dat minder dan 100 cellen ziekte (bloedvergiftiging) veroorzaken bij vatbare mensen (verzwakt immuunsysteem, leveraandoeningen) (ESR (MPI), 2001). Niet alle isolaten van een pathogene *Vibrio*-soort bevatten echter virulentiegenen. Onderzoek laat zien dat in Europa zelden virulente stammen worden aangetroffen (0-2%). Dit kan veranderen als de gemiddelde watertemperatuur stijgt (klimaatverandering). Vibriose-uitbraken komen vooralsnog niet veel voor in Europa en visserijproducten zijn de belangrijkste bron. Het lijkt daarom dat de consumptie van in Nederland geteeld zeewier momenteel niet tot een hoge mate van blootstelling aan ziekmakende hoeveelheden *Vibrio* spp. leidt.

Er is op basis van beschikbare gegevens geen goede schatting te geven van het vóórkomen van pathogene micro-organismen op zeewier. De risicokarakterisatie kent daardoor een grote mate van onzekerheid. Er is daarom gekozen om het risico van zeewierconsumptie te vergelijken met een productgroep met een bekend risico. Voor de risicoschatting is daarom ter indicatie een vergelijking gemaakt met het risico van de consumptie van vis, schaal- en schelpdieren dat eerder door BuRO is beoordeeld (BuRO, 2022). Producten uit vis, schaal- en schelpdierenketen komen immers uit het zelfde milieu (zeewater) en kennen deels dezelfde gevaren. Voor de situatie in Nederland is door BuRO beoordeeld dat de kans voor het oplopen van een *Vibrio*-infectie (symptomatisch) door consumptie van visserijproducten (met name schelpdieren) momenteel laag is. Voor een infectie met *Salmonella* en STEC is die kans beoordeeld als respectievelijk laag en zeer laag. Virussen zijn spelen vooral een rol bij schelpdieren. Virussen die betrokken zijn bij schelpdier-gerelateerde uitbraken zijn met name NoV, maar ook HAV. HEV speelt geen rol. Het risico van de protozoaire parasieten *Cryptosporidium* spp., *Giardia* spp. en *T. gondii* via consumptie van visserijproducten wordt ingeschat als beperkt. Hoewel hierbij geen inschatting van de kans op infectie werd gegeven (BuRO, 2022), wordt deze op basis van de beschikbare gegevens ingeschat als zeer laag. In vergelijking met visserijproducten lijkt zeewier – net als vis - geen micro-organismen te accumuleren, zoals filtervoedende schelpdieren dat wel kunnen. Mogelijke uitzondering hierop zou *Vibrio* spp. kunnen zijn. Voor consumptie van zeewier wordt op basis van beschikbare gegevens beoordeeld dat de kans op het oplopen van een infectie door pathogene micro-organismen zeer waarschijnlijk lager zal zijn dan de kans op infectie door deze gevaren via consumptie van schelpdieren (oester, mosselen) en dat de kans waarschijnlijk te vergelijken is met het risico van

deze pathogenen via consumptie van rauwe vis. Daarmee zal de kans voor het oplopen van een infectie via consumptie van zeewier laag tot zeer laag zijn.

Op basis van de beschikbare gegevens lijken de eventueel op zeewier aanwezige microbiologische gevaren afkomstig uit het milieu (zeewater, bodemsediment) geen belangrijke bijdrage te leveren aan het risico voor de volksgezondheid (populatieniveau) en ook niet voor de consument (consumptieniveau). *C. botulinum* is echter wel een relevant gevaar.

Het voedselveiligheidsrisico van zeewier is vooral afkomstig van pathogenen die geassocieerd zijn met mens en/of dier. Beheersing van het risico ligt – naast het toepassen van de standaard hygiënemaatregelen tijdens het bereiden en bewaren van levensmiddelen – in het voorkómen dat het water waarin het zeewier wordt geteeld gecontamineerd wordt/kan worden met fecale verontreiniging (rioolwater, 'run off' van landbouwgrond, recreatie).

4.6.2.5 Conclusie microbiologische risico's

Op zeewier komt een grote verscheidenheid aan micro-organismen voor. Zeewier kan met pathogene micro-organismen besmet raken tijdens de teelt, de oogst of verdere bewerking en verwerking. Deze laatste besmettingsroute is niet specifiek voor zeewier en is om die reden niet meegenomen in deze risicobeoordeling. Besmetting tijdens de oogst kan optreden door handcontact (*Staphylococcus* spp.) of een zieke werknemer en is beoordeeld als geen belangrijke bron van besmetting. Tijdens de teeltfase kan besmetting plaatsvinden met pathogenen die van nature voorkomen in zeewater of de zeebodem (met name *Vibrio* spp, *B. cereus* en zeer waarschijnlijk *C. botulinum*) of met pathogenen die afkomstig zijn van mens en/of dier (met name *Salmonella*, STEC, *L. monocytogenes* en norovirus). De belangrijkste introductieroute van deze laatste groep micro-organismen is de nabijheid van een rioolwaterlozingspunt of -overstort bij het teelt- of oogstgebied. Data over het voorkomen van parasieten en andere virussen dan norovirus ontbreken grotendeels, maar zeewier lijkt geen rol te spelen in de blootstelling van de mens aan deze gevaren (uitgezonderd norovirus). Zeewier kan verschillende bewerkings- en verwerkingsstappen ondergaan (onder andere wassen, blancheren, drogen, zouten, fermenteren), maar veel is nog onduidelijk over wat het kiemreducerende effect van deze behandelingen is, ook voor de verschillende zeewiersoorten. Hoewel zeewier in andere landen met regelmaat wordt geconsumeerd (met name Azië), zijn uitbraken nauwelijks in de literatuur beschreven. In voorkomende gevallen betreft het vooral besmetting door pathogenen afkomstig van mens en/of dier. Het zijn dan ook deze pathogenen (onder andere *Salmonella*, STEC, norovirus) aangevuld met *C. botulinum* die als relevant gevaar voor zeewier moeten worden beschouwd.

4.7 Fysische risico's voedselveiligheid

4.7.1 Aanpak en afbakening fysische risicobeoordeling

Om tot een beoordeling te komen van de fysische risico's ten aanzien van de voedselveiligheid van zeewier zijn de vier stappen van de risicobeoordeling gevolgd:

1. Gevareninventarisatie: inventarisatie van vreemde voorwerpen en micro- en nanoplastics die in zeewier en zeewierproducten terecht zouden kunnen komen.
2. Gevarenkarakterisatie: de effecten die de vreemde voorwerpen en micro- en nanoplastics in de zeewierketen kunnen hebben op de mens.
3. Blootstellingsschatting: hoe vaak kunnen vreemde voorwerpen en micro- en nanoplastics in zeewier en zeewierproducten terecht komen
4. Risicokarakterisatie: inschatting van het risico voor de volksgezondheid in Nederland dat wordt veroorzaakt door consumptie van zeewier(producten) die vreemde voorwerpen en micro- en nanoplastics bevatten (conclusie van de risicobeoordeling).

Deze risicobeoordeling is gebaseerd op informatie uit de literatuur. Er zijn geen gegevens van fysische gevaren in Nederlands geteeld zeewier of in zeewierproducten uit Nederlandse supermarkten en groothandels.

Voor de beschrijving van fysische gevaren in de zeewierketen gerelateerd aan voedselveiligheid wordt in deze beoordeling gebruik gemaakt van een onderverdeling in twee categorieën: vreemde voorwerpen en micro- en nanoplastics. Het is mogelijk om andere fysische gevaren te formuleren die inherent zijn aan het product zelf of de (wijze van) bereiding. Deze worden hier niet meegenomen, aangezien dit in zijn algemeenheid hoort bij de gevaren van het consumeren van voedsel. Voedsel kan nu eenmaal een hoge temperatuur hebben of een vorm of consistentie bezitten die bij inname gevaar voor verstikking of verwonding oplevert.

Ook zijn de gevaren gepaard aan het werk in de zeewierketen, zoals snijletsel, buiten beschouwing gelaten, evenals de gevaren voor de consument bij de bereiding.

4.7.2 Risicobeoordeling fysische gevaren

Gewoonlijk worden binnen de voedselketen vanuit het oogpunt van de gevarenanalyse (Hazard Analysis and Critical Control Points, HACCP) alle zichtbare verontreinigingen, levend dan wel niet levend, aangemerkt als fysisch gevaar. De grootte van een vreemd voorwerp is voor deze definitie van groter belang dan de eigenschappen (Batt, 2016). Als praktische grens voor de grootte van een vreemd voorwerp in voedsel dat gezondheidsschade kan aanrichten wordt in de literatuur regelmatig een door Health Canada voorgestelde waarde vanaf 2 millimeter aangehaald, met de aantekening dat dit voor zuigelingen ook kleiner kan zijn (Health Canada, 1990). Het is mogelijk dat vreemde voorwerpen geen kans op fysiek letsel opleveren, maar wel op schade door andere gevaren van microbiologische of chemische aard (bijvoorbeeld insecten of uitwerpselen).

Micro- en nanoplastics worden wanneer het gaat om de zeewierketen in de literatuur tot de fysische gevaren gerekend (Banach et al., 2020b; FSAI Sci. Com., 2020; FAO & WHO, 2022). Daarom worden ze, net als in de risicobeoordeling van de visketen (BuRO, 2022), bij de fysische gevaren behandeld, hoewel deze deeltjes ook vermeende chemische en microbiologische gevaren kennen. Er wordt gesproken over microplastics bij een deeltjesgrootte van 5 mm tot 0,1 µm, van nanoplastics bij deeltjes kleiner dan 0,1 µm (EFSA CONTAM Panel, 2016; Garrido Gamarro & Costanzo, 2022). Daarmee overlappen de definities ten aanzien van de grootte van microplastics en vreemde voorwerpen van plastic elkaar deels. Wat betreft effecten van plastics met een grootte tussen de 2 en 5 mm worden ze tot de categorie vreemde voorwerpen gerekend.

4.7.2.1 Gevareninventarisatie

Bij de inventarisatie van mogelijke gevaren die voor kunnen komen in de zeewierketen is nagegaan welke processen en handelingen er in de keten plaatsvinden en welke vreemde voorwerpen daarbij geïntroduceerd kunnen worden. Daarnaast is gekeken naar de introductie van micro- en nanoplastics.

RASFF

Van de 275 meldingen over zeewier in RASFF waren twee meldingen over vreemde voorwerpen (Tabel 4). Beide meldingen geven aan dat er delen van schelpen waren aangetroffen in zeewier en zijn aan elkaar gerelateerd.

Een zoekactie in de gegevens van de Recalls, Market Withdrawals, & Safety Alerts van de FDA (Food and Drug Administration, US) heeft geen meldingen van zeewier(producten) met fysische gevaren opgeleverd.

Teelt, oogst, transport en opslag

Er zijn verschillende fysische gevaren aangetoond in de zeewierketen of worden daarmee in verband gebracht (EFSA CONTAM Panel, 2016; Cavallo et al., 2021; FAO & WHO, 2022). Na de oogst van zeewier kunnen er fysische gevaren in het zeewier achterblijven. Hierbij kan het gaan om onzuiverheden zoals zand en kleine steentjes, maar ook om plastic- en metaaldeeltjes uit de omgeving waar het zeewier geteeld is. Daarnaast kunnen er stukjes schelp- en schaaldieren worden meegevoerd. Verder zijn er zeediertjes die zich vast kunnen hechten aan het oppervlak van vooral ouder zeewier, zoals rangpootkreeften (waaronder zeepokken) (Hogstad et al., 2023). De lijnen waaraan het zeewier groeit zijn vaak gemaakt van polymeren zoals polypropyleen. Wanneer het zeewier, bij de oogst, van de knopen op de lijnen geknipt wordt, kunnen vezels van deze lijnen in de geoogste batch belanden (Banach et al., 2022).

In zee is plastic wijdverspreid aanwezig. Deze plasticdeeltjes kunnen verschillende type en vormen hebben en worden onderverdeeld in primaire deeltjes (als zodanig gefabriceerd) en secundaire (ontstaan door afbraak van grotere voorwerpen) micro- en nanoplastics (EFSA CONTAM Panel, 2016). Micro- en nanoplastics worden ook toegevoegd aan persoonlijke verzorgingsproducten zoals shampoo, cosmetica en komen voor in kleding en verpakkingsmaterialen (KWR, 2021). Vervolgens komen ze via afvalwater in het aquatisch milieu. Ook antifouling (aangroeiwerende) materialen op schepen lijkt een belangrijke bron voor micro- en nanoplastics in het aquatisch milieu (Dibke et al., 2021). Tenslotte worden ze toegevoegd aan bemestingsproducten (Bool, 2021) en kunnen uitspoelen naar het oppervlaktewater. Micro- en nanoplastics hechten zich gemakkelijk aan zeewier (EFSA CONTAM Panel, 2016; Xiao et al., 2024) en kunnen geïntroduceerd worden tijdens de kweek (hatchery) en de teelt (cultivation). Nabehandeling na de oogst kan microplastics verwijderen. Microplastics die aan zeewier hechten kunnen ervoor zorgen dat chemische of microbiologische verontreinigingen worden meegevoerd (FAO & WHO, 2022). Daarnaast is het mogelijk dat micro- en nanoplastics ingesloten worden in het zeewier tijdens de groei. Hierover is geen specifieke literatuur beschikbaar, maar het is wel aangetoond in andere voedselgewassen (WHO, 2022). Nabehandeling zal deze plastics niet verwijderen.

Er zijn geen gegevens beschikbaar over introductie van fysische gevaren die tijdens transport en opslag van zeewier worden geïntroduceerd. De vreemde voorwerpen en micro- en nanoplastics die bij de oogst zijn meegekomen worden ook in deze fase meegevoerd. Op basis van gegevens uit andere voedselketens (bijvoorbeeld (BuRO, 2022)) is niet uitgesloten dat vreemde voorwerpen in het zeewier terechtkomen in deze fase, bijvoorbeeld door niet goed schoongemaakte opslagvoorzieningen. Afhankelijk van de omstandigheden is het mogelijk dat micro- en nanoplastics worden geïntroduceerd.

Bewerking, verwerking en verpakking

Tijdens de bewerking en verwerking zeewier kunnen op een aantal wijzen vreemde voorwerpen geïntroduceerd worden. Hierbij gaat het om glas, plastic van verpakkingsmateriaal en metaaldeeltjes afkomstig van snijgereedschap voor het snijden van het zeewier (Banach et al., 2020a; Concepcion, 2020). Verder kunnen voorwerpen afkomstig van de verwerker bij het product komen (pleisters, deel mondkapje, veiligheidsbril). Hiervoor zijn geen voorvallen in de zeewierketen gevonden, maar dit is wel beschreven voor andere domeinen in de voedselindustrie, zoals de vleesindustrie (Christensen & Larsen, 2014). Een ander aspect in deze fase is de introductie van insecten en (delen en voortbrengselen van) ongedierte als vreemd voorwerp. Dit is voor voedingsmiddelen in zijn algemeenheid beschreven. Zo kunnen wanneer de hygiëne niet gewaarborgd is tussen oogst en consumptie insecten zich op het zeewier vestigen, of ongedierte bij het zeewier komen (Edwards, 2014).

Het risico van de fysische gevaren (vreemde voorwerpen) wordt aanzienlijk verkleind door voldoende spoelen van het zeewier, maar het verwijderen van de zeepokken zal veelal mechanisch moeten gebeuren (Hogstad et al., 2023).

Het vrijkomen van microplastics uit voedselcontactmaterialen kan daarnaast ook bijdragen aan het voorkomen van micro- en nanoplastics in levensmiddelen (Garrido Gamarro & Costanzo, 2022).

Dat vreemde voorwerpen in zeewierproducten ook daadwerkelijk voorkomen blijkt onder andere uit de studie van Fillipini (2020) die onderzoek heeft gedaan aan 72 monsters van zeewierproducten, gekocht in Italië. Doel van de studie was het analyseren van het gehalte zware metalen, jodium en arseen. Bij het bestuderen van de monsters zijn verontreinigingen gevonden, kleine schaaldieren en (schelpen van) schelpdieren (Filippini et al., 2021). Bij een ander Italiaans onderzoek, gericht op geïmporteerde producten uit zee, is in een zeewiermonster een glasscherf aangetroffen (Panebianco et al., 2019).

4.7.2.2 Gevarenkarakterisatie

De gevarenkarakterisatie bestaat uit de effecten die de vreemde voorwerpen in de zeewierketen kunnen hebben op de mens, zoals verstikking, snijwonden en ander fysiek letsel. Er zijn geen gezondheidskundige grenswaarden met betrekking tot fysische gevaren. Er zijn ook geen goed beschreven meldingen van ziekte of overlijden als gevolg van deze gevaren in de literatuur. De zeldzame meldingen van morbiditeit en mortaliteit zijn gerelateerd aan microbiologische en/of chemische gevaren (Cheney, 2016).

Vreemde voorwerpen

De harde objecten onder de vreemde voorwerpen zoals metaal, hard plastic en glas kunnen letsel zoals snijwonden aan lippen en in de mondholte, gebroken tanden, verstikking (blokkade luchtwegen) en perforatie van slokdarm of luchtwegen veroorzaken (Edwards, 2014). Blokkade van de luchtwegen kan ook bij zachtere objecten een rol spelen, evenals blokkade van de slokdarm. Dit laatste wordt veelal niet door vreemde voorwerpen maar door het voedsel zelf veroorzaakt (Ambe et al., 2012). Voor zeewier (kombu) is een casus beschreven voor een geblokkeerde slokdarm bij een kwetsbaar persoon (Kusaba et al., 2019). Een systematische review van de literatuur over vreemde voorwerpen in de slokdarm van volwassenen levert meer dan 10.000 gevallen (Aiolfi et al., 2018). Bot(fragmenten) worden het meest beschreven als oorzaak van het probleem, en dan vooral visgraten en kippenbotjes. Het grootste deel van de voorwerpen kon endoscopisch verwijderd worden, in 3,4% van de gevallen was een operatie noodzakelijk. In zeldzame gevallen kan de slokdarm geperforeerd worden, met schade aan vitale organen als hart of bloedvaten (aorta) als gevolg (Ugenti et al., 2015; El-Matbouly et al., 2021). Een ander onderzoek beschrijft een aantal casussen waarbij scherpe vreemde voorwerpen letsel verder in het spijsverteringskanaal letsel hebben veroorzaakt, maar ook dit is zeldzaam (Emir et al., 2013). Op de zeewiercasus van Kusaba na beschrijft geen van de hier aangehaalde bronnen een direct verband met zeewier(producten).

Micro- en nanoplastics

Er is nog veel onduidelijk over de mogelijke gezondheidseffecten (gevaren) van micro- en nanoplastics (Garrido Gamarro & Costanzo, 2022; WHO, 2022). Micro- en nanoplastics vormen bovendien een complexe en diverse groep deeltjes met verschillende eigenschappen die van invloed kunnen zijn. Er kan onderscheid worden gemaakt tussen fysische, chemische en microbiologische effecten van micro- en nanoplastics. Factoren die bij de effecten een rol kunnen spelen zijn onder andere de deeltjesgrootte, de vorm, het type materiaal (en de stoffen die daaruit kunnen migreren), toegepaste additieven en fysisch-chemische eigenschappen van het oppervlak van het deeltje (dichtheid, hydrofobiciteit, lading en functionele groepen). Daarnaast kunnen de gevaareigenschappen veranderen door milieu-invloeden, bijvoorbeeld doordat het materiaal verweert, stoffen aan het plastic adsorberen of doordat er zich een biofilm op het oppervlak van het deeltje vormt.

Aanvullende informatie is noodzakelijk voor de gevarenkarakterisatie, inclusief inzicht in de potentie om te functioneren als vector voor chemische contaminanten en pathogenen (Banach et al., 2020a). Gevolg van deze ontbrekende informatie is dat er momenteel geen wettelijke of gezondheidskundige grenswaarde voor deze deeltjes zijn (FSAI Sci. Com., 2020).

4.7.2.3 Blootstellingsschatting

Om een indruk te krijgen of en hoe vaak vreemde voorwerpen in zeewier en zeewierproducten terecht kunnen komen, zijn gegevens over het voorkomen van deze voorwerpen in zeewier gezocht. Hiervoor zijn databases met meldingen over vreemde voorwerpen in voedsel geraadpleegd, RASFF en de Recalls, Market Withdrawals, & Safety Alerts van de FDA. Daarnaast is gebruik gemaakt van relevante wetenschappelijke literatuur en verifieerbare meldingen via Google.

Bij micro- en nanoplastics is gebruik gemaakt van literatuur en rapportages over het voorkomen van deze deeltjes.

Vreemde voorwerpen

Gegevens over de blootstelling aan vreemde voorwerpen uit zeewier zijn nauwelijks beschikbaar. Zowel in RASFF als in de gegevens van de FDA komen vrijwel geen meldingen naar voren. Ook meldingen in wetenschappelijke literatuur en in mediaberichten over aangetroffen fysische verontreinigingen zijn beperkt. Op basis van de enkele meldingen is geen schatting van de blootstelling te maken.

Micro- en nanoplastics

In het licht van het effect van micro- en nanoplastics als mogelijke verontreiniging in zeewier is de zorg gericht op de enorme hoeveelheden plastic in de oceanen en de wijze waarop dit mariene voedselketens en volksgezondheid kan beïnvloeden. Onderzoek van Xiao geeft aan dat in Oost-Aziatische landen zeewier de belangrijkste bron van inname van micro- en nanoplastics door consumenten is (Xiao et al., 2024). Voor de Nederlandse situatie is dat beeld (nog) niet duidelijk.

Een grote beperking in de huidige blootstellingsgegevens is dat gegevens over het voorkomen van deeltjes kleiner dan 10 µm in voedingsmiddelen beperkt zijn, terwijl dit juist de deeltjes zijn die de darmwand van de mens kunnen passeren (WHO, 2022). Momenteel zijn de analytische methoden nog ontoereikend om de meer relevante nanoplastics in levensmiddelen te kunnen meten (WHO, 2022). Dat geldt ook voor zeewier. Op dit moment is er onvoldoende inzicht in de inname van micro- en nanoplastics via voedsel.

4.7.2.4 Risicokarakterisatie

Basis voor de risicobeoordeling van de fysische gevaren veroorzaakt door vreemde voorwerpen is dat er geen veilige grens is vastgesteld voor de blootstelling van consumenten aan vreemde voorwerpen in zeewier en zeewierproducten. Dit betekent in de praktijk dat de producten vrij moeten zijn van vreemde voorwerpen wanneer deze bij de consument komen. Het is echter niet zo dat een vreemd voorwerp in een levensmiddel direct een risico oplevert voor de consument. Bij verstikkingsgevaar is dit bijvoorbeeld gerelateerd aan de omvang van het voorwerp, bij snijgevaar aan de randen en punten van een voorwerp.

Vreemde voorwerpen

Aanwezigheid van fysische gevaren in de vorm van vreemde voorwerpen in zeewier en zeewierproducten komt voor en levert een risico. In de keten zijn beheersmaatregelen aanwezig om te voorkomen dat de consument aan fysische gevaren wordt blootgesteld. Meldingen over vreemde voorwerpen in de zeewierketen zijn beperkt. Echter, wanneer slechts gebruik gemaakt wordt van de traditionele detectiemethoden zoals metaaldetectie is het mogelijk dat vreemde voorwerpen bij de consument terechtkomen. Dit is met name het geval bij vers zeewier. Door het ontbreken van voldoende gegevens over de blootstelling is een risicobeoordeling niet mogelijk.

In de voedselproductie in zijn algemeenheid zijn vreemde voorwerpen de grootste bron van klachten van consumenten (Edwards & Stringer, 2007). Om te voorkomen dat deze vreemde voorwerpen bij de consument terechtkomen wordt gebruik gemaakt van detectie. Voorbeelden zijn metaaldetectie, röntgendetectie en infrarooddetectie, maar ook visuele inspectie wordt toegepast (Panebianco et al., 2019). De effectiviteit van deze detectiemethoden varieert al naar gelang dit bij het desbetreffende voedingsmiddel en de verwachte vreemde voorwerpen past. Daarnaast is de mate waarin in de bedrijfsvoering met onderhoud van de detectie en naleving van de voorschriften rekening wordt gehouden van belang, iets dat volgens Panebianco in de Aziatische voedingsmiddelenindustrie ondermaats kan zijn. Dit is wel gebaseerd op een beperkte steekproef (Panebianco et al., 2019).

Volgens Kwak et al. is het detecteren van vreemde voorwerpen in zeewier niet eenvoudig vanwege variatie in kleur en het oneffen, vettige oppervlak. Dit is de reden dat in de Koreaanse zeewierindustrie de effectiviteit van conventionele detectie van vreemde voorwerpen slechts 80% is (Kwak et al., 2021).

Micro- en nanoplastics

Beheersmaatregelen ter voorkoming van meevoeren van micro- en nanoplastics in de keten zijn beperkt. Voornaamste maatregel is het wassen of spoelen van zeewier. Dit kan de hoeveelheid microplastics op het zeewier aanzienlijk verminderen (Sundbæk et al., 2018). Het is echter niet duidelijk of dit ook het geval is voor de deeltjes met een grootte <10 µm, gezien het gebruik van grotere deeltjes in deze studie. Daarnaast heeft het geen effect op mogelijk in het zeewier opgenomen micro- en nanoplastics (ingesloten plastics).

4.7.2.5 Conclusie fysische risico's

De belangrijkste fysische gevaren in zeewier zijn (stukjes van) schaal- en schelpdieren en kleine steentjes waaraan de sporen van zeewier zich hechten om te groeien. Deze fysische gevaren kunnen bij bewerking en verwerking of bij consumptie van vers zeewier ongedetecteerd blijven (FAO & WHO, 2022). De belangrijkste methode om de vreemde voorwerpen die bij de oogst van het zeewier zijn meegekomen te verwijderen, is spoelen, hoewel het verwijderen van de zeepokken veelal mechanisch zal moeten gebeuren (Hogstad et al., 2023).

Gezien het ontbreken van informatie over de effecten van micro- en nanoplastics op het menselijk lichaam en gegevens over het voorkomen van plastic deeltjes <10 µm in zeewier is een risicobeoordeling ten aanzien van dit gevaar momenteel niet mogelijk.

5 Risico's natuur – uitheemse soorten

5.1 Inleiding

De teelt van zeewier in open water kan veranderingen veroorzaken in het aquatisch ecosysteem waarin de teelt plaatsvindt. Zeewiervelden kunnen stromingen veranderen en een effect hebben op de sedimentatie (Gittenberger, 2025). Daarnaast concurreren zeewiervelden met andere organismen om licht, ruimte en voedsel. Ook kunnen zeewieren zelf tot voedsel dienen, of schuilplaatsen of een leefomgeving bieden voor andere organismen die daardoor in aantal kunnen toenemen (Campbell et al., 2019; FAO, 2022).

Bij het beoordelen van de risico's van de zeewierteelt voor de Nederlandse natuur, ligt de focus van deze risicobeoordeling op uitheemse soorten en de effecten van deze soorten op de biodiversiteit en het aquatische ecosysteem in Nederland. Uitheemse soorten zijn soorten die niet van nature in Nederland voorkomen. Met Nederland worden in dit geval de Nederlandse mariene wateren en brakwatergebieden bedoeld: het Nederlandse deel van de Noordzee, het Nederlandse deel van de Waddenzee en de Zeeuwse en Zuid-Hollandse delta.

Wanneer uitheemse soorten door menselijke activiteiten zijn geïntroduceerd, worden zij ook wel exoten genoemd. Uitheemse soorten kunnen schadelijk zijn voor de Nederlandse natuur, maar ook voor de menselijke gezondheid, veiligheid en economie. Wanneer is vastgesteld dat een uitheemse soort nadelige gevolgen heeft of een bedreiging vormt voor de biodiversiteit en aanverwante ecosysteemdiensten, spreekt men over een invasieve uitheemse soort of over een invasieve exoot.

Als in de zeewierteelt uitheemse soorten worden gebruikt of als uitheemse soorten met het uitgangsmateriaal (de geteelde soorten) meeliften, dan bestaat de mogelijkheid dat deze soorten ook terecht komen in natuurlijke ecosystemen en zich daar vestigen. Daarnaast bestaat de mogelijkheid dat een zeewierveld een vestigingsplaats wordt voor uitheemse soorten. Sommige uitheemse soorten, maar zeker niet alle, kunnen een negatieve impact hebben op de natuur. Dit is bijvoorbeeld het geval wanneer zij invasief zijn en andere inheemse soorten verdringen.

5.2 Afbakening

Deze risicobeoordeling betreft de mogelijke risico's voor de Nederlandse natuur door de introductie, vestiging en verspreiding van uitheemse soorten (zeewier of andere organismen) als gevolg van de zeewierteelt. Hierbij kan het gaan om uitheemse zeewiersoorten die bewust voor de zeewierteelt naar Nederland worden gehaald, om uitheemse zeewiersoorten die eerder door andere menselijke activiteiten zijn geïntroduceerd en ook om uitheemse zeewiersoorten die hier van nature aanspoelen. Het kan ook gaan om uitheemse soorten die tussen het geteelde zeewier voorkomen. Het gaat om soorten die uitheems zijn voor Nederland. Deze soorten kunnen in andere delen van Noordwest-Europa ook uitheems zijn of daar inheems zijn en wel van nature voorkomen.

Deze risicobeoordeling gaat niet in op mogelijke andere gevolgen van de zeewierteelt voor de natuur, zoals verstoring van ecosystemen door geluid van handelingen tijdens de teelt en/of oogsten van zeewier, of een verminderde beschikbaarheid van voedingsstoffen voor andere organismen door de teelt van zeewier (Campbell et al., 2019; Tonk & Jansen, 2019). Ook gaat deze risicobeoordeling niet in op de risico's voor de natuur in nabijgelegen landen. De omstandigheden in deze landen komen niet altijd overeen met die in Nederland.

5.3 Aanpak

5.3.1 Verzameling Nederlandse gegevens

Om de risico's van zeewierteelt op het gebied van uitheemse soorten in beeld te brengen, heeft BuRO opdracht gegeven aan onderzoeksbureau GiMaRIS voor een veldonderzoek bij Nederlandse zeewierboerderijen (inclusief wildvangst). Bij dit veldonderzoek zijn de geteelde uitheemse zeewiersoorten en andere in de teelt aanwezige uitheemse soorten geïnventariseerd. Vervolgens is voor deze uitheemse soorten een inschatting gemaakt van de toegenomen kans op introductie, vestiging en verspreiding, en van de impact van deze uitheemse soorten op het aquatisch ecosysteem als gevolg van de ten tijde van het onderzoek uitgevoerde zeewierteeltactiviteiten (Gittenberger et al., 2020b). Ook heeft GiMaRIS in opdracht van BuRO samen met WMR een desk

research uitgevoerd naar de risico's van mogelijke toekomstige zeewierteelt in windmolenparken op de Noordzee (Gittenberger et al., 2020a). Verder heeft GiMaRIS in opdracht van BuRO een inschatting gemaakt van de impact van een aantal uitheemse zeewiersoorten met commerciële waarde op de natuur in Nederland (Gittenberger, 2025). Hiervoor is een beperkte literatuurstudie uitgevoerd die is gecombineerd met eerder gedane observaties en 'expert judgement'. Ook is er in 2025 gekeken of zich ten opzichte van 2019 veranderingen hebben voorgedaan in de herkomst van het uitgangsmateriaal dat voor de zeewierteelt wordt gebruikt (Gittenberger, 2025).

De voorliggende risicobeoordeling is gebaseerd op de resultaten van de onderzoeken van GiMaRIS en WMR. Ook heeft BuRO een inventarisatie gemaakt van de bestaande wet- en regelgeving die van toepassing is op de zeewierteelt en die gerelateerd is aan eventuele risico's van uitheemse soorten.

5.3.2 Methodiek risicobeoordeling

Voor de beoordeling van de risico's van uitheemse soorten zijn een aantal stappen gevolgd. Deze stappen zijn te linken aan de vier stappen van de risicobeoordeling zoals BuRO die hanteert: gevareninventarisatie, gevarenkarakterisatie, blootstellingschatting en risicokarakterisatie. De eerste stap is de inventarisatie van zeewiersoorten die in Nederland worden geteeld of potentieel geschikt zijn voor teelt in Nederlandse windmolenparken, aangevuld met een inventarisatie van zeewiersoorten en andere soorten die worden aangetroffen in de Nederlandse zeewierteelt. Daarna is van al deze soorten bepaald of ze inheems of uitheems zijn voor Nederland en/of voor Noordwest-Europa ('gevareninventarisatie'). Vervolgens is ingeschat of de uitheemse soorten een nadelige impact kunnen hebben op de Nederlandse natuur, waarbij uitgebreider is stilgestaan bij de mogelijke nadelige impact van uitheemse zeewiersoorten die al geteeld worden en/of potentieel geschikt zijn voor teelt in windmolenparken ('gevarenkarakterisatie'). Tenslotte is ingeschat in hoeverre de huidige zeewierteeltactiviteiten en de toekomstige teelt van zeewier in windmolenparken de kans vergroten op introductie, vestiging en verspreiding van de uitheemse soorten ('blootstellingsschatting') en daarmee de impact van deze soorten doen toenemen. Bij de inschatting van het risico ('risicokarakterisatie') van de zeewierteelt zijn zowel de uitheemse zeewiersoorten, de herkomst van het uitgangsmateriaal, de gebruikte zeewierteeltsystemen als het gebied waar het zeewier wordt geteeld in ogenschouw genomen.

5.4 Europese en Nederlandse wet- en regelgeving

5.4.1 Kaderrichtlijn Mariene Strategie

De Europese Kaderrichtlijn Mariene Strategie (2008/56/EG[17]) (KRM) verplicht elke lidstaat om een eigen Mariene Strategie op te stellen met maatregelen om een zogenaamde 'goede milieutoestand' te bereiken. Hierbij worden uitheemse (niet-inheemse) soorten expliciet benoemd. Om een goede milieutoestand te bereiken, zou het aantal door menselijke activiteiten nieuw geïntroduceerde uitheemse soorten (exoten) tot een minimum beperkt en waar mogelijk tot nul terug gebracht moeten worden (Besluit (EU) 2017/848[18]). Bij het bepalen van het aantal nieuw geïntroduceerde mariene uitheemse soorten wordt overeenkomstig het Joint Research Centre (JRC) advies (EC et al., 2021) zowel naar het Nederlandse deel van de Noordzee als naar het Nederlandse deel van de Waddenzee en de Zeeuwse en Zuid-Hollandse delta gekeken (de kustwateren). In de Nederlandse Mariene Strategie worden conform de KRM maatregelen beschreven om de goede milieutoestand met betrekking tot uitheemse soorten te bereiken. Hierin wordt vermeld dat de initiatieven rond de teelt van uitheemse en veredelde inheemse zeewiersoorten in open zee mede vanuit het voorzorgsprincipe als onwenselijk moeten worden beschouwd (IenW & LNV, 2022).

5.4.2 Kaderrichtlijn Water

De Europese Kaderrichtlijn Water (2000/60/EC[19]) (KRW) heeft onder meer als doel om uiterlijk in 2027 een goede ecologische en chemische toestand van het oppervlaktewater te bereiken. Dit

[17] Richtlijn 2008/56/EG tot vaststelling van een kader voor communautaire maatregelen betreffende het beleid ten aanzien van het mariene milieu

[18] Besluit (EU) 2017/848 tot vaststelling van criteria en methodologische standaarden inzake de goede milieutoestand van mariene wateren en specificaties en gestandaardiseerde methoden voor monitoring en beoordeling, en tot intrekking van Besluit 2010/477/EU

[19] Richtlijn 2000/60/EG tot vaststelling van een kader voor communautaire maatregelen betreffende het waterbeleid

geldt voor zowel zoete oppervlaktewateren (o.a. rivieren en meren), overgangswateren (waaronder de Waddenzee, de Zeeuwse en Zuid-Hollandse delta) als kustwateren (tot 12 mijl uit de kust). De KRW stelt ook doelen voor het grondwater, maar die worden hier buiten beschouwing gelaten.

Bij het beoordelen van de chemische toestand wordt gekeken naar een lijst met prioritaire stoffen die schadelijk zijn voor de gezondheid van de mens en het ecosysteem. Bij het beoordelen van de ecologische toestand wordt gekeken naar vier biologische kwaliteitselementen, verschillende ecologie-ondersteunende fysisch-chemische parameters en naar een lijst met specifiek verontreinigende stoffen. Alleen wanneer al deze zaken voldoen aan de normen die er voor het betreffende watertype zijn gesteld, is er sprake van een goede chemische en ecologische toestand.

Uitheemse soorten of exoten worden in de KRW niet genoemd en komen dan ook niet of nauwelijks terug in de maatlatten die worden gebruikt om de ecologische toestand van de verschillende watertypen te beoordelen. Hun aanwezigheid kan wel indirect een effect hebben op de ecologische toestand van een watertype als dit gevolgen heeft voor de biologische kwaliteitselementen (vissen, macrofauna, fytoplankton en overige waterflora) of de ecologie-ondersteunende fysisch-chemische parameters (stikstof, fosfor, zuurstofgehalte, zuurgraad, doorzicht, temperatuur en zoutgehalte) waar bij de beoordeling van de ecologische toestand naar gekeken wordt.

5.4.3 Verordening invasieve uitheemse exoten

De Europese verordening (EU)1143/2014[20] over invasieve uitheemse soorten, die in de Nederlandse Omgevingswet[21] is geïmplementeerd, heeft als doel om te voorkomen dat invasieve uitheemse soorten ernstige negatieve gevolgen toebrengen aan biodiversiteit en aanverwante ecosysteemdiensten. De kern van deze verordening bestaat uit een lijst met zorgwekkende invasieve uitheemse soorten die niet opzettelijk in het milieu mogen worden vrijgelaten en niet mogen worden vermeerderd, geteeld, gebruikt of verkocht (art. 7). Deze lijst wordt ook wel de Unielijst genoemd en geldt voor de gehele Europese Unie. Een lidstaat kan daarnaast ook een nationale lijst opstellen met voor die lidstaat zorgwekkende invasieve uitheemse soorten. Binnen deze lidstaat gelden dan dezelfde verboden als hierboven beschreven. Op de Unielijst staat één mariene zeewiersoort (*Rugulopteryx okamurae*) (Uitvoeringsverordening (EU) 2022/1203[22]). Deze soort komt voor in zeewater met een relatief hoge temperatuur, zoals in het zuiden van Frankrijk en Spanje (NVWA, 2022). Op dit moment is deze soort voor Nederland niet relevant, maar dit zou in de toekomst mogelijk kunnen veranderen. Recent zijn ook enkele andere mariene soorten (Japans dwergzeegras, Amerikaanse strandschelp, Japanse zeester) aan de Unielijst toegevoegd (Uitvoeringsverordening (EU) 2025/1422)[23]. Op de nationale lijst van Nederland staan geen mariene soorten.

Het Nederlandse invasieve uitheemse soortenbeleid zet zich allereerst in op het voorkomen van introductie (preventie). Als een soort toch geïntroduceerd blijkt te zijn, wordt ingezet op vroege eliminatie of op isolatie en beheer als eliminatie niet mogelijk is (LNV, 2007). Omdat mariene soorten moeilijk te bestrijden en te beheersen zijn, wordt voor mariene uitheemse soorten op dit moment volledig ingezet op de preventie van introductie.

5.4.4 Verordening over uitheemse soorten en aquacultuur

De Europese verordening ((EG)708/2007[24]) inzake het gebruik van uitheemse en plaatselijk niet-voorkomende soorten in de aquacultuur (hierna: Verordening uitheemse soorten en aquacultuur) is gericht op het voorkomen van schade door het gebruik van deze soorten en eventuele hiermee meeliftende soorten (zogenaamde niet-doelsoorten). Deze verordening stelt voorwaarden aan gesloten aquacultuurvoorzieningen, zodat soorten niet vanuit deze voorzieningen in de omgeving terecht kunnen komen. Bij open aquacultuurvoorzieningen worden er voorwaarden gesteld aan de

[20] Verordening (EU) Nr. 1143/2014 betreffende de preventie en beheersing van de introductie en verspreiding van invasieve uitheemse soorten
[21] Wet van 23 maart 2016, houdende regels over het beschermen en benutten van de fysieke leefomgeving (Omgevingswet)
[22] Uitvoeringsverordening (EU) 2022/1203 tot wijziging van Uitvoeringsverordening (EU) 2016/1141 om de lijst van voor de Unie zorgwekkende invasieve uitheemse soorten te actualiseren
[23] Uitvoeringsverordening (EU) 2025/1422 tot wijziging van Uitvoeringsverordening (EU) 2016/1141 om de lijst van voor de Unie zorgwekkende invasieve uitheemse soorten te actualiseren
[24] Verordening (EG) Nr. 708/2007 inzake het gebruik van uitheemse en plaatselijk niet-voorkomende soorten in de aquacultuur

soorten die er gekweekt of geteeld mogen worden. Uitheemse soorten (waaronder zeewiersoorten) mogen alleen in een lidstaat geïntroduceerd worden wanneer de kweek of teelt in een open aquacultuurvoorziening-eventueel na het nemen van risicobeperkende maatregelen- een 'gering' risico vormt. Ditzelfde geldt voor zogenaamde 'plaatselijk niet-voorkomende soorten', die in dit deel van hun natuurlijke verspreidingsgebied niet voorkomen, omdat de omstandigheden hier niet geschikt zijn voor deze soort. Daarnaast vallen bepaalde organismen die kunstmatig zijn verkregen, onder de reikwijdte van deze verordening. Dit zijn vruchtbare kunstmatig verkregen hybriden tussen verschillende soorten (bijvoorbeeld nakomelingen van kunstmatige kruisingen tussen verschillende soorten) en organismen waarbij het aantal chromosomen met behulp van celmanipulatietechnieken is verdubbeld ('polyploïde organismen'). Bij de beoordeling van het risico van alle bovengenoemde soorten wordt ook gekeken naar eventuele meeliftende soorten. Een aantal uitheemse soorten, zoals de Japanse oester en de Japanse tapijtschelp, is echter uitgezonderd in de verordening, waardoor ook het risico van eventuele met deze soorten meeliftende uitheemse (zeewier)soorten niet beoordeeld hoeft te worden. De verordening verplicht aquacultuurbedrijven een vergunning aan te vragen als zij van plan zijn een uitheemse soort of een plaatselijk niet-voorkomende soort in een lidstaat te introduceren voor kweek of teelt in een open aquacultuurvoorziening.

De verordening is in Nederland geïmplementeerd in de Regeling gebruik uitheemse en plaatselijk niet-voorkomende soorten in de aquacultuur[25]. In deze Regeling staat dat de minister van LNV (nu Ministerie van Landbouw, Visserij, Voedselzekerheid en Natuur, LVVN) de bevoegde autoriteit is en dat een vergunning kan worden aangevraagd bij de Directeur Visserij.[25] Deze bevoegdheid kan bij wet worden overgedragen aan een ander overheidsorgaan. Volgens het ministerie van LVVN is de Rijksdienst voor Ondernemend Nederland (RVO) verantwoordelijk voor de vergunningverlening, maar wanneer RVO gevraagd wordt of zij vergunningen verstrekken voor de teelt van uitheemse zeewiersoorten in open aquacultuurvoorzieningen (open water) antwoorden zij ontkennend. De Algemene inspectiedienst (nu NVWA) is volgens de toelichting van de Regeling belast met de controle en handhaving[25]. Dit geldt voor zowel de open als de gesloten aquacultuurvoorzieningen. Navraag bij de NVWA leert dat er in de praktijk niet wordt gehandhaafd.

5.4.5 Omgevingswet

5.4.5.1 Milieueffectbeoordelingen

Naast de bovengenoemde specifiek op uitheemse soorten gerichte wet- en regelgeving, zijn er verschillende Europese richtlijnen om de natuur en het milieu te beschermen in de Omgevingswet geïmplementeerd. Zo zijn er de Richtlijnen voor het beoordelen van milieueffecten 2001/42/EG[26] en 2014/52/EU[27]. Voor bepaalde activiteiten wordt een milieueffectbeoordeling verplicht gesteld, zodat nagegaan kan worden of deze aanzienlijke milieueffecten met zich meebrengen. Een dergelijke milieueffectbeoordeling is vereist voor 'intensieve aquacultuur van vis', maar niet voor de teelt van zeewier[28].

5.4.5.2 Vogelrichtlijn, habitatrichtlijn en Natura 2000-gebieden

Naast de bovengenoemde Europese richtlijnen, zijn ook de Vogelrichtlijn (Richtlijn 2009/147/EG[29]) en de Habitatrichtlijn (Richtlijn 92/43/EEG[30]) in de Omgevingswet geïmplementeerd. De Omgevingswet bevat regels om plant- en diersoorten, Natura 2000- en bijzondere nationale natuurgebieden te beschermen. Zo zijn verschillende activiteiten die gevolgen kunnen hebben voor

---

[25] Regeling van de Minister van Landbouw, Natuur en Voedselkwaliteit van 17 december 2008, nr. TRCJZ/2008/3516, houdende regels voor het gebruik van uitheemse en plaatselijk niet-voorkomende soorten in de aquacultuur (Regeling gebruik uitheemse en plaatselijk niet-voorkomende soorten in de aquacultuur). Staatscourant 2008, nr. 252

[26] Richtlijn 2001/42/EG betreffende de beoordeling van de gevolgen voor het milieu van bepaalde plannen en programma's

[27] Richtlijn 2014/52/EU tot wijziging van Richtlijn 2011/92/EU betreffende de milieueffectbeoordeling van bepaalde openbare en particuliere projecten

[28] Nota van toelichting bij Besluit van 3 juli 2018, houdende procedurele regels en regels over algemene onderwerpen over het beschermen en benutten van de fysieke leefomgeving (Omgevingsbesluit). Staatscourant 2018, nr. 290

[29] Richtlijn 2009/147/EG inzake het behoud van de vogelstand

[30] Richtlijn 92/43/EEG inzake de instandhouding van de natuurlijke habitats en de wilde flora en fauna

planten en dieren die van nature in het wild leven (zogenaamde flora- en fauna-activiteiten) vergunningplichtig. Dit geldt bijvoorbeeld voor het opzettelijk verstoren, vangen of doden van beschermde soorten. Ook activiteiten die nadelige gevolgen voor Natura 2000- en bijzondere nationale natuurgebieden kunnen hebben zijn vergunningplichtig. Zij mogen alleen uitgevoerd worden als zij geen verslechterende of significant verstorende gevolgen hebben of de natuurlijke kenmerken van het gebied niet aantasten (rekening houdend met de instandhoudingsdoelstellingen). De Zeeuwse Delta, de Waddenzee en diverse delen van de Noordzee zijn Natura 2000-gebieden. Bij zeewierteelt in deze gebieden zal een Natura 2000-beoordeling daarom vereist zijn. Ook bij zeewierteeltactiviteiten elders op de Noordzee zal een Natura 2000-beoordeling echter nodig zijn, omdat de op de Noordzee gelegen Natura 2000-gebieden hierdoor mogelijk beïnvloed kunnen worden.

In de meeste gevallen wordt een vergunning verstrekt door de provincie en is de provincie ook verantwoordelijk voor het toezicht en de handhaving. Bij activiteiten in de territoriale zee (met uitzondering van de delen die bij een provincie horen) en de zogenaamde exclusieve economische zone van de Noordzee worden de vergunningen door het ministerie van LVVN verstrekt. Rijkswaterstaat is in deze gevallen verantwoordelijk voor de handhaving en het toezicht.

5.4.6 Private standaard

Naast wet- en regelgeving is er ook een vrijwillige standaard voor duurzame productie van zeewier, die is opgesteld door de Aquaculture Stewardship Council (ASC) en de Marine Stewardship Council (MSC). Het gebruik van uitheemse zeewiersoorten is volgens deze standaard uitsluitend toegestaan als het zeewier volledig gescheiden van het aquatische milieu op het land geteeld wordt. Een uitzondering hierop vormt de teelt van uitheemse soorten die twintig jaar eerder al zijn geïntroduceerd (ACS/MSC, 2018). Voor zover bekend zijn er op dit moment geen Nederlandse zeewierbedrijven met een ASC of MSC certificering.

5.4.7 Discussie wetgeving

De Europese Kaderrichtlijn Mariene Strategie stelt dat het aantal door menselijke activiteiten nieuw geïntroduceerde 'niet-inheemse soorten' tot een minimum beperkt moet worden en waar mogelijk tot nul terug gebracht zou moeten worden. In de Nederlandse Mariene Strategie worden maatregelen beschreven om dit doel te behalen. Daarin staat dat de teelt van uitheemse zeewiersoorten op open zee mede vanuit het voorzorgsprincipe als onwenselijk wordt beschouwd. Ditzelfde geldt voor de teelt van veredelde inheemse zeewiersoorten. De verordening over uitheemse soorten en aquacultuur bevat regels voor de introductie van uitheemse of zogenaamde 'plaatselijk niet-voorkomende' (zeewier)soorten en eventuele meeliftende uitheemse soorten in Nederland. Alleen als zij een 'gering' risico vormen, mogen soorten in Nederland geïntroduceerd worden voor gebruik in open aquacultuurvoorzieningen. Hierdoor wordt de kans kleiner dat risicovolle uitheemse zeewiersoorten of met zeewier meeliftende uitheemse soorten in Nederland worden geïntroduceerd.

Er zijn echter een aantal situaties die niet onder de reikwijdte van de verordening vallen, maar die wel een risico voor de natuur kunnen opleveren. Doordat de verordening alleen van toepassing is op de introductie van soorten, is er geen vergunning met voorafgaande risicobeoordeling nodig voor de teelt van uitheemse of 'plaatselijk niet-voorkomende' (zeewier)soorten die al in Nederland voorkomen. Dit geldt ook voor soorten die pas zeer recent in Nederland zijn aangetroffen. Zodra een soort in Nederland is aangetroffen, is er op basis van deze verordening geen vergunning meer nodig. Ook niet wanneer de soorten nog niet of nauwelijks voorkomen in het gebied waar geteeld zal gaan worden en de teelt van deze soorten dus een risico voor de natuur kan opleveren. Alleen wanneer er op basis van wetenschappelijk advies reden is om te veronderstellen dat kweek of teelt een gevaar voor natuur en milieu kan opleveren, kan voor 'plaatselijk niet-voorkomende' soorten wel een vergunningsplicht worden ingesteld. Het is echter onduidelijk of deze mogelijkheid ook voor uitheemse soorten bestaat, omdat uitheemse soorten in dit deel van de verordening niet expliciet worden genoemd.

Naast uitheemse en 'plaatselijk niet-voorkomende' soorten vallen ook sommige cultivars en hybriden onder de reikwijdte van de verordening. Dit is het geval wanneer bij de ontwikkeling van een cultivar het aantal chromosomen kunstmatig is verdubbeld, of wanneer er kunstmatige technieken zijn gebruikt om hybriden van verschillende zeewiersoorten te verkrijgen en deze hybriden vruchtbaar zijn. Daarbij is het niet van belang of er bij de ontwikkeling van deze cultivars

en hybriden inheemse of uitheemse soorten zijn gebruikt. Doordat niet bekend is hoe bepaalde bepalingen in de verordening worden geïnterpreteerd, is het voor sommige andere cultivars of hybriden onduidelijk of zij onder de reikwijdte van de verordening vallen. Zo is het onduidelijk of kunstmatig verkregen hybriden die zich alleen vegetatief kunnen voortplanten (door het uitgroeien van zeewier-fragmenten), worden gezien als 'vruchtbaar' en daarmee gereguleerd zijn. Ook is het onduidelijk of hybriden van zeewiersoorten die van nature niet in hetzelfde gebied voorkomen, gereguleerd zijn. Dit komt doordat niet bekend is wat er met 'kunstmatig gehybridiseerde soorten' wordt bedoeld.

Daarnaast kunnen er ook cultivars en hybriden worden ontwikkeld die niet onder de reikwijdte van deze verordening vallen, maar bij teelt in een open aquacultuurvoorziening wel een risico voor de natuur opleveren. Bij het veredelen van zeewier wordt geprobeerd om cultivars of hybriden te ontwikkelen met eigenschappen die gunstig zijn voor de zeewierteelt, bijvoorbeeld omdat zij de productie verhogen of ervoor zorgen dat zeewier op meer plaatsen geteeld kan worden. Sommige eigenschappen die gunstig zijn voor de zeewierteelt, zoals snellere groei, het op meer plekken kunnen vestigen, of het beter bestand zijn tegen de omstandigheden op volle zee, zorgen er echter voor dat het risico voor de natuur toeneemt.

Ook zijn er een aantal activiteiten die waarschijnlijk niet onder de reikwijdte van de verordening vallen, maar wel een risico zouden kunnen opleveren, zoals onderzoek met uitheemse zeewiersoorten in open aquacultuurvoorzieningen dat bijvoorbeeld met het oog op de teelt van zeewier wordt gedaan.

Het is op dit moment onduidelijk wie er verantwoordelijk is voor het verlenen van vergunningen onder de verordening uitheemse soorten en aquacultuur. Volgens het ministerie van LVVN is dit RVO, maar RVO geeft aan dat zij deze vergunningen niet verstrekken. Ook is er op dit moment geen toezicht op de naleving van deze verordening door de NVWA.

Uit de bepalingen over Natura 2000-gebieden in de omgevingswet volgt dat zeewier alleen geteeld mag worden wanneer dit geen significante nadelige effecten heeft voor Natura 2000- en bijzondere nationale natuurgebieden (rekening houdend met de instandhoudingsdoelstellingen). Omdat alle gebieden waar zeewier geteeld kan worden zelf een Natura-2000 gebied zijn of een Natura-2000 gebied zouden kunnen beïnvloeden, geldt dit in de praktijk voor alle gebieden waar zeewier geteeld kan worden.

Bij vergunningverlening wordt soms alleen gebruik gemaakt van gangbare Nederlandse namen, zonder vermelding van de Latijnse namen voor de betreffende soorten. Hierdoor bestaat de mogelijkheid dat binnen vergunningen onbedoeld uitheemse soorten geteeld mogen worden. Zo zou bijvoorbeeld met een vergunning voor de teelt van 'zeesla' naast de inheemse soorten Stijve zeesla (*Ulva rigida*), Getande zeesla (*Ulva rigida var. fimbriata*), Gekromde zeesla (*Ulva pseudocurvata*) en zeesla (*Ulva lactuca*) ook de uitheemse soort Geperforeerde zeesla (*Ulva australis*) geteeld mogen worden. Ook wanneer de Latijnse naam voor een soortgroep (genus) in een vergunning wordt gebruikt, is het mogelijk dat er onbedoeld uitheemse soorten geteeld mogen worden. Zo mogen er met een vergunning voor de teelt van *Ulva* naast zestien inheemse *Ulva* soorten honderden uitheemse soorten geteeld worden, want wereldwijd zijn er 388 *Ulva* soorten beschreven (Gittenberger et al., 2020a) waarvan het merendeel voor Nederland uitheems is.

5.5 Risicobeoordeling

Uitheemse zeewiersoorten die voor teelt of wildvangst in aanmerking komen, zijn meestal soorten die snel groeien. Veel van deze soorten zullen daarom waarschijnlijk een negatieve impact op de natuur hebben (Gittenberger, 2025). Bij andere uitheemse zeewiersoorten hoeft dit niet noodzakelijkerwijs het geval te zijn.

Wanneer uitheemse zeewiersoorten zich in een gebied vestigen, kunnen zij het ecosysteem ingrijpend veranderen. Zeewiersoorten die grote planten vormen, zoals kelpwieren, kunnen zeestromingen afremmen en van richting doen veranderen. De hoeveelheid en de grootte van de sedimentdeeltjes die in het gebied worden afgezet, verandert daardoor. Hierdoor kunnen de hydromorfologische kenmerken van een gebied veranderen. Ook heeft dit gevolgen voor de samenstelling van het sediment en daarmee op de soorten die in het gebied leven. Sommige zeewiersoorten bevatten stoffen die zeer schadelijk zijn voor vissen die van het zeewier eten. Ook zijn er zeewiersoorten die dusdanig snel worden afgebroken dat met name in afgesloten

binnenwateren verzuring optreedt en het zuurstofgehalte van het water sterk daalt (Gittenberger, 2025). Dit zorgt ervoor dat de waterkwaliteit verslechtert en heeft een negatief effect op het bereiken van de KRW doelstellingen. De veranderingen hebben op hun beurt ook effect op de soorten die in een gebied voorkomen (Gittenberger, 2025). Onder de soorten die hier een effect van ondervinden, bevinden zich ook kenmerkende soorten voor habitattypen in de Zeeuwse Delta en de Waddenzee, die als kwaliteitsindicator dienen voor deze Natura-2000 gebieden.

Uitheemse zeewiersoorten concurreren met de inheemse zeewiersoorten die in een gebied voorkomen om licht, ruimte en nutriënten en hebben daardoor een negatief effect op de aanwezige inheemse zeewiersoorten. Uitheemse zeewiersoorten met grote planten of soorten die een dichte laag aan het wateroppervlak vormen, houden licht tegen waardoor kleinere (inheemse) zeewiersoorten niet goed meer kunnen groeien en worden weggeconcurreerd. Andere zeewiersoorten overgroeien de bodem of bedekken dijken waarbij ze de inheemse soorten die daar voorkomen verdringen. Uitheemse zeewiersoorten hebben hierdoor een negatieve impact op de inheemse zeewiersoorten die in een gebied voorkomen (Gittenberger, 2025).

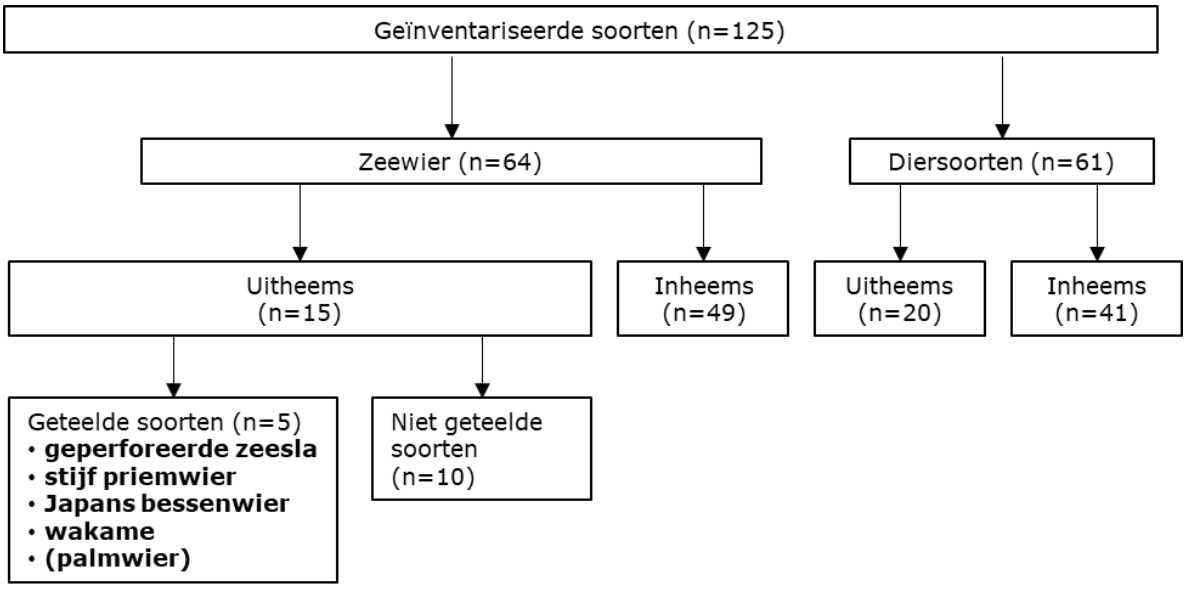
Ook andere groepen organismen, waaronder ook kenmerkende soorten voor habitattypen in Natura-2000 gebieden, kunnen een negatieve impact ondervinden van uitheemse zeewiersoorten. Als door de snellere afbraak van de planten van uitheemse zeewiersoorten het zuurstofgehalte in het water te sterk daalt (dit speelt met name bij afgesloten binnenwateren), leidt dit tot sterfte bij allerlei soorten. Dit is vooral het geval bij soorten op en in de bodem die het water filteren, zoals schelpdieren, en bij soorten die voedingsstoffen uit het sediment halen, zoals wormen. Wanneer uitheemse zeewiersoorten de sedimentatie in een gebied veranderen, verschuift de soortensamenstelling in de bodem, omdat er afhankelijk van de samenstelling van het sediment andere soorten wormen en schelpdieren in het sediment leven. Uitheemse zeewiersoorten die de bodem overgroeien, zorgen voor een afname bij soorten die op en in zand- of sedimentbodems voorkomen. Daarnaast zijn er uitheemse zeewiersoorten die stoffen produceren die schadelijk zijn voor herbivore vissen, of die de groei van zee-egels remmen doordat zij minder voedzaam zijn dan inheemse zeewiersoorten (Gittenberger, 2025).

Aan de andere kant kunnen uitheemse zeewiersoorten ook een positief effect hebben op soorten die in het gebied voorkomen. Uitheemse zeewiersoorten met grote planten of met veel planten die dicht naast elkaar groeien, bieden beschutting aan bijvoorbeeld vissen en garnalen. Ook zijn er uitheemse zeewiersoorten waar andere soorten zich op kunnen vestigen. Deze uitheemse zeewiersoorten leveren daardoor een positieve bijdrage aan de biodiversiteit in een gebied (Gittenberger, 2025).

Samenvattend kunnen uitheemse zeewiersoorten het gebied waarin zij voorkomen veranderen en hebben zij een negatieve impact op de inheemse zeewiersoorten die in een gebied voorkomen. Op andere soorten, waaronder ook kenmerkende soorten voor habitattypen in Natura-2000 gebieden, kunnen zij zowel een negatieve als een positieve impact hebben. De uitgangssituatie van het gebied speelt hierbij ook een rol. Uitheemse zeewiersoorten die voor beschutting zorgen, zullen een positief effect hebben op diersoorten die boven de grond leven, zoals krabben en vissen. Als het gebied echter een zachte bodem heeft waardoor er vooral diersoorten voorkomen die zich in de bodem ingraven, zoals schelpdieren en wormen, dan zal de beschutting die het zeewier biedt geen positief effect hebben op de aanwezige diersoorten. Omdat het oppervlakte met een onbegroeide zachte bodem door het zeewier afneemt, zal het zeewier in dit geval juist een negatief effect hebben op de aanwezige diersoorten (Gittenberger, 2025).

5.5.1 Inventarisatie van soorten

In 2019 zijn de aanwezige soorten geïnventariseerd bij tien Nederlandse zeewierboerderijen in de Oosterschelde, Waddenzee en Noordzee (inclusief wildvangst), plus één kweker van uitgangsmateriaal. Daarbij is gekeken naar zeewiersoorten bedoeld voor teelt en naar andere zeewiersoorten die in de teelt werden aangetroffen (veldonderzoek). Er is ook gekeken naar andere organismen die in de teelt werden aangetroffen. Voor de inventarisatie zijn op de zeewierboerderijen en bij de wildvangst organismen verzameld en zo mogelijk direct gedetermineerd tijdens de bemonsteringen. Er werd gezocht tot er naar verwachting minder dan één nieuwe soort gevonden zou worden bij een twee keer zo lange zoekinspanning. De soorten werden gedetermineerd, waarbij zo nodig een microscopische analyse is uitgevoerd of een DNA-barcode is bepaald (Gittenberger et al., 2020b). In totaal zijn bij de inventarisatie 125 soorten gevonden: 64 zeewiersoorten waarvan 15 uitheems, en 61 diersoorten waarvan 20 uitheems



Figuur 8 Aantal geïnventariseerde soorten bij de zeewierboerderijen en wildvangst via veldonderzoek, (palmwier is alleen aangetroffen in een quarantaine bak bij een kweker van uitgangsmateriaal).

(Gittenberger et al., 2020b) (Figuur 8). De uitheemse soorten waren op een enkele uitzondering na niet alleen uitheems voor Nederland, maar ook voor Europa. De uitzonderingen waren één zeewiersoort die niet in Nederland, maar wel elders in Noordwest-Europa voorkomt (palmwier), en één mosdiertjessoort waarvan het oorsprongsgebied niet bekend is.

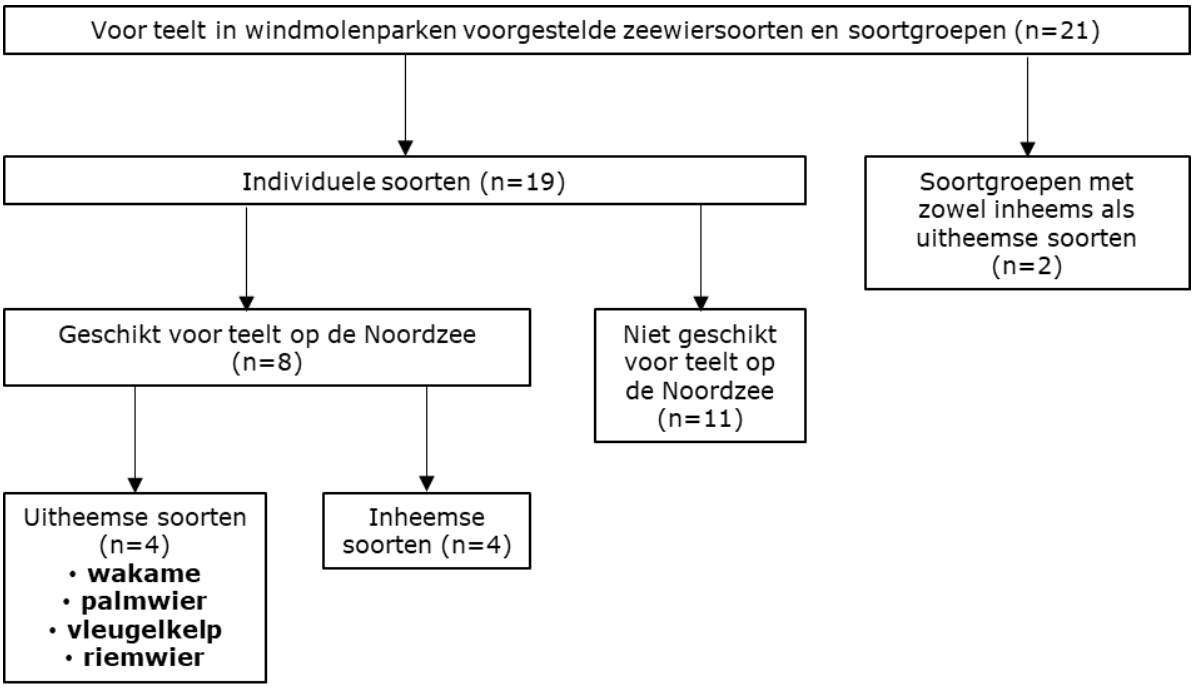
Daarnaast is door Stichting North Sea Farmers een lijst aangeleverd met 19 soorten en twee 'soortgroepen' die mogelijk interessant zijn om op de Noordzee binnen windmolenparken te telen (Gittenberger et al., 2020a). De 'soortgroepen', te weten *Ulv*a met wereldwijd 388 soorten, en *Gracilaria* met 285 soorten, zijn buiten beschouwing gelaten. Beide soortgroepen bevatten zowel inheemse als uitheemse soorten. Aandachtspunt bij de soortgroepen *Ulva* en *Gracilaria* is de gebrekkige taxonomie. Door de gebruikte teeltmethodes hebben de bladeren ongewone vormen gekregen waardoor ze niet meer morfologisch (op basis van uiterlijke kenmerken) geïdentificeerd kunnen worden. Zonder DNA-determinatie is het vaak onduidelijk welke soort uit de groep geteeld wordt (Gittenberger et al., 2020a; Gittenberger et al., 2020b). Ook enkele andere soorten zijn buiten beschouwing gelaten omdat ze niet of niet op korte termijn geschikt zijn voor de gebruikte teeltsystemen of niet bestand zijn tegen de hoge dynamiek in de windmolenparken door stroming en golfslag (Gittenberger et al., 2020a). Van de lijst bleven uiteindelijk acht soorten over die mogelijk binnen vijf jaar geteeld kunnen worden in windmolenparken. Van deze acht soorten waren er vier uitheems (Figuur 9).

5.5.1.1 Uitheemse zeewiersoorten

Het onderzoek uit 2019 bij de Nederlandse zeewierboerderijen en wildvangst leverde 15 uitheemse zeewiersoorten op. Vijf van deze soorten werden geteeld en tien uitheemse zeewiersoorten werden niet geteeld maar waren wel in het teeltsysteem aanwezig (Gittenberger et al., 2020b) (Figuur 8). De vijf geteelde uitheemse zeewiersoorten zijn:

- geperforeerde zeesla (*Ulva australis*)
- palmwier (dulse, *Palmaria palmata*) (alleen aangetroffen in een quarantaine bak bij een kweker van uitgangsmateriaal)
- stijf priemwier (*Agardhiella subulata*)
- Japans bessenwier (*Sargassum muticum*)
- wakame (*Undaria pinnatifida*)

Uit DNA-analyses bleek dat in 2019 vooral de inheemse *Ulva rigida* (stijve zeesla) werd geteeld, maar ook de uitheemse *Ulva australis* (geperforeerde zeesla). Met betrekking tot palmwier dient opgemerkt te worden dat deze uitheems is voor Nederland, maar inheems in Noordwest-Europa (Gittenberger et al., 2020b).



Figuur 9 Aantal voorgestelde zeewiersoorten voor teelt in windmolenparken op de Noordzee.

De tien uitheemse zeewiersoorten die niet werden geteeld maar wel zijn aangetroffen in de zeewierteelt zijn: *Bonnemaisonia hamifera, Caulacanthus okamurae, Ceramium sungminbooi, Colpomenia peregrina, Dasysiphonia japonica, Gelidium vagum, Gracilaria vermiculophylla, Grateloupia turuturu, Melanothamnus harvey* en *Polysiphonia senticulosa.* Drie soorten *(Bonnemaisonia hamifera, Gelidium vagum* en *Grateloupia turuturu*) werden alleen aangetroffen bij zeewier dat uit de Oosterschelde was gehaald (wildvangst, zie 3.2.2).

Van de zeewiersoorten geschikt voor de teelt in windmolenparken op de Noordzee waren er vier uitheems:

- wakame (*Undaria pinnatifida*)
- palmwier (dulse, *Palmaria palmata*)
- vleugelkelp (gevleugelde kelp, *Alaria esculenta*)
- riemwier (*Himantalia elongata*)

Wakame en palmwier worden al elders in Nederland geteeld. De teelt van palmwier betreft een specifieke situatie waarbij in een quarantainebak uitgangsmateriaal wordt geteeld voor teelt in hetzelfde land als waar het palmwier vandaan komt (Ierland). Palmwier, maar ook vleugelkelp en riemwier, zijn uitheems voor Nederland maar inheems in andere delen van Noordwest-Europa (Gittenberger et al., 2020a).

De risicobeoordeling gaat uitgebreider in op de zeven uitheemse zeewiersoorten die al geteeld worden en/of die potentieel geschikt zouden zijn voor teelt binnen vijf jaar in windmolenparken op de Noordzee (vetgedrukt in Figuur 8 en Figuur 9; Tabel 30).

5.5.1.2 Uitheemse diersoorten

Naast zeewier zijn tussen het zeewier ook 61 diersoorten aangetroffen. Hiervan waren er 20 uitheems (Figuur 8). Dat waren wormen (n=2) en platwormen (n=1), zakpijpen (n=5), mosdiertjes (n=2), kreeftachtigen (n=5), weekdieren (n=3), sponzen (n=1) en zeespinnen (n=1). Deze soorten zijn ook uitheems voor Europa (Gittenberger et al., 2020b).

5.5.2 Impact op de natuur

Voor alle uitheemse zeewiersoorten (geteeld en niet-geteeld;n=15) plus de andere in de teelt aangetroffen uitheemse diersoorten (n=20) (Figuur 8) is geschat of ze een impact hebben op de Nederlandse natuur. Al deze aangetroffen uitheemse soorten zijn gecategoriseerd met behulp van

twee scoringssystemen (ISEIA en Harmonia+ zie Gittenberger et al. (2020b)). De uitkomsten geven aan dat er meerdere uitheemse soorten bij de zeewierboerderijen en de wildvangst zijn gevonden die een impact hebben op de Nederlandse natuur. Dit is onder meer het geval bij verschillende uitheemse soorten die tussen het zeewier zijn aangetroffen, zoals een aantal zakpijpen, kreeftachtigen en weekdieren, maar ook bij verschillende zeewiersoorten die zelf niet werden geteeld, zoals *Gracilaria vermiculophylla* en *Grateloupia turuturu*. Ook zeewiersoorten die werden geteeld, zoals *Agardhiella subulata* (stijf priemwier), *Sargassum muticum* (Japans bessenwier), *Undaria pinnatifida* (wakame) en in mindere mate *Palmaria palmata* (palmwier) en *Ulva australis* (geperforeerde zeesla) hebben een impact op de Nederlandse natuur (Gittenberger et al., 2020b).

5.5.2.1 Uitheemse zeewiersoorten

Voor de geteelde uitheemse zeewiersoorten (inclusief wildvangst) en de voor teelt in windmolenparken in aanmerking komende zeewiersoorten is de impact op de Nederlandse natuur daarnaast specifieker in kaart gebracht (Gittenberger, 2025).

Wakame kan het ecosysteem in een gebied domineren en wordt wereldwijd beschouwd als één van meest schadelijke uitheemse soorten. Het verandert het ecosysteem waarin het voorkomt op verschillende manieren. Wakame vormt binnen enkele maanden grote planten die tot twee meter lang worden en brede bladeren hebben. Deze planten veranderen de stroming en sedimentatie in het gebied. Dit doen zij niet alleen op de plek waar de planten zelf staan, maar ook in het gebied er omheen. Dit heeft gevolgen voor de hydromorfologische kenmerken en de soorten die in dit gebied leven. Onder andere doordat er afhankelijk van de samenstelling van het sediment andere soorten wormen en schelpdieren in het sediment leven. De grote planten houden bovendien licht tegen waardoor kleinere (inheemse) zeewiersoorten niet meer goed groeien en worden weggeconcurreerd. De grote planten bieden echter ook beschutting aan verschillende diersoorten en zijn een plaats waar soorten zich op kunnen vestigen. De diversiteit aan soorten neemt hierdoor toe. Wel is er een afname bij soorten die op en in zand- of sedimentbodems voorkomen. Het oppervlakte aan onbegroeide zand- of sedimentbodem wordt door de groei van het zeewier namelijk kleiner. Alle effecten van wakame zorgen er samen voor dat de soortensamenstelling en biodiversiteit in een gebied sterk verandert (Gittenberger, 2025) en hebben ook effect op kenmerkende soorten voor habitattypen in de Zeeuwse Delta en Waddenzee, die als kwaliteitsindicator dienen voor deze Natura-2000 gebieden.

Japans bessenwier kan een ecosysteem in een gebied domineren. Het vormt planten die dicht op elkaar groeien, meters lang worden en vele vertakkingen hebben met drijvende 'besjes'. Japans bessenwier verandert daardoor net als wakame de stroming en sedimentatie in een gebied. Bovendien vormt Japans bessenwier een dichte laag aan het oppervlakte van het water die vrijwel geen zonlicht doorlaat. Andere zeewiersoorten kunnen daardoor niet goed meer groeien en verdwijnen (Gittenberger, 2025). De effecten van Japans bessenwier zijn vergelijkbaar met die van wakame.

Ook stijf priemwier kan een ecosysteem in een gebied domineren. De planten van stijf priemwier zijn weliswaar minder groot dan die van wakame en Japanse bessenwier, maar groeien wel boven de inheemse soorten op de bodem uit. Deze soorten krijgen daardoor minder zonlicht en nutriënten. Stijf priemwier laat nauwelijks andere begroeiing toe en overgroeit sedimentbodems zo goed als volledig. Ook heeft stijf priemwier een vlezige structuur, waardoor andere soorten zich er niet goed op kunnen vestigen. Bovendien sterven de planten van stijf priemwier aan het eind van het groeiseizoen af en verrotten dan sneller dan inheemse zeewieren. Vooral in afgesloten binnenwateren kan daardoor verzuring optreden en het zuurstofgehalte in het water sterk dalen. Hierdoor verslechtert de waterkwaliteit. Dit heeft een negatief effect op het bereiken van de KRW doelstellingen. Wanneer het zuurstofgehalte te laag wordt, leidt dit tot sterfte van met name inheemse schelpdieren. Doordat verschillende uitheemse soorten toleranter zijn voor een laag zuurstofgehalte dan inheemse soorten, bevordert stijf priemwier indirect de vestiging van uitheemse soorten (Gittenberger, 2025). De veranderingen die stijf priemwier teweegbrengt, kunnen ook een effect hebben op kenmerkende soorten voor habitattypen in de Zeeuwse Delta en Waddenzee, die als kwaliteitsindicator dienen voor deze Natura-2000 gebieden.

Geperforeerde zeesla is alleen met behulp van DNA analyses te onderscheiden van inheemse zeesla soorten, waardoor de impact van deze soort minder goed zichtbaar is. Geperforeerde zeesla

is lokaal echter dominant aanwezig op dijken en lijkt daarbij sterk te concurreren met inheemse zeesla soorten (Gittenberger, 2025).

In tegenstelling tot de bovenstaande soorten, hebben vleugelkelp en riemwier zich niet in Nederland gevestigd (Gittenberger et al., 2020a). Daardoor is er minder informatie beschikbaar over de mogelijke impact van deze soorten op de natuur in Nederland. Op basis van hun eigenschappen kan echter een inschatting gemaakt worden van de impact die zij op de natuur in Nederland zouden kunnen hebben. Vleugelkelp behoort net als wakame tot de kelpwieren en vormt ook grote planten met bladeren tot wel vier meter lang (Gittenberger et al., 2020a; Gittenberger, 2025). Vleugelkelp zal daarom naar alle waarschijnlijkheid vergelijkbare effecten hebben op het ecosysteem als wakame. Riemwier vormt planten die tot een meter lang worden en groeit net als Japans bessenwier met vele individuen vlak naast elkaar. De planten van riemwier kunnen daardoor net als Japans bessenwier en wakame de stroming en sedimentatie in een gebied veranderen (Gittenberger, 2025). Riemwier zal daarom naar alle waarschijnlijkheid vergelijkbare effecten op het ecosysteem hebben als Japans bessenwier en wakame.

5.5.3 Introductie, vestiging en verspreiding

De verspreiding van vrijgekomen sporen en losgeslagen fragmenten van zeewier vindt vooral plaats via stroming. Daarvoor moet het zeewier wel enige tijd kunnen overleven zonder vastgehecht te zitten. Van zeesla is bijvoorbeeld bekend dat dit mogelijk is (‘losdrijvend bestaan’) (Gittenberger et al., 2020a). Daarnaast speelt mee of het zeewier makkelijk blijft drijven (bijvoorbeeld knotswier met speciale blazen) of dat het vrijwel direct naar de bodem zinkt als het losgekomen is (bijvoorbeeld vleugelkelp en wakame) (Gittenberger et al., 2020a). Zeewieren kunnen zich via stromingen op een natuurlijke wijze verspreiden, maar kunnen ook door menselijke activiteiten worden verspreid. Dit kan bewust gebeuren, bijvoorbeeld wanneer het uitgangsmateriaal voor de zeewierteelt uit een ander gebied wordt gehaald. Zeewieren kunnen echter ook onbewust verspreid worden, bijvoorbeeld door mee te liften met uitgangsmateriaal dat uit een ander gebied wordt gehaald. Ook kunnen zij onbewust verspreid worden via aangroei op schepen die in verschillende gebieden varen. Dit geldt ook voor de schepen die bij de teelt of wildvangst van zeewier worden ingezet.

Voor vestiging is het van belang of er een geschikte habitat is. Het gaat om factoren als de aanwezigheid van een vaste ondergrond (bijvoorbeeld rotskust), geschikte temperatuur van het water en voldoende zonlicht (geringe troebelheid van water) (Gittenberger et al., 2020a).

De meeste zeewiersoorten die in Noordwest-Europa voorkomen, kunnen via stroming op natuurlijke wijze de Nederlandse wateren bereiken en zich daar, bij een geschikte habitat, mogelijk vestigen.

In Nederland bieden met name de Zeeuwse Delta en de Waddenzee vestigingsmogelijkheden voor uitheemse zeewiersoorten. Er is daar hard substraat waar het zeewier zich op kan vestigen en het water laat voldoende zonlicht door. De Nederlandse kust is minder geschikt voor vestiging, omdat het water relatief troebel is en er weinig hard substraat voorhanden is. Verder uit de kust is het water dusdanig diep dat het zonlicht er voor de meeste zeewiersoorten onvoldoende ver in doordringt om zich te kunnen vestigen (Gittenberger, 2025).

In Tabel 30 staan de geïnventariseerde en voor teelt in windmolenparken voorgestelde uitheemse zeewiersoorten. Stijf priemwier, Japans bessenwier, geperforeerde zeesla en wakame zijn al algemeen aanwezig in een deel van de Nederlandse wateren. Japans bessenwier is sinds 1977 langs de hele Nederlandse kust waargenomen, stijf priemwier is wijd verspreid in de Oosterschelde, en geperforeerde zeesla is langs de volledige Nederlandse kust aanwezig (Gittenberger et al., 2020b). Wakame is waargenomen in beschutte gebieden zoals de Oosterschelde (sinds 1999) en jachthavens van de Westerschelde en de Waddenzee (specifieker: Terschelling sinds 2008) (Gittenberger et al., 2020a). Palmwier heeft zich nog niet gevestigd in Nederland, maar kan de Nederlandse kust op natuurlijke wijze bereiken en spoelt geregeld aan (Gittenberger et al., 2020b). Ook van vleugelkelp en riemwier zijn wel aanspoelsels maar nog geen gevestigde, vastzittende exemplaren/individuen aangetroffen in Nederland (Gittenberger et al., 2020a).

Tabel 30 Uitheemse zeewiersoorten die in Nederland geteeld worden (plus wildvangst) en/of potentieel geschikt zouden zijn voor teelt binnen windmolenparken (Gittenberger et al., 2020a).

Nederlandse naam	Latijnse naam	Inheems /uitheems		Geïntroduceerd in Nederland	Verspreid in Nederland	Gevestigd in Nederland
		Nederland	Noord-west-Europa$			
Geteelde uitheemse zeewiersoorten in Nederlandse zeewierteelt						
Stijf priemwier	***Agardhiella subulata***	uitheems	uitheems	ja	ja	ja
Japans bessenwier	***Sargassum muticum***	uitheems	uitheems	ja	ja	ja
Geperforeerde zeesla	***Ulva australis***	uitheems	uitheems	ja	ja	ja
Wakame*	***Undaria pinnatifida***	uitheems	uitheems	ja	ja	ja
Palmwier*#	***Palmaria palmata***	uitheems	inheems	aanspoelsel	nee	nee
Zeewiersoorten die potentieel geschikt zouden zijn voor teelt binnen windmolenparken						
Vleugelkelp	***Alaria esculenta***	uitheems	inheems	aanspoelsel	nee	nee
Riemwier	***Himanthalia elongata***	uitheems	inheems	aanspoelsel	nee	nee

#palmwier is alleen aangetroffen in een quarantaine bak bij een kweker van uitgangsmateriaal.
*palmwier en wakame zouden ook potentieel geschikt zijn voor teelt in windmolenparken.
$ De zee rondom Groot Brittannië en Ierland plus de Noordzee van de Noordkust van Bretagne (Frankrijk) tot en met de Noordpunt van Denemarken (Gittenberger et al., 2020a).

5.5.4 Risicoschatting zeewierteelt

Alle zeven uitheemse zeewiersoorten die al geteeld worden of voor teelt in windmolenparken op de Noordzee zijn voorgesteld hebben een impact op de Nederlandse natuur of zouden dit kunnen hebben als zij zich hier zouden vestigen (zie paragraaf 5.5.2). Om te bepalen of zeewierteeltactiviteiten de impact van een uitheemse zeewiersoort vergroten en daardoor een additioneel risico vormen, wordt ingeschat in hoeverre deze activiteiten de kans op introductie, vestiging en verspreiding van uitheemse zeewiersoorten vergroten (Gittenberger et al., 2020a; Gittenberger et al., 2020b).

5.5.4.1 Factoren die introductie, vestiging en verspreiding beïnvloeden

Een aantal factoren is van invloed op de mogelijke introductie, vestiging en verspreiding van uitheemse soorten: de locatie van de teelt, het gebruikte uitgangsmateriaal, het type teeltsysteem en wat er met de zeewieroogst wordt gedaan.

De kans op verspreiding van uitheemse soorten wordt vergroot als zeewier op de ene plaats wordt verzameld en vervolgens op een andere plaats geteeld. Ook het gebruik van uitgangsmateriaal afkomstig uit het buitenland vergroot de kans op introductie, vestiging en verspreiding van uitheemse soorten. Uit het in 2019 uitgevoerde onderzoek blijkt dat in de Nederlandse zeewierteelt het uitgangsmateriaal vooral lokaal, uit de directe omgeving van de teelt, wordt verzameld. In deze situatie wordt de kans op verspreiding van uitheemse soorten als gering beoordeeld.

Voor het bepalen van een mogelijk verhoogde kans op de introductie, vestiging en verspreiding van uitheemse soorten als gevolg van de zeewierteelt, speelt naast de geteelde zeewiersoort ook het type teeltsysteem een rol. In Nederland zijn twee typen teeltsystemen te onderscheiden: hangcultures in open water en teelt in gesloten bakken op het land (zie paragraaf 3.2.2). In de afgesloten bakken op het land is er een betere controle van de teeltomstandigheden dan in de

natuur. Belangrijk is wat er gebeurt met het water uit de bakken na de oogst. Bij de teelt in gesloten bakken in Nederland wordt op één plek ook een uitheemse soort geteeld die nog niet in Nederland voorkomt. Hier wordt het water na verversing afgevoerd door de plaatselijke gemeente die het gebruikt voor de productie van zeezout (Gittenberger et al., 2020b). Bij de teelt via hangcultures in open water is er onderscheid tussen locaties op open zee en beschutte locaties die in verbinding staan met open zee (Gittenberger et al., 2020a). Op hangcultures in de Noordzee werden weinig uitheemse soorten aangetroffen. Ook in de bakken op land zijn bijna geen uitheemse soorten aangetroffen. De meeste uitheemse soorten zijn aangetroffen bij hangcultures in beschut open water en bij wildvangst. Verder is de kans op vestiging van uitheemse soorten kleiner als het teeltsysteem in de zomermaanden, de maanden waarin de meeste mariene soorten zich vestigen, uit het water gehaald wordt (Gittenberger et al., 2020b). Dit is mogelijk bij zeewiersoorten die in de winter groeien en geoogst worden in het voorjaar/vroege zomer, zoals suikerwier (inheems), wakame en stijf priemwier (Tabel 1 in paragraaf 3.1.3). Of dit standaard gebeurt is niet bekend.

Een andere belangrijke factor bij het bepalen van een verhoogde kans op introductie, vestiging en verspreiding is wat er met het geoogste zeewier gedaan wordt. Als dat niet gebruikt wordt voor het opkweken van uitgangsmateriaal, maar verkocht wordt voor consumptie of een non-food toepassing, is de kans op vestiging en verspreiding via die route vrijwel nihil. Het zeewier van de Nederlandse zeewierboerderijen was of bestemd voor consumptie of voor onderzoeksdoeleinden, het werd niet gebruikt voor verdere opkweek of teelt in ander water (Gittenberger et al., 2020b).

5.5.4.2 Inschatting additioneel risico

Niet geteelde uitheemse soorten

De aangetroffen uitheemse diersoorten (paragraaf 5.5.1.2) staan allemaal bekend als gevestigde soorten in het gebied waar het zeewier werd geteeld. Dit geldt ook voor de tien uitheemse zeewiersoorten die niet werden geteeld, maar wel in de zeewierteelt zijn aangetroffen (Gittenberger et al., 2020b). Doordat deze uitheemse soorten zich al in het gebied hadden gevestigd, vormden de zeewierteeltactiviteiten met betrekking tot deze uitheemse soorten geen additioneel risico voor de natuur.

Uitheemse geteelde zeewiersoorten

Voor zeven uitheemse geteelde en potentieel voor teelt geschikte zeewiersoorten is ingeschat in hoeverre de huidige zeewierteeltactiviteiten en de mogelijke toekomstige teelt in windmolenparken op de Noordzee de aanwezigheid in Nederland vergroten en de impact op de natuur doen toenemen. Op basis hiervan is voor deze uitheemse zeewiersoorten bepaald of de huidige zeewierteeltactiviteiten en de mogelijke toekomstige teelt in windmolenparken op de Noordzee een additioneel risico voor de natuur vormen.

Palmwier, vleugelkelp en riemwier zijn inheems in andere delen van Noordwest-Europa en spoelen aan de Noordzeekust regelmatig aan, maar er zijn nog geen gevestigde, vastzittende exemplaren aangetroffen. Mogelijk komt dit doordat de Nederlandse kust geen rotsachtige plekken met een sterke stroming heeft. Doordat deze soorten zich hier niet goed kunnen vestigen, is de kans klein dat deze soorten een impact op de natuur hebben wanneer zij in windmolenparken op de Noordzee geteeld worden (Gittenberger et al., 2020a). Bovendien zouden deze soorten zich ook op natuurlijke wijze in windmolenparken kunnen vestigen. Teelt van deze soorten in windmolenparken vormt daarmee geen additioneel risico voor de natuur mits er gebruik wordt gemaakt van lokaal of zee stroomopwaarts verzameld uitgangsmateriaal.

Japans bessenwier en geperforeerde zeesla komen al algemeen langs de hele Nederlandse kust en in de Zeeuwse delta voor (Gittenberger et al., 2020a; Van der Loos, 2025). Stijf priemwier komt in de Oosterschelde, de Grevelingen en het Veerse Meer wijd verspreid voor (Gittenberger et al., 2020a; Gittenberger, 2025). Omdat deze soorten zich al gevestigd hebben in de gebieden waar zij geteeld worden en daar algemeen voorkomen, zal de impact van deze soorten op de natuur door de huidige zeewierteeltactiviteiten naar alle waarschijnlijkheid niet toenemen. De teelt van deze soorten in deze gebieden vormt daardoor geen additioneel risico voor de natuur zolang er gebruik wordt gemaakt van lokaal verzameld uitgangsmateriaal.

Wakame komt op enkele plekken in Nederland voor, maar groeit hier alleen op relatief beschut gelegen plaatsen. Wakame wordt al sinds 1999 waargenomen in de Oosterschelde en komt daar zeer algemeen voor. De teelt van wakame in de Oosterschelde zal de impact die deze soort op de natuur heeft daarom naar alle waarschijnlijkheid niet doen toenemen zolang gebruik wordt gemaakt van uitgangsmateriaal uit de directe omgeving van de teelt (Gittenberger et al., 2020b). Wanneer wakame in windmolenparken op de Noordzee geteeld zou worden, zal de soort zich naar verwachting niet over grote afstanden verspreiden, omdat wakame meestal wordt geoogst voordat er sporen zijn gevormd, en de sporen en bladeren van wakame vrij snel zinken. Hoewel enkele individuen de Waddenzee zouden kunnen bereiken, zal dit de impact op de natuur naar alle waarschijnlijkheid niet verhogen, omdat zich nabij de jachthaven van Terschelling al een wakame populatie bevindt. Ook noordelijker in de Waddenzee (ter hoogte van de Duitse en Deense grens) komt wakame al voor (Gittenberger et al., 2020a). De teelt van wakame in de Oosterschelde of in windmolenparken op de Noordzee levert daarmee geen additioneel risico op voor de natuur mits het uitgangsmateriaal voor de teelt afkomstig is uit de directe omgeving en daarom alleen op relatief beschutte plaatsen groeit.

5.5.4.3 Risico's bij veranderingen in zeewierteelt

De teelt van zeewier kan een groter risico voor de natuur opleveren als zich vergeleken met de huidige situatie veranderingen voordoen in de teeltlocaties, de wijze waarop uitgangsmateriaal wordt verzameld, in gebruikte zeewiersoorten of in teeltmethoden.

Wanneer de zeewierteelt op grotere schaal gaat plaatsvinden, kan het aantal zich verspreidende delen dat zich kan voortplanten (hoeveelheid sporen en levensvatbare losrakende delen) toenemen. Hierdoor zou uitheems zeewier zich mogelijk over grotere afstanden kunnen verspreiden en zich in grotere hoeveelheden kunnen vestigen, waardoor het risico voor de natuur toeneemt.

Uitgangsmateriaal

Ook veranderingen in de geteelde uitheemse zeewiersoorten en teeltlocaties, doen het risico voor de natuur toenemen. Bij het gebruik van uitheemse zeewiersoorten die nog niet in Nederland voorkomen, worden nieuwe uitheemse zeewiersoorten in Nederland geïntroduceerd. Bij teelt van uitheemse zeewiersoorten die al wel in Nederland voorkomen, maar nog niet in de omgeving van de teeltlocatie worden aangetroffen, neemt de verspreiding van deze soorten toe. Het telen van uitheemse zeewiersoorten die niet algemeen voorkomen in de omgeving van de teeltlocatie, zorgt voor een toegenomen aanwezigheid van deze soorten. Uitheemse zeewiersoorten die voor teelt of wildvangst in aanmerking komen, zijn meestal soorten die snel groeien. Zij zullen daarom waarschijnlijk vaak een negatieve impact op de natuur hebben. Dergelijke veranderingen zouden het risico voor de natuur dus doen toenemen.

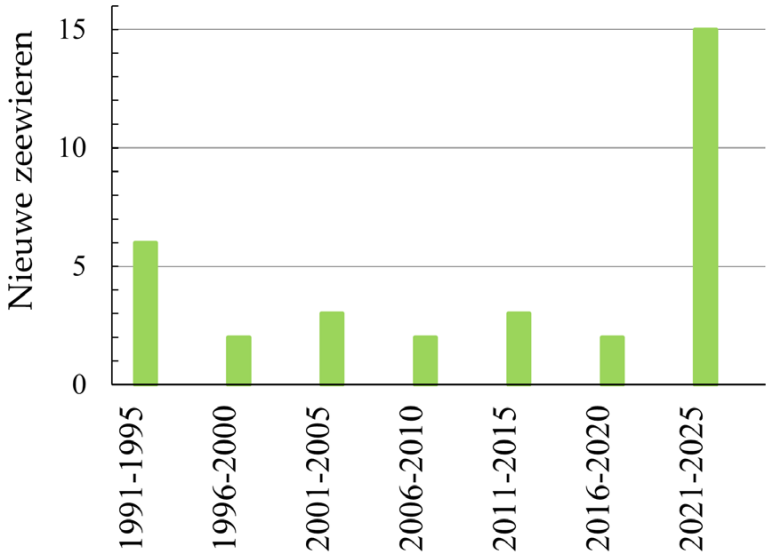
Ook wanneer cultivars of hybriden als uitgangsmateriaal worden gebruikt, kan dit voor een groter risico voor de natuur zorgen. Er wordt gewerkt aan de ontwikkeling van cultivars en hybriden met eigenschappen die gunstig zijn voor de zeewierteelt, bijvoorbeeld omdat zij de productie verhogen of ervoor zorgen dat het zeewier op meer plaatsen geteeld kan worden. Deze eigenschappen kunnen het risico voor de natuur echter doen toenemen. Dit is bijvoorbeeld het geval als de cultivar of hybride sneller groeit en hierdoor inheemse soorten wegconcurreert, zich op andere plaatsen kan vestigen of beter bestand is tegen de omstandigheden op volle zee. Met betrekking tot de uitheemse zeewiersoorten die op dit moment worden geteeld of voor teelt op windmolenparken in aanmerking komen, zou deze situatie zich bijvoorbeeld bij wakame, maar ook bij palmwier, vleugelkelp of riemwier kunnen voordoen. Het wakame dat in Nederland voorkomt, groeit alleen op relatief beschut gelegen plaatsen. Er zijn echter ook populaties, cultivars en een hybride tussen vleugelkelp en wakame, die zich wel op plaatsen met veel stroming en golfslag (sterk geëxponeerde plaatsen) kunnen vestigen (Gittenberger et al., 2020a). Als deze wakame populaties, cultivars of hybride als uitgangsmateriaal voor de teelt gebruikt zouden worden, dan zou de impact van wakame op de natuur sterk toenemen, omdat deze wakame op meer plaatsen kan groeien dan nu het geval is. Het telen van dergelijke wakame zou het risico voor de natuur daarom sterk verhogen. Ditzelfde is het geval wanneer bij de teelt van palmwier, vleugelkelp en riemwier uitgangsmateriaal gebruikt zou worden van populaties of cultivars die zich wel in Nederlandse wateren kunnen vestigen. Ook in dat geval zal de teelt het risico voor de natuur sterk verhogen (Gittenberger et al., 2020a).

Wanneer uitgangsmateriaal niet langer lokaal wordt verzameld, maar van een andere plaats wordt gehaald, kunnen andere soorten met het zeewier meeliften en zich zo verspreiden. Hierdoor kunnen nieuwe uitheemse soorten in Nederland geïntroduceerd worden en zich hier vestigen. Ook kunnen uitheemse soorten die al in Nederland voorkomen zich hierdoor binnen Nederland verder verspreiden. In beide gevallen levert dit een risico voor de natuur op, doordat er uitheemse soorten in een gebied kunnen worden geïntroduceerd die een nadelige impact hebben op de daar voorkomende soorten. Uitgangsmateriaal dat van elders afkomstig is, levert daardoor een risico op voor de natuur.

In 2019 werd het uitgangsmateriaal door Nederlandse zeewierboerderijen lokaal verzameld. Inmiddels zijn er diverse aanwijzingen dat uitgangsmateriaal ook van andere plaatsen afkomstig is. Zo werd op internet vleugelkelp (*Alaria esculenta*) te koop aangeboden die in de Oosterschelde werd geteeld, maar daar eerder niet voorkwam (Gittenberger, 2025). Deze soort was tot dan toe alleen als aanspoelsel aan de Nederlandse kust gevonden (Van der Loos et al., 2021). Ook worden er verschillende zeewiersoorten op internet te koop aangeboden die uit de Oosterschelde worden gehaald (wildvangst) (Rungis, 2025) maar daar eerder niet voorkwamen. Dit geldt bijvoorbeeld voor het inheemse vingerwier (*Laminaria digitata*) dat eerder alleen dichtbij Texel voorkwam (Van der Loos, 2025), maar ook voor de uitheemse soorten palmwier (*Palmaria palmata*) en riemwier (*Himanthalia elongata*). Van deze twee uitheemse soorten werden eerder alleen aanspoelsels aan de Nederlandse kust gevonden (Van der Loos et al., 2021). Daarnaast is er wetenschappelijk onderzoek uitgevoerd met uit het buitenland afkomstig materiaal van het inheemse suikerwier (*Saccharina latissima*), dat in Nederland was opgekweekt. Overigens worden er voor onderzoeksdoeleinden ook uitheemse zeewiersoorten, zoals palmwier en vleugelkelp gekweekt (Gittenberger, 2025).

Toename uitheemse zeewiersoorten

Het aantal nieuwe uitheemse zeewiersoorten dat in Nederlandse wateren wordt gevonden, is de afgelopen jaren sterk toegenomen (Figuur 10). Ook dit is een indicatie dat er inmiddels mogelijk ook uitgangsmateriaal uit het buitenland wordt gebruikt. In de afgelopen vier jaar zijn er 15 nieuwe uitheemse zeewiersoorten gevonden. Dit is veel meer dan gebruikelijk. Normaal gesproken worden er in Nederland in een periode van vijf jaar steeds twee of drie nieuwe uitheemse zeewiersoorten gevonden. Alleen van 1991 tot 1995 werden er zes nieuwe soorten gevonden. Dit hoge aantal is waarschijnlijk het gevolg van Japanse oestertransporten die sinds de jaren negentig onder andere vanwege hun rol bij de introductie, vestiging en verspreiding van uitheemse soorten zijn gestopt (Gittenberger, 2025). De recente toename kan hier dus niet door verklaard worden.



Figuur 10 Het aantal nieuwe uitheemse zeewiersoorten dat in Nederland van 1991 tot 2025 is ontdekt. Figuur overgenomen uit (Gittenberger, 2025).

Het is niet bekend in hoeverre de teelt van zeewier verantwoordelijk is voor de recente toename van het aantal nieuwe uitheemse zeewiersoorten in Nederlandse wateren. Sinds 2009 wordt er steeds intensiever gezocht naar nieuwe uitheemse soorten, maar intensievere monitoring biedt geen goede verklaring voor de toename van het aantal nieuwe uitheemse zeewiersoorten, omdat dit aantal pas recent sterk is gestegen en bovendien veel sterker is gestegen dan andere groepen organismen. Ook scheepvaart biedt geen goede verklaring voor deze plotselinge toename, omdat andere groepen organismen die net als zeewier via aangroei op scheepshuiden verspreid kunnen worden niet in dezelfde mate zijn toegenomen. Bovendien is het opvallend dat negen van de in de afgelopen vier jaar gevonden nieuwe zeewiersoorten behoren tot groepen waarvan bekend is dat zij geteeld worden: zeesla (*Ulva* spp.) en nori (*Porphyra* spp*., Neopyropia* spp. en *Pyropia* spp.). Doordat deze uitheemse soorten nu in Nederland zijn aangetroffen, is er bij een eventuele teelt van deze soorten geen vergunning meer vereist onder de verordening uitheemse soorten en aquacultuur. *Ulva*-soorten worden in Nederland geteeld en de mogelijkheden voor teelt in Nederland van soorten die als nori gebruikt kunnen worden, wordt onderzocht. Bij beide groepen komen er in Nederland inheemse soorten voor en zijn de soorten binnen de groep op basis van hun uiterlijk moeilijk uit elkaar te houden. Bij groepen waarvan de soorten morfologisch moeilijk van elkaar te onderscheiden zijn, zoals *Ulva* spp., *Porphyra* spp*./Neopyropia* spp*./Pyropia* spp. en *Gracilaria* spp*.*, is het zonder DNA-determinatie vaak niet duidelijk welke soort geteeld wordt, waardoor het niet is uitgesloten dat onbedoeld een (invasieve) uitheemse soort wordt geteeld (Gittenberger, 2025).

5.5.5 Conclusie risico's uitheemse soorten

Uitheemse zeewiersoorten vormen een risico voor de natuur. Zij kunnen het ecosysteem en het gebied waarin zij zich vestigen veranderen en hebben een negatieve impact op de inheemse zeewiersoorten die in een gebied voorkomen. Op andere soorten kunnen zij zowel een negatieve als een positieve impact hebben. Uitheemse zeewiersoorten die voor teelt of wildvangst in aanmerking komen, zijn meestal soorten die snel groeien. Zij zullen daarom waarschijnlijk vaak een negatieve impact op de natuur hebben. Bij andere uitheemse zeewiersoorten hoeft dit niet noodzakelijkerwijs het geval te zijn.

Bij verschillende soortgroepen met zowel inheemse als uitheemse soorten, zoals *Ulva, Porphyra/Neopyropia/Pyropia* en *Gracilaria,* zijn de soorten morfologisch moeilijk van elkaar te onderscheiden. Hierdoor kan in plaats van een inheemse soort mogelijk onbedoeld een (invasieve) uitheemse soort geteeld worden. Dit kan worden voorkomen door het uitgangsmateriaal met behulp van DNA analyses te typeren.

Er zijn meerdere uitheemse soorten, zowel zeewiersoorten als diersoorten, bij de zeewierboerderijen en de wildvangst gevonden die een risico vormen voor de Nederlandse natuur. De meeste uitheemse zeewiersoorten en andere uitheemse organismen zijn aangetroffen bij hangcultures in beschut open water en bij de wildvangst. De bij de zeewierteelt aangetroffen uitheemse diersoorten en niet geteelde zeewiersoorten, staan in de betreffende gebieden allemaal al bekend als gevestigde soorten waardoor er geen sprake is van een additioneel risico voor de natuur.

Uitheemse zeewiersoorten die in delen van Nederland geteeld worden (plus wildvangst) en/of potentieel geschikt zijn voor teelt binnen windmolenparken zijn: stijf priemwier (*Agardhiella subulata*), Japans bessenwier (*Sargassum muticum*), geperforeerde zeesla (*Ulva australis*), wakame (*Undaria pinnatifida*), palmwier (*Palmaria palmata*), vleugelkelp (*Alaria esculenta*) en riemwier (*Himanthalia elongata*). Al deze zeven uitheemse zeewiersoorten hebben een impact op de Nederlandse natuur of kunnen dit hebben als zij zich hier zouden kunnen vestigen.

De huidige zeewierteeltactiviteiten met stijf priemwier, Japans bessenwier, geperforeerde zeesla en wakame leveren bij gebruik van lokaal verzameld uitgangsmateriaal echter geen additioneel risico voor de natuur op, omdat deze uitheemse soorten in de gebieden waar zij geteeld worden al algemeen voorkomen. In deze gebieden neemt door teelt de impact van deze uitheemse soorten op de Nederlandse natuur daarom niet toe.

Ook teelt in windmolenparken levert bij de beoordeelde uitheemse zeewiersoorten geen additioneel risico voor de natuur op wanneer het uitgangsmateriaal uit de directe omgeving van het windmolenpark afkomstig is. Palmwier, vleugelkelp en riemwier kunnen zich in Nederland niet goed vestigen en Japans bessenwier en geperforeerde zeesla komen al algemeen langs de hele

Nederlandse kust voor. Wakame komt op enkele plekken in Nederland voor. Het groeit hier alleen op relatief beschut gelegen plaatsen. Zolang voor de teelt gebruik is gemaakt van uitgangsmateriaal dat lokaal is verzameld en daarom alleen op relatief beschutte plaatsen groeit, zullen eventuele individuen van wakame die vanuit een windmolenpark de Waddenzee zouden kunnen bereiken, de impact op de natuur naar alle waarschijnlijkheid niet verhogen, onder andere omdat zich nabij de jachthaven in Terschelling al een wakame populatie bevindt en wakame ook al noordelijker in de Waddenzee voorkomt.

De teelt van uitheemse zeewiersoorten met een impact op de Nederlandse natuur, vormt dus niet altijd een additioneel risico. Ook kan de impact van uitheemse zeewiersoorten tussen gebieden verschillen. Dit betekent ook dat een uitheemse zeewiersoort in een nabijgelegen land een andere impact kan hebben dan in Nederland. Of een uitheemse zeewiersoort zich al heeft gevestigd in het gebied waar men deze wil gaan telen en de mate waarin de soort daar voorkomt, bepaalt in sterke mate of de teelt een additioneel risico voor de natuur vormt. Als een uitheemse zeewiersoort nog niet in een gebied voorkomt of daar nog geen algemene soort is, dan levert het telen van deze soort een risico voor de natuur op. Als een uitheemse zeewiersoort echter al wijdverspreid over het gebied voorkomt en daar een algemene soort is, zal teelt de impact van het zeewier op de natuur over het algemeen niet doen toenemen. Hierbij is het wel belangrijk dat het uitgangsmateriaal lokaal is verzameld. De sterke toename van het aantal nieuwe uitheemse zeewiersoorten in Nederland is een aanwijzing dat dit niet altijd het geval is. Als het uitgangsmateriaal niet uit het gebied zelf afkomstig is, levert teelt wel een additioneel risico voor de natuur op. Het geteelde zeewier kan dan andere eigenschappen hebben dan het uitheemse zeewier dat al in het gebied aanwezig is en mogelijk een grotere impact op de natuur hebben. Om dezelfde reden levert ook het gebruik van cultivars of hybriden een additioneel risico voor de natuur op. Er wordt bewust gezocht naar zeewierpopulaties en gewerkt aan de ontwikkeling van cultivars en hybriden met eigenschappen die gunstig zijn voor de zeewierteelt. Sommige van deze eigenschappen zorgen er echter voor dat het risico voor de natuur toeneemt.

Het gebruik van niet-lokaal verzameld uitgangsmateriaal levert ook een risico voor de natuur op, omdat uitheemse soorten met een nadelige impact voor de Nederlandse natuur met dit uitgangsmateriaal kunnen meeliften. Daardoor kunnen ze in Nederland geïntroduceerd worden of zich binnen Nederland verder verspreiden.

6 Referenties

ACS/MSC, 2018. ASC-MSC Seaweed (Algae) Standard. Aquaculture Steward Council (ASC) & Marine Stewardship Council (MSC), London, 92 pp. Beschikbaar online: https://www.asc-aqua.org/wp-content/uploads/2017/11/ASC-MSC-Seaweed-Standard.pdf

AESAN, 2012. Report of the Scientific Committee of the Spanish Agency for Food Safety and Nutrition (AESAN) for the assessment of the risk associated with the consumption of macroscopic algae with a high iodine content. Spanish Agency for Food Safety and Nutrition. Beschikbaar online: https://www.aesan.gob.es/AECOSAN/docs/documentos/seguridad_alimentaria/evaluacion_riesgos/informes_cc_ingles/MACROSCOPIC_ALGAE_IODINE.pdf

Aiolfi A, Ferrari D, Riva CG, Toti F, Bonitta G & Bonavina L, 2018. Esophageal foreign bodies in adults: systematic review of the literature. Scand J Gastroenterol, 53 (10-11), 1171-1178. Beschikbaar online: https://doi.org/10.1080/00365521.2018.1526317

Akomea-Frempong S, Skonberg DI, Arya R & Perry JJ, 2023. Survival of inoculated *Vibrio* spp., shigatoxigenic *Escherichia coli*, *Listeria monocytogenes*, and *Salmonella* spp. on seaweed (sugar kelp) during storage. Journal of Food Protection, 86 (7), 100096. Beschikbaar online: https://doi.org/10.1016/j.jfp.2023.100096

Albakosh MA, Naidoo RK, Kirby B & Bauer R, 2016. Identification of epiphytic bacterial communities associated with the brown alga *Splachnidium rugosum*. Journal of Applied Phycology, 28 (3), 1891-1901. Beschikbaar online: https://doi.org/10.1007/s10811-015-0725-z

Alsulaiman MA, 2011. Microbiological quality of locally produced *Spirulina* in comparison with a commercial sample. Biosciences Biotechnology Research Asia, 8 (1), 137-141. Beschikbaar online: https://doi.org/10.13005/bbra/835

Ambe P, Weber SA, Schauer M & Knoefel WT, 2012. Swallowed foreign bodies in adults. Dtsch Arztebl Int, 109 (50), 869-875. Beschikbaar online: https://doi.org/10.3238/arztebl.2012.0869

Ammerlaan FHM, 2022. MIP Seaweed for food and feed [Webpagina]. Beschikbaar online: https://www.wur.nl/nl/onderzoek-resultaten/onderzoeksprojecten-lnv/soorten-onderzoek/kennisonline/mip-seaweed-for-food-and-feed.htm [Geraadpleegd: 12-04-2023].

Anoniem, 2014. 'Laverbread' salmonella outbreak: Five fresh cases emerge [Webpagina]. Beschikbaar online: https://www.bbc.com/news/uk-wales-south-west-wales-26875847 [Geraadpleegd: 19-02-2024].

ANSES, 2018. On the risk of excess iodine intake from the consumption of seaweed in foodstuffs. Agence nationale de sécurité sanitaire de l'alimentation, de l'environnement et du travail, Maisons-Alfort, 24 pp. Beschikbaar online: https://www.anses.fr/en/system/files/NUT2017SA0086EN.pdf

ANSES, 2019. Valeurs toxicologiques de référence. La cylindrospermopsine. Agence nationale de sécurité sanitaire de l'alimentation, de l'environnement et du travail, Maisons-Alfort, 80 pp. Beschikbaar online: https://www.anses.fr/fr/system/files/VSR2016SA0298Ra.pdf

ANSES, 2020. Opinion of the French Agency for Food, Environmental and Occupational Health & Safety on "maximum cadmium levels for seaweed intended for human consumption". Agence nationale de sécurité sanitaire de l'alimentation, de l'environnement et du travail, Maisons-Alfort. Beschikbaar online: https://www.anses.fr/en/system/files/ERCA2017SA0070EN.pdf

Araújo R & Peteiro C, 2021. Algae as food and food supplements in Europe. Joint Reseach Centre, Luxembourg. Beschikbaar online: https://doi.org/10.2760/049515

Argudin MA, Mendoza MC & Rodicio MR, 2010. Food poisoning and *Staphylococcus aureus* enterotoxins. Toxins, 2 (7), 1751-1773. Beschikbaar online: https://doi.org/10.3390/toxins2071751

Aristoteles Consulting, 2023. Radioactiviteit [Webpagina]. Beschikbaar online: https://aristoteles-consulting.com/radioactiviteit/ [Geraadpleegd: 16-10-2023].

Arumugaswamy RM & Proudford RW, 1987. The occurrence of *Campylobacter jejuni* and *Campylobacter coli* in Sydney rock oyster (*Crassostrea commercialis*). International Journal of Food Microbiology, 4, 101-104. Beschikbaar online: https://doi.org/10.1016/0168-1605(87)90015-8

ATSDR, 2007. Toxicological profile for arsenic. The Agency for Toxic Substances and Disease Registry. Beschikbaar online: https://www.atsdr.cdc.gov/toxprofiles/tp2.pdf

Baker-Austin C, Stockley L, Rangdale R & Martinez-Urtaza J, 2010. Environmental occurrence and clinical impact of *Vibrio vulnificus* and *Vibrio parahaemolyticus*: a European perspective. Environtal Microbiology Reports, 2 (1), 7-18. Beschikbaar online: https://doi.org/10.1111/j.1758-2229.2009.00096.x

Banach JL, Hoek-Van den Hil EF & Van der Fels-Klerx HJ, 2020a. Food safety hazards in the European seaweed chain. Comprehensive Reviews in Food Science and Food Safety, 19 (2), 332-364. Beschikbaar online: https://doi.org/10.1111/1541-4337.12523

Banach JL, Hoffmans Y & Faassen EJ, 2024. A case study on Norwegian commercial harvesting and production of Saccharina latissima (Part 1): Effect of processing seaweed on chemical hazards, allergens, and microbiological hazards. Food Control, 162, 110461. Beschikbaar online: https://doi.org/10.1016/j.foodcont.2024.110461

Banach JL, Hoffmans Y, Faassen EJ & Hoek - Van den Hil EF, 2020b. Food safety in the seaweed food supply chain. Inventory of production, consumption and chemical and physical hazards. Wageningen Food Safety Research (WFSR), Wageningen. Beschikbaar online: https://doi.org/10.18174/528577

Banach JL, Koch SJI, Hoffmans Y & Van den Burg SWK, 2022. Seaweed value chain stakeholder perspectives for food and environmental safety hazards. Foods, 11 (10), 1514. Beschikbaar online: https://doi.org/10.3390/foods11101514

Barberi ON, Byron CJ, Burkholder KM, St Gelais AT & Williams AK, 2020. Assessment of bacterial pathogens on edible macroalgae in coastal waters. Journal of Applied Phycology, 32 (1), 683-696. Beschikbaar online: https://doi.org/10.1007/s10811-019-01993-5

Bath SC, Verkaik-Kloosterman J, Sabatier M, Ter Borg S, Eilander A, Hora K, Aksoy B, Hristozova N, Van Lieshout L, Besler HT & Lazarus JH, 2022. A systematic review of iodine intake in children, adults, and pregnant women in Europe—comparison against dietary recommendations and evaluation of dietary iodine sources. Nutrition Reviews, 80 (11), 2154-2177. Beschikbaar online: https://doi.org/10.1093/nutrit/nuac032

Batt CA, 2016. Chemical and Physical Hazards in Food. In, Reference Module in Food Science. Beschikbaar online: https://doi.org/10.1016/B978-0-08-100596-5.03437-5

BC Center for Disease Control 2013. Marine plant harvesting, licensing and safety as a food product. Beschikbaar online: http://www.bccdc.ca/resource-gallery/Documents/Educational%20Materials/EH/FPS/Food/bullkelpmarineproductsafety1.pdf

Beerman AA & Van Tuinen S, 2023. Bioavailability of iodine species from various commercially consumed seaweed species. 2023.004. Wageningen Food Safety Research (WFSR), Wageningen, 28 pp. Beschikbaar online: https://doi.org/10.18174.636611

Beleneva IA & Zhukova NV, 2006. Bacterial communities of some brown and red algae from Peter the Great Bay, the Sea of Japan. Microbiology, 75 (3), 348-357. Beschikbaar online: https://doi.org/10.1134/s0026261706030180

Bell R, Draper A, Fearnley E, Franklin N, Glasgow K, Gregory J, Harlock M, Hope K, Kane S, Miller M, Pingault N, Sloan-Gardner T, Stafford R, Ward K & Wright R, 2021. Monitoring the incidence and causes of disease potentially transmitted by food in Australia: Annual report of the OzFoodNet network, 2016. Commun Dis Intell, 45. Beschikbaar online: https://doi.org/10.33321/cdi.2021.45.52

Benincà E, Pijnacker R, Friesema I, Kretzschmar M, Franz E & Gras LM, 2024. The burden of disease of food-related pathogens in the Netherlands in 2022. Rijksinstituut voor Volksgezondheid en Milieu (RIVM), Bilthoven, 44 pp. Beschikbaar online: http://hdl.handle.net/10029/627300

BfR, 2007. Health risks linked to high iodine levels in dried algae. Bundesinstitut für Risikobewertung (BfR), Berlijn. Beschikbaar online: https://www.bfr.bund.de/cm/349/health_risks_linked_to_high_iodine_levels_in_dried_algae.pdf

BfR, 2022. Bacterial foodborne *Vibrio* infections: health risk assessment of the occurence of *Vibrio* spp. (non-cholera vibrios) in food. Bundesinstitut für Risicobewertung (BfR), Berlijn, 37 pp. Beschikbaar online: https://doi.org/10.17590/20220610-143340

Bil W, Ehrlich V, Chen G, Vandebriel R, Zeilmaker M, Luijten M, Uhl M, Marx-Stoelting P, Halldorsson TI & Bokkers B, 2023. Internal relative potency factors based on immunotoxicity for the risk assessment of mixtures of per- and polyfluoroalkyl substances

(PFAS) in human biomonitoring. Environment International, 171, 107727. Beschikbaar online: https://doi.org/10.1016/j.envint.2022.107727
Bil W, Zeilmaker M, Fragki S, Lijzen J, Verbruggen E & Bokkers B, 2021. Risk assessment of per- and polyfluoroalkyl substance mixtures: A relative potency factor approach. Environmental Toxicology and Chemistry, 40 (3), 859-870. Beschikbaar online: https://doi.org/10.1002/etc.4835
Bil W, Zeilmaker MJ & Bokkers BGH, 2022. Internal relative potency factors for the risk assessment of mixtures of per-and polyfluoroalkyl substances (PFAS) in human biomonitoring. Environmental Health Perspectives, 130 (7). Beschikbaar online: https://doi.org/10.1289/EHP10009
Blikra MJ, Løvdal T, Vaka MR, Roiha IS, Lunestad BT, Lindseth C & Skipnes D, 2019. Assessment of food quality and microbial safety of brown macroalgae (Alaria esculenta and Saccharina latissima). Journal of the Science of Food and Agriculture, 99 (3), 1198-1206. Beschikbaar online: https://doi.org/10.1002/jsfa.9289
Blikra MJ, Wang X, James P & Skipnes D, 2021. Saccharina latissima Cultivated in Northern Norway: Reduction of Potentially Toxic Elements during Processing in Relation to Cultivation Depth. Foods, 10 (6), 1290. Beschikbaar online: https://doi.org/10.3390/foods10061290
Bolinches J, Lemos ML & Barja JL, 1988. Population dynamics of heterotrophic bacterial communities associated with *Fucus vesiculosus* and *Ulva rigida* in an estuary. Microbial Ecology, 15 (3), 345-357. Beschikbaar online: https://doi.org/10.1007/Bf02012647
Bool M, 2021. Reducing intentionally added microplastics in the Dutch Agricultural Innovation System. A contribution to mitigate plastic pollution? Radboud University Nijmegen, Nijmegen, 61 pp. Beschikbaar online: https://www.plasticsoupfoundation.org/wp-content/uploads/2022/01/Thesis-Marina-Bool.pdf
Boon PE, Te Biesebeek JD, De Wit-Bos L & Van Donkersgoed G, 2014. Dietary exposure to dioxins in the Netherlands. RIVM Report 2014-0001. RIVM, Bilthoven, 62 pp. Beschikbaar online: https://www.rivm.nl/bibliotheek/rapporten/2014-0001.pdf
Boon PE, Van Donkergoed G, Wolterink G, Brants H, Drijvers J & Zeilmaker MJ, 2017. The intake of contaminants via a diet according to the Dutch Wheel of Five Guidelines. National Institute for Public Health and the Environment, Bilthoven. Beschikbaar online: https://doi.org/10.21945/RIVM-2017-0124
Boos M, 2021. Zeewiersector werkt hard aan normen ten behoeve van Europese en Nederlandse zeewierwetgeving. VMT. Beschikbaar online: https://www.vmt.nl/52077/zeewiersector-werkt-hard-aan-normen-ten-behoeve-van-europese-en-nederlandse-zeewierwetgeving
Boxman ILA, Verhoef L, Vennema H, Ngui S-L, Friesema IHM, Whiteside C, Lees D & Koopmans M, 2016. International linkage of two food-borne hepatitis A clusters through traceback of mussels, the Netherlands, 2012. Eurosurveillance, 21 (3), 30113. Beschikbaar online: https://doi.org/10.2807/1560-7917.ES.2016.21.3.30113
BuRO, 2011. Advies over de veiligheid van jodium in levensmiddelen. Nederlandse Voedsel- en Warenautoriteit -Bureau Risicobeoordeling & onderzoeksprogrammering, Utrecht. Beschikbaar online: https://www.nvwa.nl/documenten/consument/eten-drinken-roken/supplementen-en-preparaten/risicobeoordelingen/advies-over-veiligheid-van-jodium-in-levensmiddelen
BuRO, 2022. Risico's voor mens, dier en natuur in de visketen (incl. bijlagen). Nederlandse Voedsel- en Warenautoriteit - Bureau Risicobeoordeling & onderzoek, Utrecht. Beschikbaar online: https://www.nvwa.nl/onderwerpen/visketen-in-beeld/documenten/dier/visserij/ika-vis/buro-advies/advies-buro-risicos-voor-mens-dier-en-natuur-in-de-visketen
BuRO, 2023. Advies over cyanotoxines in oppervlaktewater voor agrarisch gebruik. Nederlandse Voedsel- en Warenautoriteit - Bureau Risicobeoordeling & onderzoek, Utrecht. Beschikbaar online: https://www.nvwa.nl/documenten/plant/gewasbescherming/gewasbescherming/risicobeoordelingen/advies-van-buro-over-toxines-van-cyanobacterien-in-beregeningswater
BuRO, 2024a. Risicobeoordeling PFAS in eieren van kippen van particulieren. Nederlandse Voedsel- en Warenautoriteit -Bureau Risicobeoordeling & onderzoek, Utrecht. Beschikbaar online: https://www.nvwa.nl/documenten/consument/eten-drinken-roken/contaminanten/publicaties/advies-van-buro-over-pfas-in-eieren-van-kippen-van-particulieren

BuRO, 2024b. Procedures en risicobeoordelingsmethodieken adviezen BuRO [Webpagina]. Beschikbaar online: https://www.nvwa.nl/over-de-nvwa/hoe-de-nvwa-werkt/risicobeoordeling-en-onderzoeksprogrammering/procedures-en-risicobeoordelingsmethodieken-adviezen-buro [Geraadpleegd: 03-07-2024].
Byappanahalli MN, Shively DA, Nevers MB, Sadowsky MJ & Whitman RL, 2003. Growth and survival of *Escherichia coli* and enterococci populations in the macro-alga *Cladophora* (Chlorophyta). Fems Microbiology Ecology, 46 (2), 203-211. Beschikbaar online: https://doi.org/10.1016/S0168-6496(03)00214-9
Campbell I, Macleod A, Sahlmann C, Neves L, Funderud J, Øverland M, Hughes AD & Stanley M, 2019. The environmental risks associated with the development of seaweed farming in Europe - Prioritizing key knowledge gaps. Frontiers in Marine Science, 6. Beschikbaar online: https://doi.org/10.3389/fmars.2019.00107
Carne G, Makowski D, Carrillo S, Guérin T, Jitaru P, Reninger JC, Rivière G & Bemrah N, 2022. Probabilistic determination of a maximum acceptable level of contaminant to reduce the risk of overexposure for a novel or emerging food: the case of cadmium in edible seaweed in the French population. Food Additives & Contaminants: Part A. Beschikbaar online: https://doi.org/10.1080/19440049.2022.2087921
Cavallo G, Lorini C, Garamella G & Bonaccorsi G, 2021. Seaweeds as a "palatable" challenge between innovation and sustainability: A systematic review of food safety. Sustainability, 13 (14), 7652. Beschikbaar online: https://doi.org/10.3390/su13147652
CDC, 2018. National Outbreak Reporting System (NORS) [Webpagina, 17-04-2023]. Beschikbaar online: https://wwwn.cdc.gov/norsdashboard/ [Geraadpleegd: 12-10-2023].
Chang J-M & Chen T-H, 2003. Bacterial foodborne outbreaks in central Taiwan, 1991-2000. Journal of Food and Drug Analysis, 11 (1), article 7. Beschikbaar online: https://doi.org/10.38212/2224-6614.2730
Chen Q, Pan XD, Huang BF & Han JL, 2018. Distribution of metals and metalloids in dried seaweeds and health risk to population in southeastern China. Scientific Reports, 8 (1). Beschikbaar online: https://doi.org/10.1038/s41598-018-21732-z
Cheney D, 2016. Toxic and harmful seaweeds. In, Seaweed in Health and Disease Prevention. pp. 407-421. Beschikbaar online: https://doi.org/10.1016/b978-0-12-802772-1.00013-0
Cho TJ & Rhee MS, 2020. Health functionality and quality control of laver (porphyra, pyropia): Current issues and future perspectives as an edible seaweed. Marine Drugs, 18 (1). Beschikbaar online: https://doi.org/10.3390/md18010014
Choi ES, Kim NH, Kim HW, Kim SA, Il Jo JI, Kim SH, Lee SH, Ha SD & Rhee MS, 2014. Microbiological quality of seasoned roasted laver and potential hazard vontrol in a real processing line. Journal of Food Protection, 77 (12), 2069-2075. Beschikbaar online: https://doi.org/10.4315/0362-028x.Jfp-14-177
Christensen LB & Larsen HD, 2014. Foreign bodies. In, Encyclopedia of Meat Sciences. pp. 22-31. Beschikbaar online: https://doi.org/10.1016/b978-0-12-384731-7.00222-1
Clemence MA & Guerrant RL, 2015. Infections and Intoxications from the ocean: risks of the shore. Microbiology Spectrum, 3 (6). Beschikbaar online: https://doi.org/10.1128/microbiolspec.IOL5-0008-2015
Communicable Diseases Branch, 2019. NSW OzFoodNet annual surveillance report: 2019. Health Protection NSW, Sydney, 41 pp. Beschikbaar online: https://www.health.nsw.gov.au/Infectious/foodborne/Publications/nsw-ozfoodnet-annual-report-2019.pdf
Communicable Diseases Branch, 2022. NSW OzFoodNet annual surveillance report: 2020. Health Protection NSW, Sydney, 35 pp. Beschikbaar online: https://www.health.nsw.gov.au/Infectious/foodborne/Publications/nsw-ozfoodnet-annual-report-2020.pdf
Concepcion A, DeRosia-Banick, K. & Balcom, N., 2020. Seaweed production and processing in Connecticut: A guide to understanding and controlling potential food safety hazards. Connecticut Sea Grant, Groton, Connecticut, USA. Beschikbaar online: https://seagrant.uconn.edu/wp-content/uploads/sites/1985/2020/01/Seaweed-Hazards-Guide_Jan2020_accessible.pdf
Correia H, Soares C, Morais S, Pinto E, Marques A, Nunes ML, Almeida A & Delerue-Matos C, 2021. Seaweeds rehydration and boiling: Impact on iodine, sodium, potassium, selenium, and

total arsenic contents and health benefits for consumption. Food and Chemical Toxicology, 155. Beschikbaar online: https://doi.org/10.1016/j.fct.2021.112385
Cressey P, Wright J, Gautam A, Horn B, Wheeler T, Hampton H & Harwood T, 2023. Evaluation of food safety risks associated with seaweed and seaweed products. New Zealand Food Safety Technical Paper No: 2023/01. New Zealand Food Safety - Ministry for Primary Industries, Wellington, New Zealand, 192 pp. Beschikbaar online: https://www.mpi.govt.nz/dmsdocument/55825-Evaluation-of-food-safety-risks-associated-with-seaweed-and-seaweed-products
Ctgb, 2025. Zijn biostimulantia en groeiregulatoren gewasbeschermingsmiddelen? [Webpagina]. Beschikbaar online: https://www.ctgb.nl/gewasbeschermingsmiddelen/vraag-en-antwoord/zijn-biostimulantia-en-groeiregulatoren-gewasbeschermingsmiddelen [Geraadpleegd: 03-03-2025].
Daczkowska-Kozon E, 1998. *Campylobacter* spp. in freshwater fishes. Acta Ichtyologica et Piscatoria 28 (2), 91-98. Beschikbaar online: https://www.aiep.pl/volumes/1990/8_2/pdf/28_2_09.pdf
De Jong MH, Steenbergen E & Verkaik-Kloosterman J, 2023. Natrium-, kalium- en jodiumonderzoek in Nederland: stand van zaken omtrent beleidsmaatregelen en monitoring. RIVM, 53 pp. Beschikbaar online: https://doi.org/10.21945/RIVM-2023-037
Del Olmo A, Picon A & Nuñez M, 2018. The microbiota of eight species of dehydrated edible seaweeds from North West Spain. Food Microbiology, 70, 224-231. Beschikbaar online: https://doi.org/10.1016/j.fm.2017.10.009
Deltares, 2024. Eerste zeewierboerderij ter wereld op windpark Noordzee [Webpagina, 27-4-2024]. Beschikbaar online: https://www.deltares.nl/nieuws/eerste-zeewierboerderij-ter-wereld-op-windpark-noordzee [Geraadpleegd: 07-02-2025].
Dibke C, Fischer M & Scholz-Böttcher BM, 2021. Microplastic Mass Concentrations and Distribution in German Bight Waters by Pyrolysis–Gas Chromatography–Mass Spectrometry/Thermochemolysis Reveal Potential Impact of Marine Coatings: Do Ships Leave Skid Marks? Environmental Science & Technology, 55 (4), 2285-2295. Beschikbaar online: https://doi.org/10.1021/acs.est.0c04522
Dinnissen C, Nawijn E, Brants H & Van Rossum C, 2020. Zeewierconsumptie in Nederland. Rijksinstituut voor Volksgezondheid en Milieu (RIVM), Bilthoven, 86 pp. Beschikbaar online: https://doi.org/10.21945/RIVM-2020-0195
Duinker A, Roiha IS, Amlund H, Dahl L, Lock E-J, Kögel T, Måge A & Lunestad BT, 2016. Potential risks posed by macroalgae for application as feed and food–a Norwegian perspective. National Institute of Nutrition and Seafood Research (NIFES), 23. Beschikbaar online: https://www.fao.org/feed-safety/resources/resources-details/en/c/1110768/
DVFA, 2021. Test results - hygienic quality of edible seaweed [Webpagina]. Danish Veterinary and Food Administration. Beschikbaar online: https://www.foedevarestyrelsen.dk/Kontrol/Kontrolresultater/Proeveresultater/Sider/Proeveresultater_fisk_og_fiskeprodukter_spiselig_tang.aspx [Geraadpleegd: 28-04-2022].
EC, 2001. Opinion of the Scientific Committee on Veterinary Measures relating to Public Health on *Vibrio vulnificus* and *Vibrio parahaemolyticus* (in raw and undercooked seafood). European Commission, Health & Consumer Protection Directorate-General, 64 pp. Beschikbaar online: https://ec.europa.eu/food/sites/food/files/safety/docs/sci-com_scv_out45_en.pdf
EC, 2022. Mededeling van de Commissie aan het Europees Parlement, de Raad, het Europees Economisch en Sociaal Comité en het Comité van de Regio's; Naar een sterke en duurzame algensector in de EU. COM(2022) 592. Europese Commissie, Brussel, 19 pp. Beschikbaar online: https://eur-lex.europa.eu/legal-content/NL/TXT/?uri=COM%3A2022%3A592%3AFIN
EC, 2023. Novel Food status Catalogue (New) [Webpagina]. Beschikbaar online: https://food.ec.europa.eu/food-safety/novel-food/novel-food-status-catalogue_en
EC, Centre JR, Tsiamis K, Palialexis A, Connor D, Antoniadis S, Bartilotti C, Bartolo G. A, Berggreen U, Boschetti S, Buschbaum C, Canning-Clode J, Carbonell A, Castriota L, Corbeau C, Costa A, Cvitković I, Despalatović M, Dragičević B, Dulčić J, Fortič A, Francé Janja G, Gittenberger A, Gizzi F, Gollasch S, Gruszka P, Hegarty M, Hema T, Jensen K, Josephides M, Kabuta S, Kerckhof F, Kovtun-Kante A, Krakau M, Kraśniewski W, Lackschewitz D, Lehtiniemi M, Lieberum C, Linnamägi M, Lipej L, Livi S, Lundgreen K, Magliozzi C, Massé C, Mavrič B, Michailidis N, Moncheva S, Mozetič P, Naddafi R, Ninčević Gladan Ž, Ojaveer H, Olenin S,

Orlando-Bonaca M, Ouerghi A, Parente M, Pavlova P, Peterlin M, Pitacco V, Png-Gonzalez L, Rousou M, Sala Pérez M, Serrano A, Skorupski J, Smolders S, Srebaliene G, Stæhr P, Stefanova K, Strake S, Tabarcea C, Todorova V, Trkov D, Tuaty-Guerra M, Vidjak O, Zenetos A, Žuljević A & Cardoso A, 2021. Marine strategy framework directive, descriptor 2, non-indigenous species – Delivering solid recommendations for setting threshold values for non-indigenous species pressure on European seas. Publications Office of the European Union. Beschikbaar online: https://doi.org/10.2760/035071

ECDC, 2019. Vibrio map viewer [Webpagina]. Beschikbaar online: https://e3geoportal.ecdc.europa.eu/SitePages/Vibrio%20Map%20Viewer.aspx [Geraadpleegd: 29-10-2019].

Edris MA, Hassanien SF, Fahim AES, Azza HE & Nairoz MA, 2017. Microbiological evaluation of some heat treated fish products in egyptian markets. Benha Veterinary Medical Journal, 33 (2), 305-316. Beschikbaar online: https://doi.org/10.21608/bvmj.2017.30491

Edwards M, 2014. Other significant hazards: Physical hazards in foods. Encyclopedia of Food Safety, 3. Beschikbaar online: https://doi.org/10.1016/B978-0-12-378612-8.00004-4

Edwards MC & Stringer MF, 2007. Observations on patterns in foreign material investigations. Food Control, 18 (7), 773-782. Beschikbaar online: https://doi.org/10.1016/j.foodcont.2006.01.007

EFSA, 2005. Opinion of the Scientific Committee on a request from EFSA related to a harmonised approach for risk assessment of substances which are both genotoxic and carcinogenic. EFSA Journal, 3 (10), 282. Beschikbaar online: https://doi.org/10.2903/j.efsa.2005.282

EFSA, 2012a. Lead dietary exposure in the European population. EFSA Journal, 10 (7), 2831. Beschikbaar online: https://doi.org/10.2903/j.efsa.2012.2831

EFSA, 2012b. Cadmium dietary exposure in the European population. EFSA Journal, 10 (1), 2551. Beschikbaar online: https://doi.org/10.2903/j.efsa.2012.2551

EFSA, 2014. Dietary exposure to inorganic arsenic in the European population. EFSA Journal, 12 (3), 3597. Beschikbaar online: https://doi.org/10.2903/j.efsa.2014.3597

EFSA, 2020. Cumulative dietary risk characterisation of pesticides that have acute effects on the nervous system. EFSA Journal, 18 (4), e06087. Beschikbaar online: https://doi.org/10.2903/j.efsa.2020.6087

EFSA, 2021. Dashboard on foodborne outbreaks [Webpagina, 12-12-2023]. Beschikbaar online: https://www.efsa.europa.eu/en/microstrategy/FBO-dashboard [Geraadpleegd: 01-05-2024].

EFSA, 2023. Dietary exposure to heavy metals and iodine intake via consumption of seaweeds and halophytes in the European population. EFSA Journal, 21 (1), e07798. Beschikbaar online: https://doi.org/10.2903/j.efsa.2023.7798

EFSA, Afonso A, Matas RG, Maggiore A, Merten C & Robinson T, 2017. EFSA's activities on emerging risks in 2016. EFSA Supporting Publications, 14 (11), 1336E. Beschikbaar online: https://doi.org/10.2903/sp.efsa.2017.EN-1336

EFSA & ECDC, 2018. The European Union summary report on trends and sources of zoonoses, zoonotic agents and food-borne outbreaks in 2017. EFSA Journal, 16 (12), e05500. Beschikbaar online: https://doi.org/10.2903/j.efsa.2018.5500

EFSA & ECDC, 2019. The European Union One Health 2018 Zoonoses Report. EFSA Journal, 17 (12), e05926. Beschikbaar online: https://doi.org/10.2903/j.efsa.2019.5926

EFSA & ECDC, 2021a. The European Union One Health 2019 Zoonoses Report. EFSA Journal, 19 (2), e06406. Beschikbaar online: https://doi.org/10.2903/j.efsa.2021.6406

EFSA & ECDC, 2021b. The European Union One Health 2020 Zoonoses Report. EFSA Journal, 19 (12), e06971. Beschikbaar online: https://doi.org/10.2903/j.efsa.2021.6971

EFSA & ECDC, 2022. The European Union One Health 2021 Zoonoses Report. EFSA Journal, 20 (12), e07666. Beschikbaar online: https://doi.org/10.2903/j.efsa.2022.7666

EFSA & ECDC, 2023. The European Union One Health 2022 Zoonoses Report. EFSA Journal, 21 (12), e8442. Beschikbaar online: https://doi.org/10.2903/j.efsa.2023.8442

EFSA & ECDC, 2024. The European Union One Health 2023 Zoonoses report. EFSA Journal, 22 (12), e9106. Beschikbaar online: https://doi.org/10.2903/j.efsa.2024.9106

EFSA BIOHAZ Panel, 2005. Opinion of the Scientific Panel on Biological Hazards (BIOHAZ) related to *Clostridium* spp in foodstuffs. EFSA Journal, 199, 1-65. Beschikbaar online: https://doi.org/10.2903/j.efsa.2005.199

EFSA BIOHAZ Panel, 2013. Scientific Opinion on the risk posed by pathogens in food of non-animal origin. Part 1 (outbreak data analysis and risk ranking of food/pathogen combinations). Food Additives & Contaminants: Part A, 11 (1), 138. Beschikbaar online: https://efsa.onlinelibrary.wiley.com/doi/pdf/10.2903/j.efsa.2013.3025
EFSA BIOHAZ Panel, 2018. *Listeria monocytogenes* contamination of ready-to-eat foods and the risk for human health in the EU. EFSA Journal, 16 (1), e05134. Beschikbaar online: https://doi.org/10.2903/j.efsa.2018.5134
EFSA CONTAM Panel, 2008. Polycyclic aromatic hydrocarbons in food - Scientific Opinion of the Panel on Contaminants in the Food Chain. EFSA Journal, 6 (8), 724. Beschikbaar online: https://doi.org/10.2903/j.efsa.2008.724
EFSA CONTAM Panel, 2009a. Scientific Opinion on arsenic in food. EFSA Journal, 7 (10), 1351. Beschikbaar online: https://doi.org/10.2903/j.efsa.2009.1351
EFSA CONTAM Panel, 2009b. Cadmium in food - Scientific opinion of the Panel on Contaminants in the Food Chain. EFSA Journal, 7 (3), 980. Beschikbaar online: https://doi.org/10.2903/j.efsa.2009.980
EFSA CONTAM Panel, 2010. Scientific Opinion on lead in food. EFSA Journal, 8 (4). Beschikbaar online: https://doi.org/10.2903/j.efsa.2010.1570
EFSA CONTAM Panel, 2011. Statement on tolerable weekly intake for cadmium. EFSA Journal, 9 (2), 1975. Beschikbaar online: https://doi.org/10.2903/j.efsa.2011.1975
EFSA CONTAM Panel, 2012a. Scientific Opinion on mineral oil hydrocarbons in food. EFSA Journal, 10 (6), 2704. Beschikbaar online: https://doi.org/10.2903/j.efsa.2012.2704
EFSA CONTAM Panel, 2012b. Scientific Opinion on the risk for public health related to the presence of mercury and methylmercury in food. EFSA Journal, 10 (12), 2985. Beschikbaar online: https://doi.org/10.2903/j.efsa.2012.2985
EFSA CONTAM Panel, 2016. Presence of microplastics and nanoplastics in food, with particular focus on seafood. EFSA Journal, 14 (6). Beschikbaar online: https://doi.org/10.2903/j.efsa.2016.4501
EFSA CONTAM Panel, 2018. Risk for animal and human health related to the presence of dioxins and dioxin-like PCBs in feed and food. EFSA Journal, 16 (11). Beschikbaar online: https://doi.org/10.2903/j.efsa.2018.5333
EFSA CONTAM Panel, 2020a. Risk to human health related to the presence of perfluoroalkyl substances in food. EFSA Journal, 18 (9), e06223. Beschikbaar online: https://doi.org/10.2903/j.efsa.2020.6223
EFSA CONTAM Panel, 2020b. Update of the risk assessment of nickel in food and drinking water. EFSA Journal, 18 (11), e06268. Beschikbaar online: https://doi.org/10.2903/j.efsa.2020.6268
EFSA CONTAM Panel, 2024. Update of the risk assessment of inorganic arsenic in food. EFSA Journal, 22 (1), e8488. Beschikbaar online: https://doi.org/10.2903/j.efsa.2024.8488
EFSA CONTAM Panel, Schrenk D, Bignami M, Bodin L, Chipman JK, del Mazo J, Grasl-Kraupp B, Hogstrand C, Hoogenboom L, Leblanc J-C, Nebbia CS, Nielsen E, Ntzani E, Petersen A, Sand S, Vleminckx C, Wallace H, Barregård L, Benford D, Dogliotti E, Francesconi K, Gómez Ruiz JÁ, Steinkellner H, Tauriainen T & Schwerdtle T, 2024. Risk assessment of small organoarsenic species in food. EFSA Journal, 22 (7), e8844. Beschikbaar online: https://doi.org/10.2903/j.efsa.2024.8844
EFSA CONTAM Panel, Schrenk D, Bignami M, Bodin L, del Mazo J, Grasl-Kraupp B, Hogstrand C, Hoogenboom L, Leblanc J-C, Nebbia CS, Nielsen E, Ntzani E, Petersen A, Sand S, Schwerdtle T, Vleminckx C, Wallace H, Alexander J, Goldbeck C, Grob K, Gómez Ruiz JÁ, Mosbach-Schulz O, Binaglia M & Chipman JK, 2023. Update of the risk assessment of mineral oil hydrocarbons in food. EFSA Journal, 21 (9), e08215. Beschikbaar online: https://doi.org/10.2903/j.efsa.2023.8215
EFSA NDA Panel, 2014. Scientific Opinion on dietary reference values for iodine. EFSA Journal, 12 (5), 3660. Beschikbaar online: https://doi.org/10.2903/j.efsa.2014.3660
El-Matbouly M, Suliman AM, Massad E, Albahrani A, El-Menyar A & Al-Thani H, 2021. Triple Thoracic Injury Caused by Foreign Body Ingestion: A New Approach for Managing an Unusual Case. Am J Case Rep, 22, e929119. Beschikbaar online: https://doi.org/10.12659/AJCR.929119
Ellis CN, Schuster BM, Striplin MJ, Jones SH, Whistler CA & Cooper VS, 2012. Influence of seasonality on the genetic diversity of *Vibrio parahaemolyticus* in New Hampshire shellfish

waters as determined by multilocus sequence analysis. Applied and Environmental Microbiology, 78 (10), 3778-3782. Beschikbaar online: https://doi.org/10.1128/AEM.07794-11
Emir S, Ozkan Z, Altinsoy HB, Yazar FM, Sozen S & Bali I, 2013. Ingested bone fragment in the bowel: Two cases and a review of the literature. World J Clin Cases, 1 (7), 212-216. Beschikbaar online: https://doi.org/10.12998/wjcc.v1.i7.212
ESR (FSANZ), 2010. Pathogen data sheet: *Aeromonas* [Webpagina]. FSANZ (Food Standards Australia New Zealand), Institute of Environmental Science and Research Limited (ESR). Beschikbaar online: https://www.mpi.govt.nz/dmsdocument/26066-Aeromonas [Geraadpleegd: 15-01-2024].
ESR (MPI), 2001. Pathogen data sheet: *Vibrio vulnificus* [Webpagina]. Ministry for Primary Industries (New Zealand), Institute of Environmental Science and Research Limited (ESR). Beschikbaar online: https://www.mpi.govt.nz/dmsdocument/11036-Vibrio-vulnificus-Microbial-pathogen-data-sheet [Geraadpleegd: 01-06-2024].
Eurostat, 2023. Database [Webpagina, 15-09-2023]. Beschikbaar online: https://ec.europa.eu/eurostat/web/main/data/database
Faassen E, Van Tuinen S, Beekmann K & Klijnstra M, 2022. Contaminanten in Nederlands zeewier. Eindrapport: Resultaten van de pilot najaar 2018 t/m voorjaar 2020 [Vertrouwelijk]. Wageningen Food Safety Research, Wageningen.
Faassen EJ, 2020. Contaminanten en toxines in retailproducten bestaande uit zeewier en kustplanten. Monstername 2018-2019 [vertrouwelijk]. Wageningen Food Safety Research, Wageningen.
Faassen EJ & Van Tuinen S, 2019. Contaminanten in Nederlands zeewier. Wageningen Food Safety Research, Wageningen.
FAO, 2021. Global seaweeds and microalgae production, 1950–2019. Food and Agriculture Organization of the United Nations, 172 pp. Beschikbaar online: https://openknowledge.fao.org/server/api/core/bitstreams/97409d09-2f8e-4712-b11e-60105d89959b/content
FAO, 2022. Thinking about the future of food safety; a foresight report. Chapter 4: New food sources and food production systems. Rome, Italy, 158 pp. Beschikbaar online: https://www.fao.org/3/cb8667en/online/src/html/chapter-4.4.html]
FAO, 2024. Global production. In: Fisheries and Aquaculture [Webpagina, 2024]. Beschikbaar online: https://www.fao.org/fishery/en/collection/global_production [Geraadpleegd: 19-12-2024].
FAO & WHO, 2014. Ranking of low moisture foods in support of microbiological risk management. Food and Agricultural organization of the United Nations & World Health Organization, 254 pp. Beschikbaar online: https://ucfoodsafety.ucdavis.edu/sites/g/files/dgvnsk7366/files/inline-files/209893.pdf
FAO & WHO, 2019. Codex Alimentarius Commission – Procedural manual twenty-seventh edition. Joint FAO/WHO Food Standards Programme & World Health Organization (eds.). Food & Agriculture Organization, Rome, 254 pp. Beschikbaar online: http://www.fao.org/publications/card/en/c/CA2329EN
FAO & WHO, 2020. INFOSAN activity report 2018-2019. World Health Organization & Food and Agriculture Organization of the United Nations, Geneva, 63 pp. Beschikbaar online: https://www.who.int/publications/i/item/9789240006911
FAO & WHO, 2022. Report of the expert meeting on food safety for seaweed – Current status and future perspectives. Rome, 28–29 0ctober 2021. Food Safety and Quality Series No. 13., Rome, 92 pp. Beschikbaar online: https://doi.org/10.4060/cc0846en
Ficheux AS, Pierre O, Le Garrec R & Roudot AC, 2022. Seaweed consumption in France: Key data for exposure and risk assessment. Food and Chemical Toxicology, 159. Beschikbaar online: https://doi.org/10.1016/j.fct.2021.112757
Filippini M, Baldisserotto A, Menotta S, Fedrizzi G, Rubini S, Gigliotti D, Valpiani G, Buzzi R, Manfredini S & Vertuani S, 2021. Heavy metals and potential risks in edible seaweed on the market in Italy. Chemosphere, 263, 127983. Beschikbaar online: https://doi.org/10.1016/j.chemosphere.2020.127983
Friesema I, Slegers-Fitz-James I, Wit B & Franz E, 2019. Voedselgerelateerde uitbraken in Nederland: 2006-2017. Rijksinstituut voor Volksgezondheid en Milieu (RIVM), Bilthoven. Beschikbaar online: https://doi.org/10.21945/RIVM-2019-0059

Friesema IHM, Slegers-Fitz-James IA, Wit B, Boxman ILA & Franz E, 2021. Registratie voedselgerelateerde uitbraken in Nederland, 2020. Records of food-related outbreaks in the Netherlands, 2020. Rijksinstituut voor Volksgezondheid en Milieu (RIVM), Bilthoven. Beschikbaar online: https://doi.org/10.21945/rivm-2021-0106
Friesema IHM, Slegers-Fitz-James IA, Wit B, Boxman ILA & Franz E, 2022. Registratie voedselgerelateerde uitbraken in Nederland, 2021. Records of food-related outbreaks in the Netherlands, 2021. Rijksinstituut voor Volksgezondheid en Milieu (RIVM), Bilthoven. Beschikbaar online: https://doi.org/10.21945/rivm-2022-0096
Friesema IHM, Slegers-Fitz-James IA, Wit B, Boxman ILA & Franz E, 2023. Registratie voedselgerelateerde uitbraken in Nederland, 2022. RIVM-rapport 2023-0344. Rijksinstituut voor Volksgezondheid en Milieu (RIVM), Bilthoven, 52 pp. Beschikbaar online: https://doi.org/10.21945/RIVM-2023-0344
Friesema IHM, Slegers-Fitz-James IA, Wit B, Boxman ILA & Franz E, 2024. Registratie voedselgerelateerde uitbraken in Nederland, 2023. Rijksinstituut voor Volksgezondheid en Milieu (RIVM), Bilthoven, 56 pp. Beschikbaar online: https://doi.org/10.21945/rivm-2024-0098
Friesema IHM, Slegers-Fitz-James IA, Wit B & Franz E, 2020. Registratie voedselgerelateerde uitbraken in Nederland, 2018-2019. RIVM-rapport 2020-0131. Rijksinstituut voor Volksgezondheid en Milieu (RIVM), Bilthoven, 52 pp. Beschikbaar online: https://doi.org/10.21945/RIVM-2020-0131
FSAI Sci. Com., 2020. Safety considerations of seaweed and seaweed-derived foods available on the Irish market Food Safety Authority of Ireland, Dublin, 83 pp. Beschikbaar online: https://www.fsai.ie/publications/safety-considerations-of-seaweed-and-seaweed-deriv
Garrido Gamarro E & Costanzo V, 2022. Microplastics in food commodities – A food safety review on human exposure through dietary sources. Food Safety and Quality Series. 978-92-5-136982-1. FAO, Rome. Beschikbaar online: https://doi.org/10.4060/cc2392en
Gezondheidsraad, 2008. Naar een behoud van een optimale jodiuminname. 2008/14. Den Haag. Beschikbaar online: https://www.gezondheidsraad.nl/documenten/adviezen/2008/09/30/naar-behoud-van-een-optimale-jodiuminname
Gezondheidsraad, 2018. Voedingsnormen voor vitamines en mineralen voor volwassenen. 2018/1. Den Haag. Beschikbaar online: https://www.gezondheidsraad.nl/documenten/adviezen/2018/09/18/gezondheidsraad-herziet-voedingsnormen-voor-volwassenen
Gezondheidsraad, 2020. Vervolgadvies gewasbescherming en omwonende. Gezondheidsraad. Beschikbaar online: https://www.gezondheidsraad.nl/documenten/adviezen/2020/06/29/vervolgadvies-gewasbescherming-en-omwonenden
Gittenberger A, 2025. Indicatiestudie: Ecologische impact van uitheemse zeewiersoorten met commerciële waarde.
Gittenberger A, Nauta RW & Rensing M, 2020a. Verkorte risicobeoordeling zeewierkweek in windmolenparken op de Noordzee. GiMaRIS report 2020-17. GiMaRIS; WMR, Sassenheim.
Gittenberger A, Rensing M & Stegenga H, 2020b. Indicatieonderzoek exoten in de zeewierkweek. GiMaRIS, Sassenheim.
Gsell A, Op den Kamp R, Geerdink P, Beerman A, Van Tuinen S & Faassen E, 2025. Possible Reduction of Contaminants in Edible Seaweed II; The effect of processing steps on iodine and metal levels in *Saccharina latissima*. in press. Wageningen Food Safety Research and Wageningen Food and Biobased Research, Wageningen, 36 pp.
Gupta S, Rajauria G & Abu-Ghannam N, 2010. Study of the microbial diversity and antimicrobial properties of Irish edible brown seaweeds. International Journal of Food Science and Technology, 45 (3), 482-489. Beschikbaar online: https://doi.org/10.1111/j.1365-2621.2009.02149.x
Hannah F & Cowie PR, 2009. The potential risks to human health posed by living, attached seaweeds and dead, beach-cast material associated with sandy beaches: a preliminary report. Environment Agency, Bristol, Verenigd Koninkrijk. Beschikbaar online: https://assets.publishing.service.gov.uk/government/uploads/system/uploads/attachment_data/file/291012/scho1009brgb-e-e.pdf

Hastein T, Hjeltnes B, Lillehaug A, Utne Skare J, Berntssen M & Lundebye AK, 2006. Food safety hazards that occur during the production stage: challenges for fish farming and the fishing industry. Revue Sientifique et Technique (International Office of Epizootics), 25 (2), 607-625. Beschikbaar online: https://doi.org/10.20506/rst.25.2.1678

Hayrapetyan H & Van Bokhorst-Van de Veen H, 2018. Overzicht van wetenschappelijke literatuur over de microbiologische gevaren gerelateerd aan consumptie van vis gevangen via kust- en binnenvisserij in Nederland. Rapport / Wageningen Food & Biobased Research; 1813. Wageningen Food & Biobased Research, Wageningen, 90 pp. Beschikbaar online: https://doi.org/10.18174/578129

Hayrapetyan H, Van Bokhorst-Van de Veen H & Nierop Groot M, 2018. Overzicht van wetenschappelijke literatuur over de microbiologische gevaren gerelateerd aan consumptie van schaal- en schelpdieren in Nederland: Resultaten van een zoekopdracht in de wetenschappelijke literatuur uitgevoerd in opdracht van BuRO van de NVWA. Rapport / Wageningen Food & Biobased Research; 1807. Wageningen Food & Biobased Research, Wageningen, 58 pp. Beschikbaar online: https://doi.org/10.18174/578127

Health Canada, 1990. Field compliance guide 90-2, Subject: Injurious extraneous material. Branch HPaF (ed.). Health Canada, Ottawa Beschikbaar online: https://active.inspection.gc.ca/rdhi-bdrid/english/rdhi-bdrid/introe.aspx?i=8

Hof M, Bakker J & Spanbroek N, 2022. Beoordeling mogelijke risico's van chemische stoffen en plastic deeltjes van windturbines op zee. RIVM, Bilthoven, 37 pp. Beschikbaar online: https://doi.org/10.21945/RIVM-2022-0241

Hogstad S, Licht Cederberg D, Eriksen H, Kollander B, Ólafsson G & Mikkelsen B, 2023. A Nordic approach to food safety risk management of seaweed for use as food: Current status and basis for future work. TemaNord 2022:564. Nordic Council of Ministers, Copenhagen, 68 pp. Beschikbaar online: https://doi.org/10.6027/temanord2022-564

Horn B, Pattis I, Armstrong B, Cressey P, Lopez L & Soboleva T, 2021. Annual report concerning foodborne disease in New Zealand 2020. 158 pp. Beschikbaar online: https://www.mpi.govt.nz/dmsdocument/47986/direct

Horn B, Pattis I, Cressey P, Armstrong B, Lopez L & Soboleva T, 2023. Annual report concerning foodborne disease in New Zealand 2022. 174 pp. Beschikbaar online: https://www.mpi.govt.nz/dmsdocument/58789/direct

Humpage AR & Falconer IR, 2003. Oral toxicity of the cyanobacterial toxin cylindrospermopsin in male Swiss albino mice: Determination of no observed adverse effect level for deriving a drinking water guideline value. Environmental Toxicology, 18 (2), 94-103. Beschikbaar online: https://doi.org/10.1002/tox.10104

Hwang YO, Park SG, Park GY, Choi SM & Kim MY, 2010. Total arsenic, mercury, lead, and cadmium contents in edible dried seaweed in Korea. Food Additives & Contaminants: Part B, 3 (1), 7-13. Beschikbaar online: https://doi.org/10.1080/19440040903532079

Ibrahim AB, Mohd Khan A & Norrakiah AS, 2014. Microbiological risk assessment of fresh water aquaculture fish: from farm to table. Advances in Environmental Biology, 8 (14), 105-111. Beschikbaar online: https://www.researchgate.net/publication/271842397_Microbiological_Risk_Assessment_of_Fresh_Water_Aquaculture_Fish_From_Farm_to_Table

IenW, 2022. Programma Noordzee 2022-2027; plan als onderdeel van Nationaal Water Programma 2022-2027. Ministerie van Infrastructuur en Waterstaat, Ministerie van Landbouw Natuur en Voedselkwaliteit, Ministerie van Economische Zaken en Klimaat & Ministerie van Binnenlandse Zaken en Koninkrijksrelaties (eds.). Ministerie van Economische Zaken en Klimaat & Ministerie van Binnenlandse Zaken en Koninkrijksrelaties, Den Haag 164 pp. Beschikbaar online: https://open.overheid.nl/documenten/ronl-eb6f03952fb18a506920ac95e4cd232c8d368b64/pdf

IenW & LNV, 2022. Mariene strategie voor het Nederlandse deel van de Noordzee 2022-2027 (deel 3); KRM-programma van maatregelen. Ministerie van Infrastructuur en Waterstaat & Ministerie van Landbouw Natuur en Voedselkwaliteit, Den Haag, 81 pp. Beschikbaar online: https://www.noordzeeloket.nl/publish/pages/198511/mariene-strategie-voor-het-nederlandse-deel-van-de-noordzee-deel-3-2022-2027.pdf

IFSAC, 2019. Foodborne illness source attribution estimates for 2017 for *Salmonella*, *Escherichia coli* O157, *Listeria monocytogenes*, and *Campylobacter* using multi-year outbreak surveillance data, United States. Interagency Food Safety Analytics Collaboration (IFSAC);

GA and D.C.: U.S. Department of Health and Human Services C, FDA, USDA-FSIS. (ed.). 13 pp. Beschikbaar online: https://www.cdc.gov/foodsafety/ifsac/pdf/P19-2017-report-TriAgency-508.pdf
Iwamoto M, Ayers T, Mahon BE & Swerdlow DL, 2010. Epidemiology of seafood-associated infections in the United States. Clinical Microbiology Reviews, 23 (2), 399-411. Beschikbaar online: https://doi.org/10.1128/CMR.00059-09
Johne R, Scholz J & Falkenhagen A, 2024. Heat stability of foodborne viruses – Findings, methodological challenges and current developments. International Journal of Food Microbiology, 413, 110582. Beschikbaar online: https://doi.org/10.1016/j.ijfoodmicro.2024.110582
Jönsson M, Allahgholi L, Rayner M & Nordberg Karlsson E, 2023. Exploration of high-pressure processing (HPP) for preservation of the Swedish grown brown macroalgae *Saccharina latissima*. Frontiers in Food Science and Technology, 3. Beschikbaar online: https://doi.org/10.3389/frfst.2023.1150482
Kashima K, Sato M, Osaka Y, Sakakida N, Kando S, Ohtsuka K, Doi R, Chiba Y, Takase S, Fujiwara A, Shimada S, Ishii R, Mizokoshi A, Takano M, Lee K, Iyoda S & Honda A, 2021. An outbreak of food poisoning due to *Escherichia coli* serotype O7:H4 carrying astA for enteroaggregative *E. coli* heat-stable enterotoxin1 (EAST1). Epidemiol Infect, 149, e244. Beschikbaar online: https://doi.org/10.1017/s0950268821002338
Kim HW, Hong YJ, Jo JI, Ha SD, Kim SH, Lee HJ & Rhee MS, 2017. Raw ready-to-eat seafood safety: microbiological quality of the various seafood species available in fishery, hyper and online markets. Lett Appl Microbiol, 64 (1), 27-34. Beschikbaar online: https://doi.org/10.1111/lam.12688
Krätschmer K, 2024. Analyse van PFAS in zeewiermonsters; addendum bij WFSR rapporten 2022.507 en 2020.521 (unpublished data). Wageningen Food Safety Research (WFSR), Wageningen, 4 pp.
Kreissig KJ, Sørensen JS, Jensen PE & Truelstrup Hansen L, 2023. Bacterial communities on *Fucus* sp. harvested in tidal zones with or without exposure to human sewage in Greenland. Regional Studies in Marine Science, 62, 102928. Beschikbaar online: https://doi.org/10.1016/j.rsma.2023.102928
Kudaka J, Itokazu K, Taira K, Nidaira M, Okano S, Nakamura M, Iwanaga S, Tominaga M & Ohno A, 2008. [Investigation and culture of microbial contaminants of *Caulerpa lentillifera* (Sea Grape)]. Shokuhin Eiseigaku Zasshi, 49 (1), 11-15. Beschikbaar online: https://doi.org/10.3358/shokueishi.49.11
Kusaba Y, Miwa T, Ise M & Minoda R, 2019. Pharyngocutaneous fistula caused by dried 'Kombu' (edible seaweed) after total laryngectomy. BMJ Case Rep, 12 (2). Beschikbaar online: https://doi.org/10.1136/bcr-2018-228091
Kusumi E, Tanimoto T, Hosoda K, Tsubokura M, Hamaki T, Takahashi K & Kami M, 2017. Multiple norovirus outbreaks due to shredded, dried, laver seaweed in Japan. Infection Control & Hospital Epidemiology, 38 (7), 885-886. Beschikbaar online: https://doi.org/10.1017/ice.2017.70
Kwak DH, Son GJ, Park MK & Kim YD, 2021. Rapid Foreign Object Detection System on Seaweed Using VNIR Hyperspectral Imaging. Sensors (Basel), 21 (16). Beschikbaar online: https://doi.org/10.3390/s21165279
KWR, 2021. Project TRAMP [Webpagina]. Beschikbaar online: https://www.kwrwater.nl/projecten/tramp/ [Geraadpleegd: 24-04-2021].
Lahr J, Ter Laak T & Derksen A, 2014. Screening van hot spots van nieuwe verontreinigingen; Een pilot studie in de bodem, het grondwater en het oppervlaktewater. Wageningen, Alterra Wageningen UR (University & Research centre), 88 pp. Beschikbaar online: https://library.wur.nl/WebQuery/wurpubs/fulltext/323500
Lähteenmäki-Uutela A, Rahikainen M, Camarena-Gómez MT, Piiparinen J, Spilling K & Yang B, 2021. European Union legislation on macroalgae products. Aquaculture International, 29 (2), 487-509. Beschikbaar online: https://doi.org/10.1007/s10499-020-00633-x
LNV, 2007. Beleidsnota invasieve exoten DN. 2007/2899. Ministerie Landbouw Natuur en Voedselkwaliteit, Den Haag.
LNV, 2020. Nationale eiwitstrategie. 0920-020. Ministerie van Landbouw, Natuur en Voedselkwaliteit, Den Haag 50 pp. Beschikbaar online:

https://open.overheid.nl/repository/ronl-6ea7577b-85a6-425a-9dad-b9b9cf695495/1/pdf/20298471.bijlage.pdf
LNV, 2024. Voedsel uit zee en grote wateren. LNV (ed.) Visie voor voedselwinning op weg naar 2050. Ministerie van Landbouw, Natuur en Voedselkwaliteit, Den Haag, 27 pp. Beschikbaar online: https://www.rijksoverheid.nl/documenten/rapporten/2024/03/08/visie-op-voedsel-uit-zee-en-grote-wateren
Løvdal T, Lunestad BT, Myrmel M, Rosnes JT & Skipnes D, 2021. Microbiological food safety of seaweeds. Foods, 10 (11). Beschikbaar online: https://doi.org/10.3390/foods10112719
Lowry T & Smith SA, 2007. Aquatic zoonoses associated with food, bait, ornamental, and tropical fish. Journal of the American Veterinary Medical Association, 231 (6), 876-880. Beschikbaar online: https://doi.org/10.2460/javma.231.6.876
Lozano Muñoz I & Díaz NF, 2020. Minerals in edible seaweed: health benefits and food safety issues. Critical Reviews in Food Science and Nutrition, 62 (6), 1592-1607. Beschikbaar online: https://doi.org/10.1080/10408398.2020.1844637
Lytou AE, Schoina E, Liu Y, Michalek K, Stanley MS, Panagou EZ & Nychas G-JE, 2021. Quality and safety assessment of edible seaweeds *Alaria esculenta* and *Saccharina latissima* cultivated in Scotland. Foods, 10 (9), 2210. Beschikbaar online: https://doi.org/10.3390/foods10092210
Lytou AE, Tsakanikas P, Lymperi D & Nychas G-JE, 2022. Rapid assessment of microbial quality in edible seaweeds using sensor techniques based on spectroscopy, imaging analysis and sensors mimicking human senses. Sensors, 22 (18), 7018. Beschikbaar online: https://doi.org/10.3390/s22187018
Mahmud ZH, Kassu A, Mohammad A, Yamato M, Bhuiyan NA, Nair GB & Ota F, 2006. Isolation and molecular characterization of toxigenic *Vibrio parahaemolyticus* from the Kii Channel, Japan. Microbiological Research, 161 (1), 25-37. Beschikbaar online: https://doi.org/10.1016/j.micres.2005.04.005
Mahmud ZH, Neogi SB, Kassu A, Mai Huong BT, Jahid IK, Islam MS & Ota F, 2008. Occurrence, seasonality and genetic diversity of *Vibrio vulnificus* in coastal seaweeds and water along the Kii Channel, Japan. FEMS Microbiol Ecol, 64 (2), 209-218. Beschikbaar online: https://doi.org/10.1111/j.1574-6941.2008.00460.x
Maiorano G, Ramires FA, Durante M, Palamà IE, Blando F, De Rinaldis G, Perbellini E, Patruno V, Gadaleta Caldarola C, Vitucci S, Mita G & Bleve G, 2022. The Controlled Semi-Solid Fermentation of Seaweeds as a Strategy for Their Stabilization and New Food Applications. Foods, 11 (18). Beschikbaar online: https://doi.org/10.3390/foods11182811
Martelli F, Marrella M, Lazzi C, Neviani E & Bernini V, 2021. Microbiological contamination of ready-to-eat algae and evaluation of *Bacillus cereus* behavior by microbiological challenge test. Journal of Food Protection, 84 (7), 1275-1280. Beschikbaar online: https://doi.org/10.4315/JFP-20-407
Mazzillo FF, Shapiro K & Silver MW, 2013. A new pathogen transmission mechanism in the ocean: the case of sea otter exposure to the land-parasite *Toxoplasma gondii*. PLoS One, 8 (12), e82477. Beschikbaar online: https://doi.org/10.1371/journal.pone.0082477
McHugh DJ, 2003. A guide to the seaweed industry. FAO fisheries technical papers. Food and Agriculture Organization of the United Nations, Rome, 105 pp. Beschikbaar online: https://openknowledge.fao.org/handle/20.500.14283/y4765e
Moennea A, González A & Sáez CA, 2016. Mechanisms of metal tolerance in marine macroalgae, with emphasis on copper tolerance in Chlorophyta and Rhodophyta. Aquatic Toxicology, 176, 30-37. Beschikbaar online: https://doi.org/10.1016/j.aquatox.2016.04.015
Moermond CTA, Montforts MHMM, Roex EWM & Venhuis BJ, 2020. Medicijnresten en waterkwaliteit: een update. Beschikbaar online: https://www.rivm.nl/bibliotheek/rapporten/2020-0088.pdf
Moore JE, Xu J & Millar BC, 2002. Diversity of the microflora of edible macroalga (*Palmaria palmata*). Food Microbiology, 19 (2), 249-257. Beschikbaar online: https://doi.org/10.1006/fmic.2001.0467
Moreira-Leite B, Antunes R, Cotas J, Martins N, Costa N, Noronha JP, Mata P & Diniz M, 2023. Modified Atmosphere Packaging (MAP) for Seaweed Conservation: Impact on Physicochemical Characteristics and Microbiological Activity. Foods, 12 (14). Beschikbaar online: https://doi.org/10.3390/foods12142736

Musa N & Wei L, 2008. Bacteria attached on cultured seaweed *Gracilaria changii* at Mengabang Telipot, Terengganu. Academic Journal of Plant Sciences, 1 (1), 01-04. Beschikbaar online: https://idosi.org/ajps/1(1)08/1.pdf

Nichols C, Ching-Lee M, Daquip C-L, Elm J, Kamagai W, Low E, Murakawa S, O'Brien P, O'Connor N, Ornellas D, Oshiro P, Vuong A, Whelen A & Park S, 2017. Outbreak of salmonellosis associated with seaweed from a local aquaculture farm—Oahu, 2016. Proceedings of the CSTE 2017, Boise, ID (VS). Beschikbaar online: https://cste.confex.com/cste/2017/webprogram/Paper8115.html

Nielsen CW, Holdt SL, Sloth JJ, Marinho GS, Sæther M, Funderud J & Rustad T, 2020. Reducing the High Iodine Content of Saccharina latissima and Improving the Profile of Other Valuable Compounds by Water Blanching. Foods, 9 (5). Beschikbaar online: https://doi.org/10.3390/foods9050569

Nigro OD, Hou A, Vithanage G, Fujioka RS & Steward GF, 2011. Temporal and spatial variability in culturable pathogenic *Vibrio* spp. in Lake Pontchartrain, Louisiana, following hurricanes Katrina and Rita. Applied and Environmental Microbiology, 77 (15), 5384-5393. Beschikbaar online: https://doi.org/10.1128/aem.02509-10

Nijkamp MM, Van Asselt ED, Janssens B, Razenberg L, De Wit-Bos L & Van der Fels-Klerx HJ, 2017. Chemische en fysische gevaren in de Nederlandse aardappelketen. RIKILT rapport, no. 2017-010. RIKILT. Beschikbaar online: https://edepot.wur.nl/429901

Nijssen D, 2022. FoodSciffer [Webpagina, april 2022].

Noordzeeboerderij, 2020. Protocol for fresh seaweed sample collection. North Sea Famers WUR (ed.). North Sea Farmers. Beschikbaar online: https://www.northseafarmers.org/projects/Sampling-protocol.pdf

North Sea Farmers, 2022. North Sea Farm #1 [Webpagina]. Beschikbaar online: https://www.northseafarmers.org/projects/north-sea-farm-1 [Geraadpleegd: 13-09-2022].

NVWA, 2022. Rugulopteryx okamurae [Webpagina]. Beschikbaar online: https://www.nvwa.nl/binaries/nvwa/documenten/plant/planten-in-de-natuur/exoten/risicobeoordelingen/factsheet-rugulopteryx-okamurae/factsheet-rugulopteryx-okamurae.pdf [Geraadpleegd: 29-05-2024].

NZFS, 2017. Pathogen data sheets [Webpagina]. New Zealand Food Safety,. Beschikbaar online: https://www.mpi.govt.nz/food-safety/food-safety-and-suitability-research/food-risk-assessment/hazard-data-sheets/data-sheets/ [Geraadpleegd: 31-10-2019].

Oceansofenergy, 2020. Zonnepanelen en zeeewier voor het eerst samen op zee [Webpagina]. Beschikbaar online: https://oceansofenergy.blue/2020/12/02/zonnepanelen-en-zeewier-voor-het-eerst-samen-op-zee/ [Geraadpleegd: 03-12-2020].

OECD, 2018. Toward a new comprehensive global database of per- and polyfluoroalkyl substances (PFASs): Summary report on updating the OECD 2007 list of per- and polyfluoroalkyl substances (PFASs). Organisation for Economic Co-operation and Development. Beschikbaar online: https://www.oecd.org/chemicalsafety/portal-perfluorinated-chemicals/

Østensvik Ø, From C, Heidenreich B, O'Sullivan K & Granum PE, 2004. Cytotoxic *Bacillus* spp. belonging to the *B. cereus* and *B. subtilis* groups in Norwegian surface waters. Journal of Applied Microbiology, 96 (5), 987-993. Beschikbaar online: https://doi.org/10.1111/j.1365-2672.2004.02226.x

OzFoodNet Working Group, 2021. Monitoring the incidence and causes of diseases potentially transmitted by food in Australia: Annual report of the OzFoodNet network, 2013-2015. Communicable Diseases Intelligence, 45. Beschikbaar online: https://doi.org/10.33321/cdi.2021.45.21

OzFoodNet Working Group, 2022. Monitoring the incidence and causes of disease potentially transmitted by food in Australia: Annual report of the OzFoodNet network, 2017. Commun Dis Intell, 46. Beschikbaar online: https://doi.org/10.33321/cdi.2022.46.59

Panebianco F, Giusti A, Giarratana F & Armani A, 2019. Ethnic seafood products sold on the Italian market: labelling assessment and biological, chemical and physical risk characterization. Food Control, 105, 198-208. Beschikbaar online: https://doi.org/10.1016/j.foodcont.2019.05.031

Park GY, Kang DE, Davaatseren M, Shin C, Kang GJ & Chung MS, 2019. Reduction of total, organic, and inorganic arsenic content in Hizikia fusiforme (Hijiki). Food Science and Biotechnology, 28 (2), 615-622. Beschikbaar online: https://doi.org/10.1007/s10068-018-0501-3

Park JH, Jeong HS, Lee JS, Lee SW, Choi YH, Choi SJ, Joo IS, Kim YR, Park YK & Youn SK, 2015. First norovirus outbreaks associated with consumption of green seaweed (*Enteromorpha* spp.) in South Korea. Epidemiol Infect, 143 (3), 515-521. Beschikbaar online: https://doi.org/10.1017/s0950268814001332
Pattis I, Cressey P, Lopez L, Horn B & Soboleva T, 2019a. Annual report concerning foodborne disease in New Zealand 2018. 128 pp. Beschikbaar online: https://www.mpi.govt.nz/dmsdocument/36771/direct
Pattis I, Cressey P, Lopez L, Roos R, Horn B & Soboleva T, 2019b. Annual report concerning foodborne disease in New Zealand 2017. 128 pp. Beschikbaar online: https://www.mpi.govt.nz/dmsdocument/35670/direct
Pattis I, Horn B, Armstrong B, Cressey P, Lopez L & Soboleva T, 2020. Annual report concerning foodborne disease in New Zealand 2019. New Zealand Food Safety Technical Paper No: 2020/29, 147 pp. Beschikbaar online: https://www.mpi.govt.nz/dmsdocument/42874/direct
Pattis I, Horn B, Cressey P, Armstrong B, Lopez L & Soboleva T, 2022. Annual report concerning foodborne disease in New Zealand 2021. 160 pp. Beschikbaar online: https://www.mpi.govt.nz/dmsdocument/53872/direct
Pessoa RBG, de Oliveira WF, Correia M, Fontes A & Coelho L, 2022. *Aeromonas* and human health disorders: Clinical approaches. Front Microbiol, 13, 868890. Beschikbaar online: https://doi.org/10.3389/fmicb.2022.868890
Public Health Wales, 2014. *Salmonella* outbreak investigated with possible links to laverbread [Webpagina]. Beschikbaar online: https://www.wales.nhs.uk/news/31816. [Geraadpleegd: 28-04-2022].
Reilly A & Kaferstein F, 1999. Food safety and products from aquaculture. Joumal of Applied Microbiology Symposium Supplement, 85, 249S-257S. Beschikbaar online: https://doi.org/10.1111/j.1365-2672.1998.tb05305.x|
RIVM, 2011a. Botulisme Richtlijn [Webpagina, 26-03-2024]. Rijksinstituut voor Volksgezondheid en Milieu (RIVM). Beschikbaar online: https://lci.rivm.nl/richtlijnen/botulisme [Geraadpleegd: 23-04-2024].
RIVM, 2011b. Shigellose Richtlijn [Webpagina, 9-6-2017]. Rijksinstituut voor Volksgezondheid en Milieu (RIVM). Beschikbaar online: https://lci.rivm.nl/richtlijnen/shigellose [Geraadpleegd: 23-11-2018].
RIVM, 2016. Listeriose Richtlijn [Webpagina, 20-02-2019]. Rijksinstituut voor Volksgezondheid en Milieu (RIVM). Beschikbaar online: https://lci.rivm.nl/richtlijnen/listeriose [Geraadpleegd: 09-04-2019].
RIVM, 2017. Rotavirus Richtlijn [Webpagina, 21-09-2022]. Rijksinstituut voor Volksgezondheid en Milieu (RIVM). Beschikbaar online: https://lci.rivm.nl/richtlijnen/rotavirus [Geraadpleegd: 01-12-2023].
RIVM, 2018. Zeewier maakt welkome comeback [Webpagina]. RIVM. Beschikbaar online: https://www.atlasnatuurlijkkapitaal.nl/nieuws/zeewier-maakt-welkome-comeback [Geraadpleegd: 18-02-2025].
RIVM, 2020. Evaluation of the derivation of the Point of Departures for the risk assessment of the cyanotoxins Cylindrospermopsin and Microcystin-LR. Rijksinstituut voor Volksgezondheid en Milieu (RIVM), Bilthoven. Beschikbaar online: https://www.rivm.nl/documenten/beoordeling-van-afleiding-van-uitgangspunten-voor-risicobeoordeling-van-cyanotoxinen
RIVM, 2021a. Inzicht in emissies van chemische stoffen bij windturbines op zee. Resultaten quickscan. Rijksinstituut voor Volksgezondheid en Milieu (RIVM), Bilthoven. Beschikbaar online: https://www.rivm.nl/sites/default/files/2022-06/Chemische_stoffen_bij_windturbines_op_zee_TG.pdf
RIVM, 2021b. Notitie implementatie van de EFSA som-TWI PFAS. Rijksinstituut voor Volksgezondheid en Milieu (RIVM), Bilthoven. Beschikbaar online: https://www.rivm.nl/documenten/notitie-implementatie-van-efsa-som-twi-pfas
RIVM, 2021c. Straling en radioactiviteit uitgelegd [Webpagina]. Rijksinstituut voor Volksgezondheid en Milieu (RIVM). Beschikbaar online: https://www.rivm.nl/straling-en-radioactiviteit/straling-uitgelegd [Geraadpleegd: 16-03-2021].
RIVM, 2024. Normen [Webpagina]. Beschikbaar online: https://rvs.rivm.nl/onderwerpen/normen/consumenten [Geraadpleegd: 16-01-2024].

Rodríguez Illera M & Van Bokhorst-Van de Veen H, 2019. Microbiological hazards related to the consumption of seaweed in The Netherlands. Report 1987. Wageningen Food & Biobased Research (WFBR), Wageningen, 28 pp.
Rungis, 2025. Wild seaweeds from the Oosterschelde [Webpagina]. Beschikbaar online: https://rungis.nl/en/blog-en/seaweed/ [Geraadpleegd: 17-02-2025].
Sá Monteiro M, Sloth J, Holdt S & Hansen M, 2019. Analysis and Risk Assessment of Seaweed. EFSA Journal, 17 (S2), e170915. Beschikbaar online: https://doi.org/10.2903/j.efsa.2019.e170915
Sakon N, Sadamasu K, Shinkai T, Hamajima Y, Yoshitomi H, Matsushima Y, Takada R, Terasoma F, Nakamura A, Komano J, Nagasawa K, Shimizu H, Katayama K & Kimura H, 2018. Foodborne outbreaks caused by human norovirus GII.P17-GII.17–contaminated Nori, Japan, 2017. Emerging Infectious Diseases, 24 (5), 920-923. Beschikbaar online: https://doi.org/10.3201/eid2405.171733
Schepens MAA, Te Biesebeek JD, J. Hartmann J, Van der Aa NGFM, Zijlstra R & Boon PE, 2023. Risk assessment of exposure to PFAS through food and drinking water in the Netherlands. Rijksinstituut voor Volksgezondheid en Milieu (RIVM), Bilthoven. Beschikbaar online: https://www.rivm.nl/publicaties/risk-assessment-of-exposure-to-pfas-through-food-and-drinking-water-in-netherlands
Schets F, Pol-Hofstad I, Van den Berg H, Lynch G, Serafim F, Van Overbeek W & Schijven J, 2023. Risico's van *Vibrio*-besmetting in zwemwater, schelpdierproductiewater en schelpdieren. Risks of *Vibrio* infection in bathing water, shellfish production water and shellfish. Rijksinstituut voor Volksgezondheid en Milieu (RIVM), Bilthoven. Beschikbaar online: https://doi.org/10.21945/rivm-2022-0081
Scientific Committee on Food & EFSA NDA Panel, 2006. Tolerable upper intake levels for vitamins and minerals. EFSA, 482 pp. Beschikbaar online: https://www.efsa.europa.eu/sites/default/files/efsa_rep/blobserver_assets/ndatolerableuil.pdf
Singh RP, Baghel RS, Reddy CRK & Jha B, 2015. Effect of quorum sensing signals produced by seaweed-associated bacteria on carpospore liberation from *Gracilaria dura*. Frontiers in Plant Science, 6 (March), 1-13. Beschikbaar online: https://doi.org/10.3389/fpls.2015.00117
Son K-T, Lach T, Jung Y, Kang S-K, Eom S-H, Lee D-S, Lee M-S & Kim Y-M, 2014. Food hazard analysis during dried-laver processing. Fisheries and aquatic sciences, 17 (2), 197-201. Beschikbaar online: https://doi.org/10.5657/FAS.2014.0197
Sørensen JS, Rugh van Reeuwijk S, Bartle RS & Hansen LT, 2023. Inactivation of *Salmonella* Typhimurium during low heat convection drying of winged kelp (*Alaria esculenta*). LWT, 182. Beschikbaar online: https://doi.org/10.1016/j.lwt.2023.114822
Sprong RC & Boon PE, 2015. Dietary exposure to cadmium in the Netherlands. Rijksinstituut voor Volksgezondheid en Milieu (RIVM), Bilthoven. Beschikbaar online: https://www.rivm.nl/bibliotheek/rapporten/2015-0085.pdf
State of Queensland (Queensland Health), 2021. Enhancing foodborne disease surveillance across Australia - OzFoodNet annual report 2020. 94 pp. Beschikbaar online: https://www.health.qld.gov.au/__data/assets/pdf_file/0028/1127656/foodborne-disease-surv-report-2020.pdf
Stévant P, Aachmann FL, Arlov Ø, Nordtvedt TS, Sarno A, Aarstad OA, Klau LJ, Rustad T, Sæther M & Rebours C, 2024. Changes in food quality attributes of *Saccharina latissima* following pre-treatments, frozen storage and subsequent thawing. Algal Research, 82. Beschikbaar online: https://doi.org/10.1016/j.algal.2024.103612
Stichting Anemoon, 2021. Steeds meer zeewiersoorten in Nederland. Nature Today, 8. Beschikbaar online: https://www.naturetoday.com/intl/nl/nature-reports/message/?msg=27633#:~:text=In%20de%20Nederlandse%20wateren%20komen,van%20Gibraltar%20tot%20de%20Noordkaap.
Sundbæk KB, Koch IDW, Villaro CG, Rasmussen NS, Holdt SL & Hartmann NB, 2018. Sorption of fluorescent polystyrene microplastic particles to edible seaweed *Fucus vesiculosus*. Journal of Applied Phycology, 30 (5), 2923-2927. Beschikbaar online: https://doi.org/10.1007/s10811-018-1472-8
Swinscoe I, Oliver DM, Gilburn AS, Lunestad B, Lock E-J, Ørnsrud R & Quilliam RS, 2019. Seaweed-fed black soldier fly (*Hermetia illucens*) larvae as feed for salmon aquaculture: assessing

the risks of pathogen transfer. Journal of Insects as Food and Feed, 5 (1), 15-27. Beschikbaar online: https://doi.org/10.3920/jiff2017.0067
Swinscoe I, Oliver DM, Ørnsrud R & Quilliam RS, 2020. The microbial safety of seaweed as a feed component for black soldier fly (*Hermetia illucens*) larvae. Food Microbiology, 91, 103535. Beschikbaar online: https://doi.org/10.1016/j.fm.2020.103535
Tamplin M, Fernandez-Piquer J & Ross T, 2011. Protecting the safety and quality of Australian oysters with integrated predictive tools. Australian Seafood CRC and the University of Tasmania. Beschikbaar online: http://www.seafoodcrc.com/components/com_virtuemart/attachments/2007-719%20Tamplin.pdf
Te Ronde I, 2018. Belang algen in voeding groeit. VMT, (13), 1. Beschikbaar online: https://www.vmt.nl/35426/belang-algen-in-voeding-groeit
Teunis P & Figueras MJ, 2016. Reassessment of the enteropathogenicity of mesophilic *Aeromonas* species. Front Microbiol, 7, 1395. Beschikbaar online: https://doi.org/10.3389/fmicb.2016.01395
The Dutch Weed Burger, 2023. The Dutch Weed Burger [Webpagina]. Beschikbaar online: https://dutchweedburger.com/ [Geraadpleegd: 12-04-2023].
Thilakan B, Chakraborty K & Chakraborty RD, 2016. Antimicrobial properties of cultivable bacteria associated with seaweeds in the Gulf of Mannar on the southeast coast of India. Canadian Journal of Microbiology, 62 (8), 668-681. Beschikbaar online: https://doi.org/10.1139/cjm-2015-0769
Tiekstra J, 2020. Een korte zeewiergeschiedenis. Lichtkogel, (2), 44. Beschikbaar online: https://homepages.cwi.nl/~steven/blatant/RWS_Lichtkogel_2020_11.pdf
Tonk L & Jansen H, 2019. Notitie: Potentiële effecten van duurzame zeewierproductie op de biodiversiteit in de Noordzee; Ecosysteem diensten en/of ecologische effecten. Wageningen Marine Research rapport C013/19. Wageningen University & Research, Wageningen. Beschikbaar online: https://doi.org/10.18174/470707
Treagus S, Wright C, Baker-Austin C, Longdon B & Lowther J, 2021. The foodborne transmission of hepatitis E virus to humans. Food Environ Virol, 13 (2), 127-145. Beschikbaar online: https://doi.org/10.1007/s12560-021-09461-5
Ugenti I, Digennaro R, Martines G & Caputi Iambrenghi O, 2015. Double esophageal perforation by ingested foreign body: Endoscopic and surgical approach. A case report. Int J Surg Case Rep, 17, 55-57. Beschikbaar online: https://doi.org/10.1016/j.ijscr.2015.10.033
US FDA (Food and Drug Administration, US Department of Health and Human Services), 2005. Quantitative risk assessment on the public health impact of pathogenic *Vibrio parahaemolyticus* in raw oysters. Beschikbaar online: https://www.fda.gov/food/cfsan-risk-safety-assessments/quantitative-risk-assessment-public-health-impact-pathogenic-vibrio-parahaemolyticus-raw-oysters
US FDA, 2012. Bad bug book: Foodborne pathogenic microorganisms and natural toxins. Second edition. US Food Drug Administration,. Beschikbaar online: http://www.fda.gov/downloads/Food/FoodborneIllnessContaminants/UCM297627.pdf
US FDA, 2019a. Fish and fishery products hazards and controls guidance (fourth edition). US Food Drug Administration. Beschikbaar online: https://www.fda.gov/food/seafood-guidance-documents-regulatory-information/fish-and-fishery-products-hazards-and-controls-guidance
US FDA, 2019b. Fish and fishery products hazards and controls guidance (fourth edition) - appendix 4: Bacterial pathogen growth and inactivation. US Food Drug Administration. Beschikbaar online: https://www.fda.gov/media/80390/download
US FDA, 2022. Pathogenic bacteria survival through processes designed to retain raw product characteristics (chapter 17). In: Fish and fishery products hazards and controls guidance [Webpagina]. US Food Drug Administration,. Beschikbaar online: https://www.fda.gov/media/80328/download
Vairappan CS & Suzuki M, 2000. Dynamics of total surface bacteria and bacterial species counts during desiccation in the Malaysian sea lettuce, *Ulva reticulata* (Ulvales, Chlorophyta). Phycological Research, 48 (2), 55-61. Beschikbaar online: https://doi.org/10.1046/j.1440-1835.2000.00187.x
Van Bokhorst-Van de Veen H & Hayrapetyan H, 2018. Overzicht van wetenschappelijke literatuur over de micro-biologische gevaren gerelateerd aan consumptie van kweekvis in Nederland:

Resultaten van een zoekopdracht in de wetenschappelijke literatuur uitgevoerd in opdracht van BuRO van de NVWA. Rapport / Wageningen Food & Biobased Research; 1812. Wageningen Food & Biobased Research (WFBR), Wageningen, 87 pp. Beschikbaar online: https://doi.org/10.18174/578128

Van Bokhorst-Van de Veen H, Hayrapetyan H & Nierop Groot M, 2018. Overzicht van wetenschappelijke literatuur over de microbiologische gevaren gerelateerd aan consumptie van zeevis in Nederland: Resultaten van een zoekopdracht in de wetenschappelijke literatuur uitgevoerd in opdracht van BuRO van de NVWA. Rapport / Wageningen Food & Biobased Research; 1806. Wageningen Food & Biobased Research (WFBR), Wageningen, 75 pp. Beschikbaar online: https://doi.org/10.18174/578126

Van de Meer J, 2021. Voedsel uit zee zet weinig zoden aan de dijk. Wageningen World, 1, 28-31. Beschikbaar online: https://edepot.wur.nl/542995

Van den Burg S, 2019. Stel je voor dat Nederland grootschalig zeewier voor de kust gaat telen. Foodlog, 24. Beschikbaar online: https://www.foodlog.nl/artikel/stel-je-voor-dat-nederland-grootschalig-zeewier-voor-de-kust-gaat-telen/#:~:text=De%20grootschalige%20teelt%20van%20zeewier%20in%20de%20Noordzee%20heeft%20ook,als%20grootste%20zeewierproducent%20ter%20wereld!

Van der Loos L, 2025. NDFF Verspreidingsatlas [Webpagina]. NDFF. Beschikbaar online: https://www.verspreidingsatlas.nl/ [Geraadpleegd: 16-02-2025].

Van der Loos L, Karremans M & Perk F, 2021. Veldgids zeewieren. KNNV, Zeist, 288 pp.

Van Dooren CP-S, Astrid., 2015. Nieuwe eiwitbronnen als vleevervangers [Webpagina]. Voedingscentrum. Beschikbaar online: https://issuu.com/voedingscentrum/docs/factsheet_nieuwe_eiwitbronnen_als_v/2?ff&e=1222161/30843886 [Geraadpleegd: 10-10-2022].

Van Kreijl CF, Knaap AGAC, Busch MCM, Havelaar AH, Kramers PGN, Kromhout D, Van Leeuwen FXR, Van Leent-Loenen HMJA, Ocké MC & Verkley H, 2004. Ons eten gemeten; Gezonde voeding en veilig voedsel in Nederland. Rapport 270555007. Rijksinstituut voor Volksgezondheid en Milieu (RIVM), Bilthoven, 362 pp. Beschikbaar online: http://www.rivm.nl/bibliotheek/rapporten/270555007.pdf

Van Rossum CTM, Buurma-Rethans EJM, Dinnissen CS, Beukers MH, Brants HAM, Dekkers ALM & Ocké MC, 2020. The diet of the Dutch results of the Dutch national food consumption survey 2012-2016. Rijksinstituut voor Volksgezondheid en Milieu (RIVM), Bilthoven. Beschikbaar online: https://www.rivm.nl/bibliotheek/rapporten/2020-0083.pdf

Van Tuinen S, Faassen E & Gsell A, 2023. Processing mediated reduction of elemental contaminants in seaweed food and feed products. Wageningen Food Safety Research (WFSR), Wageningen, 46 pp. Beschikbaar online: https://doi.org/10.18174/629186

Vellinga RE, Sam M, Verhagen H, Jakobsen LS, Ravn-Haren G, Sugimoto M, Torres D, Katagiri R, Thu BJ, Granby K, Hoekstra J & Temme EHM, 2022. Increasing seaweed consumption in the Netherlands and Portugal and the consequences for the intake of iodine, sodium, and exposure to chemical contaminants: A risk-benefit study. Frontiers in Nutrition, 8. Beschikbaar online: https://doi.org/10.3389/fnut.2021.792923

Verhoef L, 2020. Samen verkennen. Lichtkogel, (2), 44. Beschikbaar online: https://homepages.cwi.nl/~steven/blatant/RWS_Lichtkogel_2020_11.pdf

Vilmin L & Van Duren L, 2021. Modelling seaweed cultivation on the Dutch continental shelf. Deltares, 50 pp. Beschikbaar online: https://publications.deltares.nl/11205769_002_0001.pdf

Voedingscentrum, 2022. Encyclopedie A-Z; zeewieren en algen [Webpagina]. Voedingscentrum. Beschikbaar online: https://www.voedingscentrum.nl/encyclopedie/zeewieren-en-algen.aspx [Geraadpleegd: 24-10-2022].

Vorse JG, Moody CT, Massoia LC, Perry JJ, Burkholder KM & Byron CJ, 2023. Effect of post-harvest processing methods on the microbial safety of edible seaweed. Journal of Applied Phycology, 35 (3), 1331-1346. Beschikbaar online: https://doi.org/10.1007/s10811-023-02937-w

Wang W, Zhu Z, Wang C, Zhou F, Yu H, Zhang Y, Zhou W, Yang J, Zhu Q, Chen Y, Pan S, Yan W & Wang L, 2023. Post-drying decontamination of laver by dielectric barrier discharge plasma, UV radiation, ozonation, and hot air treatments. LWT, 176. Beschikbaar online: https://doi.org/10.1016/j.lwt.2023.114518

Whitworth J, 2019. Norway norovirus outbreaks linked to seaweed salad from China [Webpagina]. Beschikbaar online: https://www.foodsafetynews.com/2019/09/norway-norovirus-outbreaks-linked-to-seaweed-salad-from-china/ [Geraadpleegd: 19-02-2024].
WHO, 2022. Dietary and inhalation exposure to nano- and microplastic particles and potential implications for human health. World Health Organization, Geneva, 154 pp. Beschikbaar online: https://www.who.int/publications/i/item/9789240054608
Whyte P, McGill K, Cowley D, Madden RH, Moran L, Scates P, Carroll C, O'Leary A, Fanning S, Collins JD, McNamara E, Moore JE & Cormican M, 2004. Occurrence of *Campylobacter* in retail foods in Ireland. Int J Food Microbiol, 95 (2), 111-118. Beschikbaar online: https://doi.org/10.1016/j.ijfoodmicro.2003.10.018
Wiese J, Thiel V, Nagel K, Staufenberger T & Imhoff JF, 2009. Diversity of antibiotic-active bacteria associated with the brown alga *Laminaria saccharina* from the Baltic sea. Marine Biotechnology, 11 (2), 287-300. Beschikbaar online: https://doi.org/10.1007/s10126-008-9143-4
Wikipedia, 2025. Algen [Webpagina]. Beschikbaar online: https://nl.wikipedia.org/wiki/Algen [Geraadpleegd: 11-4-2025].
Wikisage, 2025. Algen [Webpagina]. Beschikbaar online: https://nl.wikisage.org/wiki/Algen. [Geraadpleegd: 11-4-2025].
Wilson IG & Moore JE, 1996. Presence of *Salmonella* spp. and *Campylobacter* spp. in shellfish. Epidemiol Infect, 116 (2), 147-153.
Winkel C, 2022. Development of a seaweed food safety program to meet the requirements of Food Standards Australia New Zealand and third-party hazard analysis and critical control points certification. no. 23-011. AgriFutures Australia, Waga Waga (NSW), Australië, 45 pp. Beschikbaar online: https://www.frdc.com.au/sites/default/files/2023-02/23-011-FinalReport-Development-of-a-seaweed-food-safety-program.pdf
Wirenfeldt CB, Sørensen JS, Kreissig KJ, Hyldig G, Holdt SL & Hansen LT, 2022. Post-harvest quality changes and shelf-life determination of washed and blanched sugar kelp (*Saccharina latissima*). Frontiers in Food Science and Technology, 2. Beschikbaar online: https://www.frontiersin.org/journals/food-science-and-technology/articles/10.3389/frfst.2022.1030229
WUR, 2022a. Dossier zeewier [Webpagina]. Wageningen University & Research. Beschikbaar online: https://www.wur.nl/nl/dossiers/dossier/dossier-zeewier.htm [Geraadpleegd: 09-07-2022].
WUR, 2022b. SOMOS: technische normen voor de veilige productie van voedsel en diervoeder uit zeeplanten en veilig gebruik van de ruimte op zee [Webpagina]. Wageningen University & Research. Beschikbaar online: https://www.wur.nl/nl/project/somos-1.htm [Geraadpleegd: 13-09-2022].
Xiao X, Liu S, Li L, Li R, Zhao X, Yin N, She X, Peijnenburg W, Cui X & Luo Y, 2024. Seaweeds as a major source of dietary microplastics exposure in East Asia. Food Chem, 450, 139317. Beschikbaar online: https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2024.139317
Yu CP, Chou YC, Wu DC, Cheng CG & Cheng CA, 2021. Surveillance of foodborne diseases in Taiwan: A retrospective study. Medicine, 100 (5), e24424. Beschikbaar online: https://doi.org/10.1097/md.0000000000024424
Zava TT & Zava DT, 2011. Assessment of Japanese iodine intake based on seaweed consumption in Japan: A literature-based analysis. Thyroid research, 4, 14-14. Beschikbaar online: https://doi.org/10.1186/1756-6614-4-14
Zhu X, Patange AD, Macori G, Sun DW & Tiwari BK, 2022. Impact of high pressure treatment on shelf life and microbial profile of wild harvested *Ascophyllum nodosum* and aquacultured *Alaria esculenta* during storage. LWT, 170. Beschikbaar online: https://doi.org/10.1016/j.lwt.2022.114022
Ziino G, Nibali V & Panebianco A, 2010. Bacteriological investigation on "Mauro" sold in Catania. Veterinary Research Communications, 34 (1), 157-161. Beschikbaar online: https://doi.org/10.1007/s11259-010-9409-y
Zulkifly S, Hanshew A, Young EB, Lee P, Graham ME, Piotrowski M & Graham LE, 2012. The epiphytic microbiota of the globally widespread macroalga *Cladophora glomerata* (Chlorophyta, Cladophorales). American Journal of Botany, 99 (9), 1541-1552. Beschikbaar online: https://doi.org/10.3732/ajb.1200161

7 Lijst met termen en afkortingen

7.1 Afkortingen

Instituten organisaties	
AESAN	Agencia Española de Seguridad Alimentaria y Nutrición
ANSES	Agence nationale de sécurité sanitaire de l'alimentation, de l'environnement et du travail
ASC	Aquaculture Stewardship Council
ATSDR	Amerikaanse Agency for Toxic Substances and Disease Registry
BfR	Bundesinstitut für Risikobewertung
BuRO	Bureau Risicobeoordeling & onderzoek (BuRO) van de Nederlandse Voedsel- en Warenautoriteit
Ctgb	College voor de toelating van gewasbeschermingsmiddelen en biociden
CSHPF	French High Council for Public Health
EFSA	European Food Safety Authority
EG	Europese Gemeenschap (voorloper van EU)
EU	Europese Unie
FDA (US)	Food and Drug Administration, US Department of Health and Human Services
FSAI	Food Safety Authority of Ireland
FAO	Food and Agricultural Organization of the United Nations
JRC	Joint Research Centre
LNV	Ministerie van Landbouw, Natuur en Voedselkwaliteit (sinds 2 juli 2024 LVVN)
LVVN	Ministerie van Landbouw, Visserij, Voedselzekerheid en Natuur
MSC	Marine Stewardship Council
NVWA	Nederlandse Voedsel- en Warenautoriteit
RIVM	Rijksinstituut voor Volksgezondheid en Milieu
RVO	Rijksdienst voor Ondernemend Nederland
WFBR	Wageningen Food & Biobased Research
WFSR	Wageningen Food Safety Research
WMR	Wageningen Marine Research
WHO	World Health Organization
Wetgeving	
ALV	Algemene Levensmiddelenverordening
KRM	Kaderrichtlijn Marien
VMC	Verordening microbiologische criteria
Wbbl	Warenwetbesluit Bereiding en behandeling van levensmiddelen
Chemische stoffen	
MOSH	Mineral Oil Saturated Hydrocarbons
MOAH	Mineral Oil Aromatic Hydrocarbons
PAK	Polycyclische aromatische koolwaterstof
PCB	Polychloorbifenyl
DL-PCB's	Dioxineachtige PCB's
NDL-PCB's	Niet dioxineachtige PCB's
PCDD	Polychloordibenzo-p-dioxines
PCDF	Polychloordibenzofuranen
PFAS	Poly- en perfluoralkylverbindingen (zie voor de afkortingen van individuele PFAS bijlage V)
(totaal) dioxines	Alle polychloordibenzo-p-dioxines, polychloordibenzofuranen samen
Micro-organismen	
NoV	Norovirus
HAV	Hepatitis A-virus
HEV	Hepatitis E-virus
spp.	species (soorten), zowel bij micro-organismen als bij zeewier

STEC	Shigatoxine-producerende *Escherichia coli*
Technische termen	
ARfD	Acute Referentie Dosis; schatting voor de hoeveelheid van een stof in voedsel of drinkwater die iemand binnen 24 uur kan innemen zonder noemenswaardige gezondheidseffecten (RIVM, 2024)
Aw	Wateractiviteit: maat voor de hoeveelheid vrij water in een product
$BMDL_x$	Benchmark Dose Lower Confidence Limit is het 95% laagste betrouwbaarheidsinterval van de geschatte dosis die een x% extra risico oplevert
DALY	Disability Adjusted Life Years; is een maat voor verloren levensjaren plus jaren geleefd met gezondheidsproblemen (zie ook ziektelast)
ID50	Dosis waarbij 50% van de blootgestelden ziek zal worden
kve	Kolonievormende eenheid
LB	Lower Bound; bij LB-berekeningen worden gerapporteerde gehalten <LOQ vervangen door de waarde 0
LOAEL	Lowest Observed Adverse Effect Level is de laagste experimentele dosis van een stof waarbij een ongewenst effect wordt waargenomen
LOQ	Kwantificatielimiet (bepaalbaarheidsgrens); laagste waarde die kwantitatief kan worden aangetoond
ML	Maximum Limiet; de maximum toegestane concentraties van een stof in een levensmiddel
MoE	Margin of Exposure; de ratio tussen een referentiepunt ($BMDL_{05}$) en de blootstelling
MPN	Most Probable Number; semi-kwantitatieve methode waarmee het *meest waarschijnlijk aantal* kweekbare (levende) bacteriecellen in een product wordt bepaald
MRL	Maximum Residu Limiet; de maximum toegestane concentratie van een stof in een levensmiddel
pH	Zuurgraad
PTWI	Provisional (voorlopige) TWI
PEQ	(Toxische) PFOA (Perfluoroctaanzuur)-equivalenten; een individueel PFAS-gehalte met behulp van RPF omgerekend naar een PFOA-equivalent
RASFF	Rapid Alert System for Food and Feed
RPF	Relatieve Potentie Factor (voor PFAS); de toxische potentie van een individuele PFAS ten opzichte van PFOA (Perfluoroctaanzuur)
TDI	Toelaatbare Dagelijkse Inname; schatting van de hoeveelheid van een stof die men dagelijks kan binnenkrijgen gedurende het leven, zonder merkbaar effect op de gezondheid (RIVM, 2024)
TEF	Toxische Equivalentie Factor (voor dioxines, dibenzofuranen en DL-PCB's); de toxische potentie van een individuele dioxine, dibenzofuran of DL-PCB ten opzichte van TCDD (2,3,7,8=tetrachloordibenzo-p-dioxine)
TEQ	Toxische Equivalenten (voor dioxines, dibenzofuranen en DL-PCB's); een individueel gehalte van een dioxines, dibenzofuraan of DL-PCB met behulp van TEF omgerekend naar een TCDD-equivalent
TWI	Tolerable Weekly Intake (7x de TDI)
UB	Upper Bound: bij UB-berekeningen worden gerapporteerde gehalten <LOQ vervangen door de bijbehorende LOQ's
VCP	Voedselconsumptiepeiling
VBNC	Viable but non-culturable; staat waarin een bacteriecel wel levensvatbaar maar niet-kweekbaar is. De cel bevindt zich in een zeer lage metabolische activiteit en deelt zich niet, maar is levend en heeft het vermogen om kweekbaar te worden zodra ze weer tot leven is gewekt

7.2 Begrippen

Algemeen	
Bewerking	Behandeling van het product zonder dit noemenswaardig te veranderen. Hieronder vallen wassen, verpakken, snijden
Biostimulant	Biostimulant stimuleert de natuurlijke voedingsprocessen van planten (Ctgb, 2025)
Export	Verkeer van producten naar landen buiten de Europese Unie
Import	Binnenbrengen van producten in de Europese Unie vanuit landen buiten de Europese Unie
Invoer	Binnenbrengen van producten uit andere lidstaten van de Europese Unie in Nederland
Uitvoer	Verkeer van producten uit Nederland naar andere lidstaten van de Europese Unie
Verwerking	Handeling die het oorspronkelijke product ingrijpend wijzigt, onder meer door middel van verhitten, roken, zouten, rijpen, drogen, marineren, extraheren of extruderen, of een combinatie van dergelijke behandelingen. Uit: Verordening (EU) 852/2004
Zeewier	
Cultivar	Een zeewier of groep van zeewieren die geselecteerd is op wenselijke eigenschappen en met behoud van eigenschappen vermeerderd en opgekweekt kan worden
Entmateriaal	Opgekweekt zeewier (vanuit uitgangsmateriaal) dat in teeltsysteem geënt wordt voor verdere groei
Exoot	Een exoot is een uitheemse soort die een gebied niet op eigen kracht kan bereiken maar daar alleen door menselijke activiteiten terecht kan (of is ge)komen (Gittenberger et al., 2020a)
Gevestigde soort	Gevestigd houdt in dat een soort overleeft en zich (een aantal jaar) zelfstandig voortplant
Halofyten	Planten (geen zeewier) die groeien op een bodem met hoog zoutgehalte
Hybride	Een nakomeling van een kruising tussen twee soorten
Hydromorfologische kenmerken	Hydromorfologische kenmerken zijn kenmerken die zowel de vorm en structuur van de waterloop (morfologie) als de stroming van het water (hydrologie) omvatten
Inheemse soort	Soort die van nature voorkomt in een geografisch gebied (Gittenberger et al., 2020a)
Invasieve exoot	Soort die alleen door menselijke activiteiten in een gebied terecht kan (of is ge)komen en waarvan de introductie of verspreiding nadelige gevolgen heeft of een bedreiging vormt voor de inheemse biodiversiteit en aanverwante ecosysteemdiensten
Kelp	Grootbladige bruine zeewieren; een orde van bruinwieren (*Laminariales*) die enkele tientallen soorten zeewieren omvat, zoals wakame (*Undaria pinnatifida*), kombu (*Saccharina japonica*), suikerwier (*Saccharina latissima*) en reuzenkelp (*Macrocystis pyrifera*)
Kweken	Opgroeien van uitgangsmateriaal waarna dit geteeld kan worden
Plaatselijk niet-voorkomende soort	Soorten die in dit deel van hun natuurlijke verspreidingsgebied niet voorkomen, omdat de omstandigheden niet geschikt zijn voor deze soort
Polyploide organisme	Een organisme dat meer dan de gebruikelijke (dubbele) set chromosomen bevat
Rauw zeewier	Zeewier dat niet verhit is geweest of een andere gelijkwaardige behandeling heeft ondergaan.
Sporen	Sporen van zeewier spelen een rol bij de voortplanting van zeewier
Telen	Laten groeien van een gewas (zeewier)
Uitgangsmateriaal	Zeewier of zeewiermateriaal dat bestemd is voor opkweek als entmateriaal
Uitheemse soort	Soort die van nature niet voorkomt in een geografisch gebied (Gittenberger et al., 2020a)

Vers zeewier	Zeewier dat niet verwerkt is, maar mogelijk wel bewerkt (gespoeld, gewassen, gesneden)
Wildvangst	Verzamelen van zeewier in het wild; losse zeewier aan de kust, of gedeeltelijk afgeknipt.
Zeewierproduct	Een levensmiddel dat voor (bijna) 100% uit zeewier bestaat of zeewier als ingrediënt heeft
Voedselveiligheid	
Acuut	Kortdurend, eenmalig
Carcinogeen	Kankerverwekkend
Chronisch	Langdurig, levenslang
Genotoxisch	Door beschadiging van DNA erfelijke veranderingen kunnen veroorzaken
Gezondheidskundige grenswaarde	Maximale hoeveelheid van een stof die een mens kan binnenkrijgen zonder risico's voor de gezondheid (mg of µg stof per kg lichaamsgewicht) (RIVM, 2024)
Hepatotoxiciteit	Giftig voor de lever
Kolonievormende eenheid (kve)	Maat voor het aantal kweekbare (levende) bacteriecellen. Uitgedrukt in kve per ml of per g product. Omdat de mogelijkheid bestaat dat 1 kolonie uit meer cellen is ontstaan, wordt deze eenheid gebruikt en niet het aantal cellen per ml of gram
Milieucontaminant	Contaminanten (verontreinigingen) in het milieu
Mutageen	Genotoxisch
Neurotoxisch	Giftig voor het zenuwstelsel
Opportunistische pathogenen	Micro-organismen die normaal niet ziekteverwekkend zijn, maar dit onder bepaalde omstandigheden wel kunnen zijn. Opportunistische infecties komen vaker en in een ernstigere mate voor bij mensen met een verzwakt immuunsysteem dan in mensen met een gezond immuunsysteem
Pathogene micro-organismen of pathogeen	Ziekteverwekkend micro-organisme of ziekteverwekker
Productnorm	Maximaal gehalte van een stof in voedingsmiddelen, vastgesteld per stof-levensmiddel combinatie
Spore	Een bacteriële spore is een overlevingsvorm bedoeld om lang te kunnen overleven onder voor de bacterie zelf (vegetatieve vorm) ongunstige omstandigheden
Toxicologische referentiewaarde	Een waarde die het niveau aangeeft van een bepaalde stof waaraan mensen gedurende een bepaalde periode veilig kunnen worden blootgesteld; bijvoorbeeld de aanvaardbare dagelijkse inname (ADI)
Virulentiegenen	Genen die betrokken zijn bij het ziekteverwekkend vermogen van een micro-organisme
Voedselinfectie	Infectieziekte ontstaan door het eten van voedsel en veroorzaakt door de (aanwezigheid van) ziekteverwekkende micro-organismen in dat voedsel. De ziekte zelf ontstaat na binnendringen van de micro-organismen in het lichaam
Wateractiviteit	Een maat voor de hoeveelheid vrij-water die aanwezig is in een product, uitgedrukt in waardes tussen 0 en 1. Per definitie heeft zuiver water een Aw-waarde gelijk aan 1
Ziektelast	De ziektelast ('Burden of Disease') is de hoeveelheid gezondheidsverlies (uitgedrukt in jaren; eenheid is DALY) in een populatie die veroorzaakt wordt door ziekten

8 Bijlagen

Bijlage I. Aanpak onderzoeken

8.1 Volksgezondheid

Voor deze ketenrisicobeoordeling is van 2018 tot en met 2022 een serie onderzoeksprojecten in opdracht van NVWA-BuRO uitgevoerd door een aantal kennisinstituten.

Een literatuuronderzoek naar chemische gevaren in zeewier met betrekking tot voedselveiligheid is uitgevoerd door Wageningen Food Safety Research (WFSR) (Banach et al., 2020b) en naar de microbiologische gevaren door Wageningen Food & Biobased Research (WFBR) (Rodríguez Illera & Van Bokhorst-Van de Veen, 2019).

De chemische contaminatie en jodiumgehaltes van zeewier afkomstig van Nederlandse zeewierboerderijen zijn in opdracht van BuRO onderzocht door WFSR. In dezelfde periode is in opdracht van het toenmalige Ministerie van LNV vergelijkbaar onderzoek uitgevoerd door WFSR, met focus op een representatieve bemonstering (variatie in bemonsteringsplek in het zeewierveld, diepte in bemonsteringsveld en het moment van monstername in het groeiseizoen). De onderzoeken voor BuRO en LNV vullen elkaar aan en de resultaten zijn door WFSR gebundeld in één rapportage (Faassen et al., 2022).

Tijdens deze onderzoeken heeft WFSR de zeewiertelers via North Sea Farmers (voorheen onder de naam Noordzeeboerderij) benaderd voor medewerking aan het onderzoek. Zeven zeewiertelers, inclusief North Sea Farmers zelf, hebben hun medewerking verleend. BuRO heeft hierover geen direct contact gehad met de zeewiertelers.

Alle bemonsteringen van zeewier bij de verschillende zeewierboerderijen zijn uitgevoerd door WFSR. Er zijn twee bijeenkomsten georganiseerd waar WFSR tussentijdse resultaten heeft gerapporteerd aan LNV, BuRO en North Sea Farmers samen. De resultaten van de chemische analyses zijn door WFSR tijdens de onderzoeken individueel gedeeld met de zeewiertelers en in zijn geheel met North Sea Farmers. In deze eindrapportage van WFSR zijn de resultaten geanonimiseerd. Vanwege bedrijfsgevoelige informatie blijft het rapport met de individuele resultaten vertrouwelijk (Faassen et al., 2022). De geaggregeerde, geanonimiseerde resultaten heeft WFSR meegenomen in de openbare rapportage (Banach et al., 2020b).

Aanvullend heeft WFSR in opdracht van LVVN onderzocht wat de invloed van bewerking en bereiding van vers zeewier is op de gehaltes van een aantal contaminanten (Van Tuinen et al., 2023; Gsell et al., 2025).

Daarnaast heeft de NVWA in 2018, 2019 en 2020 zeewierproducten waaronder sushi bemonsterd in winkels en groothandels. De chemische analyses zijn uitgevoerd door WFSR. In opdracht van BuRO zijn de chemische analyses van de monsters uit 2018 en 2019 uitgebreid met extra stoffen en stofgroepen. De resultaten over 2018 en 2019 zijn gezamenlijk weergegeven in één rapportage (Faassen, 2020).

8.2 Natuur

Om de risico's van zeewierteelt op gebied van uitheemse soorten in beeld te brengen, heeft BuRO onderzoeksbureau GiMaRIS opdracht gegeven voor drie onderzoeken. Het eerste onderzoek betrof een inventarisatie van mogelijke uitheemse soorten in 2019 (veldonderzoek) en een schatting van de kans op de introductie, vestiging en verspreiding van die uitheemse soorten (Gittenberger et al., 2020b). In het tweede onderzoek zijn de risico's van zeewierteelt van de soorten die door Stichting North Sea Farmers werden aangedragen als mogelijk in de Noordzee te telen soorten onderzocht (desk research in samenwerking met Wageningen Marine Research (WMR)) (Gittenberger et al., 2020a). Naar aanleiding van deze twee onderzoeken is in het derde onderzoek een inschatting gemaakt van de impact van een aantal uitheemse zeewiersoorten met commerciële waarde op de natuur in Nederland (desk research en 'expert judgement') (Gittenberger, 2025).

Bijlage II. Aanvullend literatuuronderzoek

8.3 Aanvullend literatuuronderzoek voedselveiligheid – chemie

In navolging van de methodologie gebruikt door de onderzoekers van WFSR (Banach et al., 2020b) is aanvullend literatuuronderzoek uitgevoerd. Hierbij is de zoekopdracht gelimiteerd: Limited to publication years 2019-2022 (20 juli 2022).

In Scopus is gezocht met de onderstaande zoektermen:

#1: seaweed

TITLE(seaweed* OR "edible algae" OR "Rhodymenia palmata" OR "Palmata palmata" OR "palmaria palmata" OR dulse OR "Porphyra tenera" OR nori OR "Ascophyllum nodosum" OR "Chlorella luteoviridis" OR "Heterochlorella luteoviridis" OR "Chlorella pyrenoidosa" OR "Chlorella vulgaris" OR "Eisenia bicyclis" OR "Fucus vesiculosus" OR "Hizikia fusiforme" OR "Sargassum fusiforme" OR "Hizikia fusiformis" OR hiziki OR "Laminaria digitata" OR "Finger kelp" OR "Laminaria japonica" OR "Laminaria longicruris" OR "Lamniaria saccharina" OR "Saccharina hyperborea" OR "sugar kelp" OR "Undaria pinnatifida" OR wakame OR "Sphaerotrichia divaricate" OR "Ulva lactuca" OR "sea lettuce" OR "Himanthalia elongate" OR "Anthrospira Platensis" OR spirulina OR nanachloropsis OR porphyra OR undaria OR arame OR hizikia OR kelp OR laminaria OR saccharina OR palmaria OR ulva OR "Alaria esculenta" OR "Fucus serratus" OR "Fucus serratus" OR "Laminaria hyperborea" OR "Saccharina japonica" OR "Saccharina latissimia" OR "Pelvetia canaliculate" OR "Chondrus crispus" OR "Gracilaria verrucose" OR "Phymatolithon calcareum" OR "palmata" OR "Vertebrata lanosa" OR Caulerpa OR "Cladophora rupestris" OR "Enteromorpha" OR "Mekong weed" OR rockweed OR dulse OR kombu OR tangle OR oarweed OR rockweed OR badderlocks)

#2: chemical hazards

TITLE-ABS-KEY("Food contamination" OR "Chemical pollutant*" OR "chemical hazard*" OR contamina* OR toxin* OR "toxic substance*" OR "toxic compound*" OR pollutant* OR "agricultural chemical*" OR "chemical compound*" OR "chemical substance*" OR residu* OR toxicant* OR toxic* OR "heavy metal*" OR pesticide* OR iodine OR lectin* OR arsenic OR microplastic* OR dioxin OR pcb* OR "polychlorinated biphenyl*")

#3: public health

TITLE-ABS-KEY("Public health" OR "HACCP" OR "Consumer protection" OR consumer* OR "Food safety" OR "risk assessment*" OR "risk analys*" OR "hazard analys*" OR "Human health*" OR "Health impact" OR "health risk*" OR human)

(#1 AND #2 AND #3)

Bovenstaande zoekopdracht leverde in Scopus 316 publicaties op.

Dezelfde zoektermen zijn gebruikt in Web of Science. In plaats van TITLE-ABS-KEY is gebruik gemaakt van TS (topic). De zoekopdracht leverde 256 publicaties op.

8.4 Aanvullend literatuuronderzoek voedselveiligheid – microbiologie

De literatuurstudie is uitgevoerd door WFBR in opdracht van BuRO (Rodríguez Illera & Van Bokhorst-Van de Veen, 2019). Deze literatuurstudie omvat alle literatuur tot en met 04-02-2019. In deze studie is naar wetenschappelijke literatuur gezocht in Scopus en Web of Science (WoS) en naar grijze literatuur (onder andere rapporten: uitbraken, risicobeoordelingen) op internet. Dat leverde 31 relevante artikelen op vanuit Scopus en WoS en 8 documenten uit de grijze literatuur (waarvan drie RIVM rapporten "Staat van Zoönosen").

Wetenschappelijke en grijze literatuur

BuRO heeft de literatuurstudie van WFBR aangevuld met literatuur tot en met 03-10-2023. Hiervoor zijn dezelfde zoekopdrachten gebruikt als door WFBR. Echter, een door BuRO incorrect overgenomen zoekopdracht bleek in WoS een ruime selectie – merendeel niet relevante – hits (1.449 hits) op te leveren, ook na toepassing van extra exclusiecriteria (984 hits). Hiervan zijn de bovenste 150 hits (gesorteerd op relevantie) gescreend op titel (en eventueel abstract), wat een aantal relevante publicaties opleverde. In totaal leverde deze aanvullende zoekopdracht nog 26

Tabel 31 Overzicht van de resultaten van de aanvullende literatuurzoekopdrachten.

Literatuurzoeksysteem	Aanvullende periode		
	Hits	Relevant	Uniek
3-10-2023			
Scopus	324	2	2
WoS	11	1	0
WoS*	1.449	8	6
Google		14	14
Rapporten		3	3
Pathogenen	86	6	1
Totaal			26
14-2-2025			
Scopus processing	125	10	8

* Incorrect overgenomen zoekopdracht gebruikt, eerste 150 hits gescreend

relevante publicaties op, die verder zijn gelezen (en mogelijk benut) voor deze risicobeoordeling (Tabel 31, Tabel 32).

Tenslotte heeft BuRO nog een extra aanvullende literatuurstudie uitgevoerd op 14-02-2025 specifiek voor het effect van verschillende be- en verwerkingsmethoden op de microbiologische veiligheid van zeewier. De reden hiervoor was een recente publicatie van WFBR op dit gebied (Banach et al., 2024). Er is gebruik gemaakt van de zoekopdracht van WFBR en gezocht naar literatuur uit de jaren 2022-2024.

De gebruikte zoektermen voor be- en verwerkingsmethoden zijn:

TITLE-ABS-KEY (processing OR drying OR salting OR ferment* OR freezing OR blanching OR heat* OR cook*) AND PUBYEAR >2021 AND PUBYEAR <2025

Er is alleen gezocht in Scopus, omdat dit in de vorige aanvullende zoekopdracht de meeste (relevante) hits opleverde (met de juiste zoekopdracht). Dit leverde met de exclusiecriteria niet het genoemde artikel van Banach et al. (2024) op, daarom is gezocht zonder de exclusiecriteria. Dit resulteerde in 125 artikelen die op titel zijn gescreend. Dit leverde naast het artikel van Banach et al. (2024) nog 7 andere nieuwe relevante publicaties op, die verder zijn gelezen (en mogelijk benut) voor deze risicobeoordeling (Tabel 31).

Uitbraken

Voedselgerelateerde uitbraken worden in Nederland geregistreerd bij de NVWA, GGD en RIVM. Jaarlijks wordt hierover gerapporteerd door het RIVM in samenwerking met de NVWA en WFSR. Op EU-niveau vindt jaarlijks rapportage plaats door EFSA in samenwerking met het ECDC in de One Health Zoonoses Reports. De rapporten over de periode 2017-2023 zijn door BuRO geraadpleegd (Nederland: (Friesema et al., 2019; Friesema et al., 2020; Friesema et al., 2021;2022;2023;2024); EU: (EFSA & ECDC, 2018;2019;2021a;2021b;2022;2023;2024).

De Centers for Disease Control and Prevention (CDC) National Outbreak Public Data Tool (NORS; (CDC, 2018)) met data over voedselgerelateerde uitbraken in de Verenigde Staten (VS) is door WFBR geraadpleegd voor de periode 1998-2016, door BuRO is aanvullend gezocht naar uitbraken in de periode 2017-2021.

Voor Australië is door WFBR gezocht naar data over voedselgerelateerde uitbraken in de rapporten van de Australische staat New South Wales (2009-2018). Aanvullend zijn de rapporten van 2019 en 2020 doorzocht door BuRO (Communicable Diseases Branch, 2019;2022). Daarnaast is gezocht naar jaarrapportages in OzFoodNet. Deze zijn beschikbaar t/m 2017 en vanaf 2013 doorzocht (Bell et al., 2021; OzFoodNet Working Group, 2021;2022). Ook is naar rapporten van de staat Queensland gezocht, alleen een rapport over 2020 was beschikbaar (State of Queensland (Queensland Health), 2021).

Voor Nieuw Zeeland heeft WFBR de rapporten van New Zealand Food Safety uit de periode 2006-2016 doorzocht. Aanvullend zijn door BuRO de rapporten uit de periode 2017-2022 doorzocht

(Pattis et al., 2019a; Pattis et al., 2019b; Pattis et al., 2020; Horn et al., 2021; Pattis et al., 2022; Horn et al., 2023).

Tenslotte is door BuRO nog gezocht naar informatie over voedselgerelateerde uitbraken in Hong Kong en Taiwan. Dit zijn landen in Azië, daarvan is het vermoeden dat de consumptie van zeewier hoger ligt dan in Europa en deze landen hebben een Engelstalige website. Er is voor Hong Kong gezocht op de website van het Center for Health Protection (www.chp.gov.hk) en het Center for Food Safety (www.fcs.gov.hk). Voor Taiwan is gezocht op de website van de Ministry of Health and Welfare (www.mohw.gov.tw).

Tabel 32 Overzicht van de resultaten van de aanvullende literatuurzoekopdracht met betrekking tot de 15 voedselgerelateerde pathogenen.

Pathogeen	Hits	Relevante hits
Bacillus cereus [*]	13	1
Campylobacter	3	0
Clostridium botulinum* en *Clostridium perfringens [#]	5	0
Listeria monocytogenes	5	4
Salmonella	17	4
Staphylococcus aureus [$]	21	1
STEC [%]	4	2
Norovirus	4	0
Rotavirus	2	0
HAV, HEV [&]	9	0
Cryptosporidium	1	0
Giardia	1	0
Toxoplasma gondii	1	0
Totaal	86	12 (6 uniek)

Gebruikte zoekopdracht:
[*] "Bacillus cereus" OR "B. cereus"
[#] "Clostridium botulinum" OR "C. botulinum" OR "Clostridium perfringens" OR "C. perfringens"
[$] "Staphylococcus aureus" OR "S. aureus"
[%] (verotox* OR vtec OR (enterohemorr* AND *coli) OR ehec OR shigatox* OR shiga*tox* OR stec OR (enterotox* AND *coli) OR etec OR (enteropath* AND *coli) OR epec OR (enteroinvas* AND *coli) OR (entero*invas* AND *coli) OR eiec OR (enteroaggr* AND *coli) OR eaec OR eaggec OR "adherent-invasive e. coli" OR aiec OR "pathogenic *coli" OR O157)
[&] hepatitis

8.5 Aanvullend literatuuronderzoek voedselveiligheid – fysisch

Met behulp van de zoekmachines PubMed en Scopus is met zoektermen seaweed, algae, physical, foreign objects, foreign bodies, foreign material, extraneous material, injury (injuries) en hazard(s) in verschillende combinaties (AND/OR) gezocht naar wetenschappelijke literatuur die ingaat op de fysische gevaren in de zeewierketen en bijbehorende risico's. Specifiek voor micro- en nanoplastics is gezocht naar de combinatie microplastics, nanoplastics, seaweed en/of algae. Deze literatuurstudie omvat literatuur tot en met april 2024.

Daarnaast is gezocht naar relevante meldingen in RASFF, het systeem van de Europese Unie voor Food and Feed Safety Alerts. Ook is gekeken naar de Recalls, Market Withdrawals, & Safety Alerts van de U.S. Food and Drug Administration (FDA). Tot slot is met de verschillende zoektermen met behulp van zoekmachine Google gezocht naar aanvullende informatie.

Bijlage III. Bemonsteringsprotocol

Voor het bemonsteren van zeewier bij de zeewierboerderijen bestaat geen bemonsteringsprotocol, zoals dat voor veel andere levensmiddelen wel het geval is. Gedurende de eerste bemonsteringen van geteeld zeewier is een bemonsteringsprotocol voor de bemonstering van zeewier opgesteld. Hierbij is uitgegaan van bestaande monsternameprotocollen bij de NVWA voor schaal-en schelpdieren en de ervaringen opgedaan tijdens de eerste bemonsteringen van vers zeewier. Dit protocol beschrijft de monstername voor Zeesla en Suikerwier (in zoutwaterbassins op land, in estuaria en op zee), de hoeveelheden en wijze van bemonsteren, maatregelen om contaminatie te voorkomen en aanwijzingen voor vervoer en opslag van de monsters. Bij de bemonsteringsaanwijzingen is rekening gehouden met zowel een chemische als een microbiologische analyse. Het is een eerste stap in het standaardiseren van bemonstering van vers zeewier. Het is opgesteld door WFSR, North Sea Farmers en het toenmalige Ministerie van LNV als handvat voor de zeewiersector. Het is uitdrukkelijk geen officieel bemonsteringsprotocol van de NVWA (Noordzeeboerderij, 2020).

De informatie uit dit project is ingebracht bij de ontwikkeling van Europese normen voor micro- en macroalgen voor onder andere een bemonsteringsmethode voor algen op verzoek van de Europese Commissie. Vanuit Nederland is het Nederlands Normalisatie-instituut (NEN) hierbij betrokken (Te Ronde, 2018). De normcommissie werkt aan een CEN-standaard rondom de analysemethode voor de bepaling van contaminanten (Boos, 2021).

Bijlage IV. Individueel geanalyseerde dioxines, DL-PCB's en NDL-PCB's

Tabel 33 Overzicht individueel geanalyseerde dioxines, DL-PCB's en NDL-PCB's.

Dioxines (PCDD/Fs)	
2,3,7,8-TCDF	2,3,7,8-TCDD
1,2,3,7,8-PeCDF	1,2,3,7,8-PeCDD
2,3,4,7,8-PeCDF	1,2,3,4,7,8-HxCDD
1,2,3,4,7,8-HxCDF	1,2,3,6,7,8-HxCDD
1,2,3,6,7,8-HxCDF	1,2,3,7,8,9-HxCDD
2,3,4,6,7,8-HxCDF	1,2,3,4,6,7,8-HpCDD
1,2,3,7,8,9-HxCDF	OCDD
1,2,3,4,6,7,8-HpCDF	
1,2,3,4,7,8,9-HpCDF	
OCDF	
DL-PCB's (non-ortho PCB's en mono-ortho PCB's)	
PCB 81	PCB 114
PCB 77	PCB 105
PCB 126	PCB 167
PCB 169	PCB 156
PCB 123	PCB 157
PCB 118	PCB 189
NDL-PCB's	
PCB 028	PCB 153
PCB 052	PCB 138
PCB 101	PCB 180

Bijlage V. Afkortingenlijst individuele PFAS

Tabel 34 Volledige naam van de individuele PFAS plus de CAS-nummers.

PFAS afkorting	PFAS	CAS-nummer
PFBA	perfluorbutaanzuur	375-22-4
PFPeA	perfluorpentaanzuur	2706-90-3
PFHxA	perfluorhexaanzuur	307-24-4
PFHpA	perfluorheptaanzuur	375-85-9
PFOA	perfluoroctaanzuur	335-67-1
PFNA	perfluornonaanzuur	375-95-1
PFDA	perfluordecaanzuur	335-76-2
PFUnDA	perfluorundecaanzuur	2058-94-8
PFDoDA	perfluordodecaanzuur	307-06-7
PFTrDA	perfluortridecaanzuur	72629-94-8
PFTeDA	perfluortetradecaanzuur	376-06-7
PFBS	perfluorbutaansulfonzuur	375-73-5
PFHxS	perfluorhexaansulfonzuur	355-46-4
PFHpS	perfluorheptaansulfonzuur	375-92-8
PFOS	perfluoroctaansulfonzuur	1763-23-1
PFDS	perfluordecaansulfonzuur	335-77-3
GenX (HPFO-DA)	2,3,3,3-tetrafluor-2(heptafluorpropoxy)propionzuur	13252-13-6
NaDONA	natriumzout van ammonium 4,8-dioxa-3h-perfluornonanoaat (ADONA)	958445-44-8*
9Cl-PF3ONS	9-chlorohexadecafluoro-3-oxanonane-1-sulfonate	73606-19-6
11Cl-PF3OUdS	11-chloroeicosafluoro-3-oxaundecane-1-sulfonate	83329-89-9
PFHxDA	perfluorhexadecaanzuur	67905-19-5
PFODA	perfluoroctadecaanzuur	16517-11-6
PFOSA	perfluoroctaansulfonamide	754-91-6

*Geldt voor ADONA referentiewaarde

Bijlage VI. Details met betrekking tot kwantificatielimieten (LOQ)

Tabel 35 geeft een overzicht van de kwantificatielimiet (LOQ) van de analyse van jodium, zware metalen en overige contaminanten aangetroffen in de zeewieren zeesla en suikerwier. Omdat de LOQ per monster verschilt is deze in een range weergegeven. Voor de stoffen waarbij geen van de analyseresultaten onder de LOQ lag, is geen waarde weergegeven.

Tabel 35 Een overzicht van de kwantificatielimiet (LOQ) van de analyse van jodium, zware metalen en overige contaminanten aangetroffen in de zeewieren zeesla en suikerwier.

Stof	Eenheid	Zeesla		Suikerwier	
		Nat	Droog	Nat	Droog
Jodium	mg/kg	-	-	-	-
Cadmium		0,066	0,3	0,02-0,066	0,12-0,47
Kwik		0,004-0,01	0,012-0,050	0,004-0,015	0,020-0,12
Lood		0,06	0,26-0,32	0,06	0,37-0,45
Nikkel		-	-	0,1	0,65-0,73
Totaal arseen		0,02-0,12	0,06-0,54	-	-
Anorganisch arseen		0,03-0,11	0,14-0,68	0,11	0,44-0,87
Totaal dioxines	ng WHO(2005)-PCDD/F-TEQ/kg	-	-	-	-
Totaal DL-PCB's		-	-	-	-
Totaal NDL-PCB's	µg/kg	0,08	0,45	0,08	0,58
Benzo(a)anthraceen		0,1	0,02-0,03	0,1	0,01-0,02
Chryseen		0,1	0,02-0,03	0,1	0,02
Benzo(b)fluorantheen		0,1	0,02-0,03	0,1	0,02
Benzo(a)pyreen		0,1	0,02-0,03	0,1	0,02

Tabel 36 geeft een overzicht van de kwantificatielimiet (LOQ) van de analyse van de individuele PFAS-verbindingen aangetroffen in de zeewieren zeesla en suikerwier. De LOQ is gebaseerd op de analyse van nat product.

Tabel 36 Een overzicht van de kwantificatielimiet (LOQ) van de analyse van de individuele PFAS-verbindingen aangetroffen in de zeewieren zeesla en suikerwier.

PFAS	LOQ (µg/kg product)
PFHxA	0,1
PFHpA	0,005
PFOA	0,1
PFNA	0,1
PFDA	0,1
PFUnDA	0,1
PFDoDA	0,005
PFTrDA	0,005
PFTeDA	0,005
PFBS	0,1
PFHxS	0,005
PFHpS	0,01
PFOS	0,1
PFDS	0,1
GenX	0,1
NaDONA	0,005
9Cl-PF3ONS	0,005

Bijlage VII. Relatieve potentiefactoren PFAS

Tabel 37 Overzicht van gemeten PFAS en de bijbehorende relatieve potentie factoren op basis van (Bil et al., 2021). Indien voor de RPF een range is gerapporteerd is door BuRO de hoogste waarde gekozen als RPF, dit is in lijn met de meest recente berekeningen door RIVM (Schepens et al., 2023).

PFAS*	RPF	Opmerking
11Cl-PF3OUdS	(-)	geen RPF beschikbaar, niet meegenomen in berekening
9Cl-PF3ONS	(-)	geen RPF beschikbaar, niet meegenomen in berekening
GenX	0,06	in artikel gerefereerd als HFPO-DA
NaDONA	0,03	in artikel gerefereerd als ADONA
PFBA	0,05	
PFBuS	0,001	in artikel gerefereerd als PFBS
PFDA	10	in artikel range 4 tot 10
PFDoDA	3	
PFDS	2	
PFHpA	1	in artikel range 0,01 tot 1
PFHpS	2	in artikel range 0,6 tot 2
PFHxA	0,01	
PFHxS	0,6	
PFNA	10	
PFOA	1	
PFOS	2	
PFPeA	0,05	in artikel range 0,01 tot 0,05
PFTeDA	0,3	
PFTrDA	3	in artikel range 0,3 tot 3
PFUnDA	4	

*Zie voor verklaring van de afkortingen van de individuele PFAS bijlage V

Bijlage VIII. Concentraties contaminanten in zeesla en suikerwier

Tabel 38 Het gemiddelde, minimum, maximum, P50- en P95-gehalte (mg/kg) van jodium, cadmium, kwik, lood, nikkel, totaal arseen en anorganisch arseen aangetroffen in de onderzochte zeewieren zeesla en suikerwier. Alle gehalten zijn zowel weergegeven voor nat als voor gedroogd zeewier*. Bij LB zijn de waardes <LOQ vervangen door de waarde 0 en bij UB zijn de waardes <LOQ vervangen door de bijbehorende LOQ's.

	Jodium		Cadmium		Kwik		Lood		Nikkel		Totaal arseen		Anorganisch arseen	
	LB	UB	LB	UB	LB	UB	LB	UB	LB	UB	LB	UB	LB	UB
Nat zeewier – zeesla (mg/kg)														
Gemiddelde	12	12	0,0087	0,022	0,0040	0,0072	0,45	0,47	0,79	0,79	0,78	0,79	0,12	0,15
Minimum	0,76	0,76	0	0,0045	0	0,0035	0	0,0098	0,097	0,097	0	0,015	0	0,028
Maximum	62	62	0,028	0,066	0,031	0,031	2,8	2,8	3,9	3,9	4,3	4,3	0,57	0,57
P50	6,2	6,2	0,0075	0,011	0	0,0047	0,26	0,3	0,59	0,59	0,73	0,73	0,11	0,11
P95	31	31	0,022	0,066	0,016	0,016	1,7	1,7	1,5	1,5	2,3	2,3	0,28	0,28
Droog zeewier – zeesla (mg/kg)														
Gemiddelde	57	57	0,038	0,097	0,016	0,0302	2,04	2,1	3,02	3,02	3,4	3,4	0,55	0,70
Minimum	3,7	3,7	0	0,015	0	0,012	0	0,047	0,47	0,47	0	0,065	0	0,29
Maximum	194	194	0,101	0,33	0,072	0,072	7,2	7,2	6,3	6,3	9,7	9,7	1,4	1,4
P50	27	27	0,038	0,049	0	0,028	1,3	1,3	2,7	2,7	3,4	3,4	0,46	0,60
P95	161	161	0,089	0,31	0,041	0,048	6,4	6,4	6,02	6,02	7,7	7,7	1,3	1,3
Nat zeewier – suikerwier (mg/kg)														
Gemiddelde	609	609	0,018	0,029	0,0053	0,014	0,45	0,46	0,72	0,73	7,1	7,1	0,12	0,17
Minimum	27	27	0	0,015	0	0,0035	0	0,053	0	0,10	2,5	2,5	0	0,11
Maximum	3600	3600	0,075	0,075	0,02	0,020	1,9	1,9	3,7	3,7	14	14	0,50	0,50
P50	560	560	0,019	0,021	0	0,015	0,29	0,29	0,48	0,48	7,3	7,3	0,12	0,12
P95	1150	1150	0,049	0,066	0,018	0,018	1,3	1,3	1,8	1,8	11	11	0,39	0,39
Droog zeewier – suikerwier (mg/kg)														
Gemiddelde	3559	3559	0,097	0,17	0,030	0,082	2,6	2,6	4,4	4,5	41	41	0,71	1,02
Minimum	170	170	0	0,082	0	0,020	0	0,35	0	0,65	19	19	0	0,44
Maximum	14400	14400	0,39	0,46	0,12	0,12	11	10,7	26	26	63	63	2,6	2,6
P50	3483	3483	0,12	0,14	0	0,091	1,8	1,8	3,2	3,2	42	42	0,78	0,83
P95	6925	6925	0,24	0,39	0,11	0,12	6,9	6,9	12	12	55	55	2,1	2,1

* In haar rapportage heeft WFSR alle analyseresultaten uitgedrukt in drooggewicht. Wanneer analyses op natte monsters zijn uitgevoerd, zijn de concentraties op basis van drooggewicht berekend door te corrigeren voor het vochtgehalte van het monster (Faassen et al., 2022).

Tabel 39 Het gemiddelde, minimum, maximum, P50- en P95-gehalte van totaal dioxines, totaal DL-PCB's, totaal dioxines + totaal DL-PCB's (ng WHO(2005)-PCB-TEQ/kg), totaal NDL-PCB's, benzo(a)anthraceen, chryseen, benzo(b)fluorantheen, benzo(a)pyreen en de som van PAK4 (µg/kg) aangetroffen in de onderzochte zeewieren zeesla en suikerwier. Alle gehalten zijn zowel weergegeven voor nat als voor gedroogd zeewier*. Bij het LB zijn de waardes <LOQ vervangen door de waarde 0 en bij UB zijn de waardes <LOQ vervangen door de bijbehorende LOQ's.

	Totaal dioxines		Totaal DL-PCB's		Totaal dioxines + totaal DL-PCB's		Totaal NDL-PCB's		Benzo(a)-anthraceen		Chryseen		Benzo(b)-fluorantheen		Benzo(a)-pyreen		Som PAK4	
	(ng WHO(2005)-PCB-TEQ/kg)						(µg/kg)											
	LB	UB	LB	UB	LB	UB	LB	UB	LB	UB	LB	UB	LB	UB	LB	UB	LB	UB
	Nat zeewier – zeesla																	
Gem.	0,039	0,081	0,012	0,013	0,051	0,094	0,094	0,16	0,26	0,29	0,34	0,37	0,50	0,52	0,28	0,31	1,4	1,5
Min.	0,0013	0,027	0,000022	0,0025	0,0013	0,033	0	0,037	0	0,10	0	0,10	0	0,10	0	0,10	0	0,40
Max.	0,15	0,19	0,044	0,044	0,19	0,24	0,41	0,47	0,92	0,92	1,3	1,3	1,6	1,6	1,1	1,1	5,0	5,00
P50	0,036	0,0605	0,0097	0,011	0,046	0,073	0,054	0,14	0,15	0,15	0,21	0,21	0,32	0,32	0,15	0,15	0,82	0,82
P95	0,097	0,18	0,028	0,029	0,13	0,204	0,28	0,32	0,71	0,71	0,88	0,88	1,4	1,4	0,83	0,83	3,8	3,8
	Droog zeewier – zeesla																	
Gem.	0,17	0,35	0,053	0,057	0,22	0,402	0,39	0,71	1,1	1,1	1,4	1,4	2,0	2,0	1,1	1,1	5,5	5,6
Min.	0,0071	0,066	0,00012	0,014	0,0072	0,079	0	0,15	0	0,016	0	0,016	0	0,016	0	0,016	0	0,065
Max.	0,70	0,89	0,201	0,204	0,90	1,1	1,9	2,2	3,2	3,2	3,7	3,7	6,7	6,7	3,6	3,6	17	17
P50	0,11	0,28	0,034	0,041	0,16	0,32	0,21	0,69	0,74	0,74	1,0	1,0	1,5	1,5	0,71	0,71	4,0	4,0
P95	0,47	0,85	0,14	0,14	0,61	0,99	1,3	1,5	3,0	3,0	3,5	3,5	6,0	6,0	3,2	3,2	15,7	15,7
	Nat zeewier – suikerwier																	
Gem.	0,042	0,081	0,011	0,012	0,053	0,093	0,099	0,15	0,45	0,48	0,54	0,57	0,83	0,86	0,56	0,59	2,4	2,5
Min.	0,000025	0,026	0,000026	0,0023	0,0000501	0,028	0	0,027	0	0,10	0	0,10	0	0,10	0	0,10	0	0,40
Max.	0,24	0,24	0,053	0,053	0,29	0,29	0,47	0,47	1,8	1,8	2,2	2,2	3,7	3,7	2,2	2,2	9,9	9,9
P50	0,016	0,064	0,0034	0,0045	0,021	0,0705	0,018	0,10	0,19	0,19	0,24	0,24	0,39	0,39	0,208	0,208	1,03	1,03
P95	0,14	0,18	0,037	0,037	0,18	0,21	0,46	0,46	1,5	1,5	1,7	1,7	2,7	2,7	2,0	2,0	7,9	7,9
	Droog zeewier – suikerwier																	
Gem.	0,23	0,47	0,059	0,067	0,29	0,54	0,49	0,79	2,5	2,5	3,003	3,01	4,6	4,6	3,1	3,1	13	13
Min.	0,00016	0,17	0,00017	0,015	0,00033	0,19	0	0,17	0	0,013	0	0,015	0	0,015	0	0,015	0	0,061
Max.	1,2	1,2	0,26	0,27	1,5	1,5	2,3	2,3	9,05	9,05	11	11	19	19	11	11	50	50
P50	0,12	0,37	0,026	0,032	0,14	0,41	0,13	0,67	0,83	0,83	1,2	1,2	1,8	1,8	0,98	0,98	4,7	4,7
P95	0,79	1,0	0,17	0,18	0,96	1,2	2,03	2,03	8,4	8,4	9,6	9,6	15	15	11	11	44	44

Gem: gemiddelde, Min.: minimum, Max.: maximaal

* In haar rapportage heeft WFSR alle analyseresultaten uitgedrukt in drooggewicht. Wanneer analyses op natte monsters zijn uitgevoerd, zijn de concentraties op basis van drooggewicht berekend door te corrigeren voor het vochtgehalte van het monster (Faassen et al., 2022).

Tabel 40 De door BuRO berekende totale PFAS-gehalten (ng PFAS/kg of ng PEQ/kg voor de berekeningen met RPF's) in de onderzochte zeewieren zeesla en suikerwier. De gemiddelde, minimum, maximum, P50- en P95-gehalten zijn berekend met een lower bound. Voor het optellen van de PFAS zijn vier verschillende methoden gebruikt; som van de EFSA-4 gebaseerd op equipotentie, de som van EFSA-4 gebaseerd op RPF's, de som van alle gemeten PFAS gebaseerd op equipotentie en de som van alle gemeten PFAS gebaseerd op RPF's. Alle gehalten zijn zowel weergegeven voor nat als voor gedroogd zeewier.

	Som EFSA-4 (ng PFAS/kg)	Som EFSA-4 (ng PEQ/kg)	Som alle gemeten PFAS (ng PFAS/kg)	Som alle gemeten PFAS (ng PEQ/kg)
	Nat zeewier - zeesla			
Gemiddelde	94	258	121	450
Minimum	0	0	0	0
Maximum	460	1160	523	1682
P50	81	193	103	413
P95	307	829	362	1227
	Droog zeewier - zeesla			
Gemiddelde	446	1231	584	2124
Minimum	0	0	0	0
Maximum	2880	7280	3270	10520
P50	152	441	331	1236
P95	1671	4446	1952	6542
	Nat zeewier - suikerwier			
Gemiddelde	37	102	50	174
Minimum	7	14	7	14
Maximum	198	573	256	910
P50	18	40	20	40
P95	135	390	173	691
	Droog zeewier - suikerwier			
Gemiddelde	260	608	368	1184
Minimum	48	96	48	96
Maximum	996	2916	1196	4556
P50	115	260	130	260
P95	872	1989	1000	3667

Bijlage IX. Maximale veilige consumptie zeewier gecontamineerd met PFAS

Tabel 41 De maximale dagelijkse veilige consumptie van de onderzochte zeewieren zeesla en suikerwier voordat de gezondheidskundige grenswaarde voor PFAS overschreden wordt door 1- t/m 3-jarigen (12 kg) en 18- t/m 80-jarigen (60 kg). Voor het optellen van de PFAS zijn vier verschillende methoden gebruikt; som van de EFSA-4 gebaseerd op equipotentie, de som van EFSA-4 gebaseerd op RPF's, de som van alle gemeten PFAS gebaseerd op equipotentie en de som van alle gemeten PFAS gebaseerd op RPF's. Vetgedrukte waardes: de berekende maximale dagelijkse veilige consumptie ligt lager dan de bovenste grens van een hoge consumptie (95% betrouwbaarheidsinterval van de P95 consumptie; i.e. <161,4 gram per dag en <23,1 gram per dag, respectievelijk voor nat en droog zeewier). Hierbij is geen rekening gehouden met blootstelling uit andere bronnen.

Zeewier		PFAS	Gezondheids-kundige grenswaarde (ng/kg lichaams-gewicht per dag)	P95-gehalte	Maximale dagelijkse veilige consumptie (g/dag)	
					1- t/m 3-jarigen	18- t/m 80-jarigen
Zeesla	Nat	Som EFSA-4 (ng PFAS/kg)	0,63	619	12	**61**
		Som EFSA-4 (ng PEQ/kg)		1667	5	**23**
		Som alle gemeten PFAS (ng PFAS/kg)		734	10	**51**
		Som alle gemeten PFAS (ng PEQ/kg)		2480	3	**15**
	Droog	Som EFSA-4 (ng PFAS/kg)		3804	2	**10**
		Som EFSA-4 (ng PEQ/kg)		9430	1	**4**
		Som alle gemeten PFAS (ng PFAS/kg)		7300	1	**5**
		Som alle gemeten PFAS (ng PEQ/kg)		14.489	1	**3**
Suikerwier	Nat	Som EFSA-4 (ng PFAS/kg)		270	28	**140**
		Som EFSA-4 (ng PEQ/kg)		781	10	**48**
		Som alle gemeten PFAS (ng PFAS/kg)		353	21	**107**
		Som alle gemeten PFAS (ng PEQ/kg)		1400	5	**27**
	Droog	Som EFSA-4 (ng PFAS/kg)		2280	3	**17**
		Som EFSA-4 (ng PEQ/kg)		4228	2	**9**
		Som alle gemeten PFAS (ng PFAS/kg)		6344	1	**6**
		Som alle gemeten PFAS (ng PEQ/kg)		9830	1	**4**

Bijlage X. PFAS inname door de P50- en P95-consumptie van onderzocht zeewier

Tabel 42 De inname (ng PFAS/kg lichaamsgewicht/dag of ng PEQ/kg lichaamsgewicht/dag voor de berekeningen met RPF's) van PFAS van 18- t/m 80-jarigen (60 kg) door P50- en P95-consumptie (zeewiergebruikers) van onderzocht nat en droog zeewier (zowel zeesla en suikerwier). Voor het optellen van de PFAS zijn vier verschillende methoden gebruikt; som van de EFSA-4 gebaseerd op equipotentie, de som van EFSA-4 gebaseerd op RPF's, de som van alle gemeten PFAS gebaseerd op equipotentie en de som van alle gemeten PFAS gebaseerd op RPF's.

Zeewier		Stof	P50-gehalte	Inname (ng PFAS/kg lichaamsgewicht/dag of ng PEQ/kg lichaamsgewicht/dag)		Gezondheidskundige grenswaarde (ng PFAS/kg lichaamsgewicht per dag)
				P50-consumptie	P95-consumptie	
Zeesla	Nat	Som EFSA-4 (ng PFAS/kg)	161	0,0089	0,25	0,63
		Som EFSA-4 (ng PEQ/kg)	384	0,021	0,598	
		Som alle gemeten PFAS (ng PFAS/kg)	207	0,011	0,32	
		Som alle gemeten PFAS (ng PEQ/kg)	825	0,045	1,3	
	Droog	Som EFSA-4 (ng PFAS/kg)	211	0,0018	0,047	
		Som EFSA-4 (ng PEQ/kg)	1145	0,0095	0,25	
		Som alle gemeten PFAS (ng PFAS/kg)	420	0,0035	0,093	
		Som alle gemeten PFAS (ng PEQ/kg)	3373	0,028	0,75	
Suikerwier	Nat	Som EFSA-4 (ng PFAS/kg)	35	0,0019	0,055	
		Som EFSA-4 (ng PEQ/kg)	80	0,0044	0,12	
		Som alle gemeten PFAS (ng PFAS/kg)	40	0,0022	0,062	
		Som alle gemeten PFAS (ng PEQ/kg)	80	0,0044	0,12	
	Droog	Som EFSA-4 (ng PFAS/kg)	1505	0,013	0,33	
		Som EFSA-4 (ng PEQ/kg)	1863	0,016	0,41	
		Som alle gemeten PFAS (ng PFAS/kg)	5382	0,045	1,2	
		Som alle gemeten PFAS (ng PEQ/kg)	4615	0,038	1,02	

Bijlage XI. Verhouding van de totale dagelijkse PFAS inname en de maximale veilige inname

Tabel 43 De verhouding van de dagelijkse inname (ng PFAS/kg lichaamsgewicht/dag of ng PEQ/kg lichaamsgewicht/dag voor de berekeningen met RPF's) van PFAS van 18- t/m 80-jarigen (60 kg) door P50- en P95-consumptie (zeewiergebruikers) van onderzocht nat en droog zeewier (zowel zeesla en suikerwier). Verhoudingen >1 zijn vetgedrukt weergegeven. Het uitgangspunt vormt een P50-gehalte van PFAS.

Zeewier		Stof	Verhouding tussen dagelijkse contaminant inname (ng/kg lichaamsgewicht/dag) en gezondheidskundige grenswaarde	
			P50-consumptie	P95-consumptie
			LB	LB
Zeesla	Nat	Som EFSA-4 (ng PFAS/kg)	0,014	0,40
		Som EFSA-4 (ng PEQ/kg)	0,034	0,95
		Som alle gemeten PFAS (ng PFAS/kg)	0,018	0,51
		Som alle gemeten PFAS (ng PEQ/kg)	0,072	**2,04**
	Droog	Som EFSA-4 (ng PFAS/kg)	0,0028	0,074
		Som EFSA-4 (ng PEQ/kg)	0,015	0,404
		Som alle gemeten PFAS (ng PFAS/kg)	0,0056	0,15
		Som alle gemeten PFAS (ng PEQ/kg)	0,045	**1,2**
Suikerwier	Nat	Som EFSA-4 (ng PFAS/kg)	0,031	0,087
		Som EFSA-4 (ng PEQ/kg)	0,0070	0,20
		Som alle gemeten PFAS (ng PFAS/kg)	0,0035	0,099
		Som alle gemeten PFAS (ng PEQ/kg)	0,0070	0,20
	Droog	Som EFSA-4 (ng PFAS/kg)	0,020	0,53
		Som EFSA-4 (ng PEQ/kg)	0,025	0,66
		Som alle gemeten PFAS (ng PFAS/kg)	0,071	**1,9**
		Som alle gemeten PFAS (ng PEQ/kg)	0,061	**1,6**

Bijlage XII. Tabellen microbiologische risico's voedselveiligheid

Niet alle in deze tabel genoemde pathogenen zijn daadwerkelijk aangetroffen op zeewier, zoals bijvoorbeeld *C. jejuni*. Het in de literatuur gepubliceerde onderzoek naar verschillende van deze pathogenen is echter beperkt. Het niet aantreffen van een pathogeen is om die reden geen bewijs van afwezigheid, zeker als pathogenen die geassocieerd zijn met hetzelfde reservoir (dier, mens, milieu) wel op zeewier zijn aangetroffen. Om die reden zijn in deze tabel pathogenen opgenomen die wel voedselgerelateerde infecties kunnen veroorzaken en waarvan het niet per se onaannemelijk is dat ze op zeewier zouden kunnen voorkomen.

Tabel 44 Overzicht van relevante (groei)factoren van pathogene bacteriën die zouden kunnen voorkomen op zeewier en van belang kunnen zijn voor de voedselveiligheid van zeewier (bron: (US FDA, 2019b; Cressey et al., 2023)).

Micro-organisme	Reservoir[i]	Min. ID[ii] (cellen)	Groei nodig[iii]	Min. Temp. (°C)	pH[iv]	Min. Aw	Ziek door inname	Toxine
B. cereus	milieu (grond, water)	$>10^5$ kve/g	ja	4	4,3	0,91	cellen/sporen[v]	[vi]
		$>10^6$ kve/g[vii]					toxine[viii]	hittestabiel
C. jejuni	mens, dier	>500	nee	30	4,9	0,987	cellen	
C. botulinum **proteolytisch: A,B,F**	mens, dier/milieu/bodemsediment		ja	10	4,6	0,93	toxine	hittelabiel
niet-proteolytisch: B,E,F				2,5	5	0,93-0,97		
C. perfringens	mens, dier/milieu/bodemsediment	$>10^6$ kve/g	ja	4-10	5	0,93	cellen/sporen	[vi]
***E. coli* (STEC)**	mens, dier	±10-100	nee	±6,5	4	0,95	cellen	nvt
L. monocytogenes	mens, dier/milieu	$\pm10^3$-10^4	nee/ja	-0,4	4,4	0,92	cellen	nvt
Salmonella	mens, dier	>1	nee	5,2	3,7	0,94	cellen	nvt
S. aureus **groei**	mens, dier/(milieu)	$>10^5$ kve/g[vii]	ja	7	4	0,83	toxine	hittestabiel
toxine productie				10	4	0,85		
***Shigella* spp.**	mens	±10-200	nee	6,1	4,8	0,96	cellen	nvt
***V. cholerae* non O1/O139**	zeewater	$>10^6$	ja	10	5	0,97	cellen	nvt
V. parahaemolyticus	zeewater	$>10^5$	ja	5	4,8	0,94	cellen	nvt
V. vulnificus	zeewater	10^3-10^6	ja	8	5	0,96	cellen	nvt
Y. enterocolitica	mens, dier	10^4-10^8	ja	-1,3	4,2	0,945	cellen	nvt
Virussen, parasieten	Humaan pathogene virussen en parasieten kunnen niet uitgroeien buiten hun levende gastheer. Er vindt daarom geen toename plaats op zeewier							

[i] Mens, dier: Door mens of dier geïntroduceerd in het zeewater of de procesomgeving; milieu, water: komt van nature voor in het milieu of water
[ii] Min. ID: "minimale infectieuze dosis". Dit zijn vaak schattingen, waarbij de waardes afhankelijk zijn van onder andere host, matrix en stam. Beter is te spreken over de dosis waarbij de kans op ontwikkelen van symptomen als relevant kan worden beschouwd
[iii] Groei nodig in product om minimale infectieuze dosis te bereiken
[iv] Minimum/maximum, het optimum ligt veelal tussen pH 6-7
[v] Diarree-type klachten
[vi] In de darmen gevormd
[vii] Aantal cellen (kve/g) in voedsel dat gerelateerd wordt aan toxineproductie
[viii] Braak-type klachten (cereulide)

Tabel 45 Overzicht van publicaties met kwantitatieve gegevens over het voorkomen van (mogelijk) pathogene micro-organismen op zeewier(producten). Weergegeven is het aantal monsters per studie.

Referentie	# Monsters
(Mahmud et al., 2006)	96
(Mahmud et al., 2008)	75
(DVFA, 2021)*	65
(Panebianco et al., 2019)	26
(EFSA BIOHAZ Panel, 2013)	24
(Ziino et al., 2010)*	20
(Barberi et al., 2020)	18
(Choi et al., 2014)	18
(Lytou et al., 2021)	16
(Alsulaiman, 2011)	14
(Martelli et al., 2021)	14
(Moore et al., 2002)#	12
(Zulkifly et al., 2012)	12
(Moreira-Leite et al., 2023)	8
(Banach et al., 2024)	5
(Son et al., 2014)*	4
(Blikra et al., 2019)	3
(Sørensen et al., 2023)	3
(FSAI Sci. Com., 2020)	2
Eindtotaal	435

* referentie uit Cressey et al. (2023)
# referentie uit FSAI Sci. Com. (2020)