

2014

Risicoanalyse van de uitheemse Egeria
(*Egeria densa*) in Nederland



K.R. Koopman, J. Matthews, R. Beringen,
B. Odé, R. Pot, G. van der Velde,
J.L.C.H. van Valkenburg & R.S.E.W. Leuven

Risicoanalyse van de uitheemse *Egeria* (*Egeria densa*) in Nederland

K.R. Koopman, J. Matthews, R. Beringen,
B. Odé, R. Pot, G. van der Velde,
J.L.C.H. van Valkenburg & R.S.E.W. Leuven

16 oktober 2014

Radboud Universiteit Nijmegen,
Instituut voor Water en Wetland Research
Afdeling Milieukunde,
FLORON & Roelf Pot Onderzoek- en Adviesbureau

In opdracht van
Bureau Risicobeoordeling & onderzoeksprogrammering
(Team Invasieve Exoten)
Nederlandse Voedsel- en Warenautoriteit (NVWA)
Ministerie van Economische Zaken

NEC-E

Reeks Verslagen Milieukunde

De reeks Verslagen Milieukunde wordt gepubliceerd door de afdeling Milieukunde, Instituut voor Water en Wetland Research, Radboud Universiteit Nijmegen, Heyendaalseweg 134, 6525 AJ Nijmegen, Nederland (tel. secretariaat: + 32 (0)243653281).

Verslagen Milieukunde 469

Titel:	Risicoanalyse van de uitheemse <i>Egeria</i> (<i>Egeria densa</i>) in Nederland
Auteurs:	K.R. Koopman, J. Matthews, R. Beringen, B. Odé, R. Pot, G. van der Velde, J.L.C.H. van Valkenburg & R.S.E.W. Leuven
Omslag foto:	<i>Egeria</i> (<i>Egeria densa</i>) in Hoogeveen, Nederland (Foto: J. van Valkenburg).
Projectmanager:	Dr. R.S.E.W. Leuven, Afdeling Milieukunde, Instituut voor Water en Wetland Research, Radboud Universiteit Nijmegen, Heyendaalseweg 135, 6525 AJ Nijmegen, Nederland, e-mail: r.leuven@science.ru.nl
Projectnummer:	RU/FNWI/FEZ 62002158
Client:	Nederlandse Voedsel- en Warenautoriteit, Postbus 43006, 3540 AA Utrecht
Referentie cliënt:	NVWA/BuRO/2014/5061 d.d. 27 mei 2014
Orders:	Secretariaat van de afdeling Milieukunde, Faculteit der Natuurwetenschappen en Informatica, Radboud Universiteit Nijmegen, Heyendaalseweg 135, 6525 AJ Nijmegen, Nederland, e-mail: secre@science.ru.nl, onder vermelding Verslagen Milieukunde 469
Kernwoorden:	Dispersie; ecologische effecten; invasief; invasiviteit; uitheemse soorten

© 2014. Afdeling Milieukunde, Instituut voor Water en Wetland Research, Faculteit der Natuurwetenschappen en Informatica, Radboud Universiteit Nijmegen, Heyendaalseweg 135, 6525 AJ Nijmegen, Nederland

Alle rechten voorbehouden. Niets uit deze uitgave mag worden verveelvoudigd en/of openbaar gemaakt in enige vorm van druk, fotokopie, microfilm of op welke andere wijze dan ook zonder voorafgaande schriftelijke toestemming van de uitgever.

Inhoud

Samenvatting	3
Summary.....	8
1. Introductie.....	13
1.1 Achtergrond en probleemstelling.....	13
1.2 Onderzoeksdoelen	13
1.3 Overzicht en samenhang van het onderzoek.....	13
2. Methoden.....	15
2.1 Componenten van de risicoanalyse.....	15
2.2 Kennisdocument	15
2.3 Risicobeoordeling.....	15
2.3.1 Dispersie potentieel, invasiviteit en ecologische effecten	15
2.3.2 Sociaal-economische effecten en gevolgen voor de volksgezondheid	18
2.4 Kansrijke opties voor risicomanagement	18
3. Risicoanalyse	19
3.1 Waarschijnlijkheid van binnenkomst.....	19
3.1.1 Conclusie	21
3.2 Waarschijnlijkheid van vestiging.....	21
3.2.1 Verspreiding in Nederland.....	21
3.2.2 Habitat en fysiologische toleranties	23
3.2.3 Klimaat en biogeografische vergelijking.....	27
3.2.4 Conclusie	29
3.3 Waarschijnlijkheid van verspreiding.....	29
3.3.1 Conclusie	30
3.4 Risicovolle gebieden in Nederland	30
3.4.1 Conclusie	31
3.5 Risicoclassificatie met het ISEIA-protocol.....	31
3.5.1 Expert consensus risicoscores voor de huidige situatie in Nederland.....	31
3.5.2 Dispersie potentieel of invasiviteit.....	31
3.5.3 Kolonisatie van waardevolle en/of beschermde habitats	32
3.5.4 Negatieve effecten op inheemse soorten	32
3.5.5 Wijzigen van ecosysteemfuncties.....	33
3.5.6 Soortclassificatie voor de huidige situatie	35
3.5.7 Expert consensus risicoscores voor de toekomstige situatie in Nederland	36

3.5.8	Dispersie potentieel en invasiviteit in de toekomst.....	36
3.5.9	Kolonisatie van waardevolle en/of beschermde habitats in de toekomst.....	36
3.5.10	Negatieve effecten op inheemse soorten in de toekomst	36
3.5.11	Wijzigen van ecosysteemfuncties in de toekomst.....	37
3.5.12	Soortclassificatie voor de toekomstige situatie	37
3.6	Sociaal-economische effecten.....	38
3.7	Risico's voor de volksgezondheid.....	39
3.8	Risicomanagement opties	39
3.8.1	Preventie van introductie.....	39
3.8.2	Eliminatie	40
3.8.3	Beheer	41
4.	Discussie	42
4.1	Hiaten in kennis en onzekerheden	42
4.2	Vergelijking van beschikbare risicoclassificaties.....	42
4.3	Risicomanagement.....	43
5.	Conclusies en aanbevelingen	45
6.	Dankbetuigingen.....	49
7.	Referenties	50
	Appendix 1. Kennisdocument van <i>Egeria densa</i>	55

Samenvatting

Egeria (*Egeria densa* Planchon, 1849) (Familie Hydrocharitaceae) is een soort van een geslacht dat inheems is in Zuid-Amerika. *E. densa* is een populaire koudwater aquariumplant in Nederland en wordt vaak samen met goudvissen (*Carassius auratus* L., 1758) of in bundels van zuurstofplanten verkocht. Sinds de eerste waarneming van *E. densa* in het wild nabij Dordrecht in 1944 wordt de soort in Nederland in toenemende mate aangetroffen, maar meestal op wisselende en geïsoleerde plekken. Ter ondersteuning van de besluitvorming over mogelijke maatregelen om (potentiële) ecologische en sociaal-economische effecten en gevolgen voor de volksgezondheid te voorkomen, heeft het Team Invasieve Exoten van de Nederlandse Voedsel- en Warenautoriteit (Ministerie van Economische Zaken) opdracht gegeven om een risicoanalyse van *E. densa* uit te voeren.

Om ondersteuning te bieden aan een risicoanalyse van *E. densa* in Nederland is een kennisdocument opgesteld over de verspreiding en invasiebiologie van de soort (Appendix 1). Hiervoor zijn literatuurgegevens verzameld over fysiologische toleranties, substraatvoorkeur, dispersievector, kolonisatie, ecologische en sociaal-economische effecten en mogelijke beheersmaatregelen. De literatuurstudie is gebaseerd op gegevens gepubliceerd in (wetenschappelijke) tijdschriften, boeken en rapporten en op het internet. Academische, (non)gouvernementele en commerciële websites zijn systematisch doorzocht met behulp van zoekmachines zoals Web of Knowledge en Google Scholar. Google.nl is gebruikt voor een analyse van internetinformatie die beschikbaar is voor het Nederlandse publiek.

Verspreiding in relatie tot milieufactoren

E. densa gedijt in verschillende zoetwaterhabitattypen. In zijn oorspronkelijke verspreidingsgebied wordt de soort vooral gevonden in traag stromende, ondiepe wateren. Buiten zijn oorspronkelijke verspreidingsgebied wordt de plant ook gevonden in meren, vijvers, poelen (in steengroeven) en traag stromende rivieren, beken en kanalen. De optimale watertemperatuur voor *E. densa* ligt tussen de 16 en 28°C en groei treedt op tussen 10 en 30°C. Mortaliteit treedt op bij 3°C en bevriezen is lethaal. In Nederland kan *E. densa* onder ijs echter de wintercondities overleven. De plant tolereert een brede range van nutriënten, zuurstof, koolstofdioxide en pH condities maar groeit het best en lijkt vooral te domineren op fijnkorrelige substraten met een hoog organisch stofgehalte. *E. densa* groeit ook in troebel water en bij lage lichtniveaus. In zeer helder water kunnen andere soorten in de buurt van het wateroppervlak waarschijnlijk efficiënter gebruik maken van hoge lichtcondities en wordt *E. densa* overgroeid door andere waterplanten. In Nederland neemt bij toekomstige stijging van de watertemperatuur door klimaatverandering en onveranderde introductiedruk de kans op permanente vestiging en invasiviteit van de soort toe indien fosfor in water of bodem niet limiterend is.

Introductie en secundaire verspreiding

De introductie van *E. densa* in landen buiten het natuurlijke verspreidingsgebied is sterk gerelateerd aan de handel in aquarium- en vijverplanten. In Nederland levert *E. densa* een bijdrage van ongeveer 34% aan de import van alle waterplanten voor gebruik in aquaria en vijvers. In 2006 importeerde Nederland bijna 1,7 miljoen *E. densa* exemplaren. De plant wordt verkocht bij tuincentra en dierspecialzaken en ook veel aangeboden via het internet.

Wereldwijde introducties van *E. densa* zijn toe te schrijven aan het dumpen of bewust uitzetten van (overtollige) aquariumplanten in het oppervlaktewater. Ook in Nederland zet 2-3% van de hobbyisten bewust weleens waterplanten uit in oppervlaktewateren. De verkoop van *E. densa* door de plantenhandel, de ruilhandel tussen hobbyisten en het bewust uitzetten van overtollige planten in open en geïsoleerde oppervlaktewateren door hobbyisten zijn belangrijke routes voor introductie en secundaire verspreiding van deze soort in ons land. In Nederland plant *E. densa* zich alleen vegetatief voort door middel van vertakking en fragmentatie. Daarom hangt de secundaire verspreiding van de soort sterk af van de aanwezigheid van vectoren voor dispersie van planten(fragmenten) naar nieuwe locaties. De belangrijkste vectoren voor secundaire verspreiding van de soort zijn stromend water en mensen (onder andere via boten, visgerei, maai- en baggermaterieel, schoeisel en kleding).

In Nederland werd *E. densa* voor het eerst waargenomen in 1944 in de buurt van Dordrecht. In 1951 werden herbariummonsters verzameld in een vijver in Bussum. Volgens het etiket bij deze monsters was de soort al 10 jaar voorafgaand aan het bemonsteren aanwezig en stond de plant ook regelmatig in bloei gedurende deze periode. Er zijn geen gegevens beschikbaar over de aanwezigheid van *E. densa* gedurende de jaren '60. In de periode 1976-1991 zijn diverse waarnemingen op verschillende locaties gedaan in de buurt van Doorn, waarna de plant hier niet meer is gevonden. Na het jaar 2000 zijn bijna elk jaar en op wisselende plekken waarnemingen gedaan van *E. densa*. Het aantal kilometerhokken met waarnemingen van de soort varieert van 0 tot 8 per jaar. In 2008 werd *E. densa* in zeven kilometerhokken gevonden, waar de plant nog niet eerder was gezien. Sinds 1944 is *E. densa* in 54 verschillende kilometerhokken waargenomen.

De betrokken deskundigen beoordelen de kans op verdere verspreiding van *E. densa*, vanuit de meeste locaties in Nederland als klein omdat deze wateren geïsoleerd zijn en in stedelijk gebied liggen. Voorts wordt de invasiviteit van de soort in Nederland nog beperkt geacht door milieucondities, zoals het temperatuurregime in de winter. Verder onderzoek is nodig om deze hypothese te falsificeren. Het bepalen van de specifieke milieucondities waarbij de plant invasief wordt, stelt natuurbeheerders in staat betere voorspellingen te doen over de kans dat *E. densa* zich massaal gaat vestigen en ongewenste effecten veroorzaakt in Nederland. Hierdoor wordt ook meer inzicht verschaft in de sleutelfactoren voor kosteneffectief beheer in de toekomst.

Effecten

Er is geen kwantitatieve informatie beschikbaar over ecologische of sociaal-economische effecten van *E. densa* in Nederland. Ook in buurlanden is tot heden weinig informatie gepubliceerd over ongewenste gevolgen van introducties van deze soort. Het uitblijven van negatieve effecten in het Verenigd Koninkrijk wordt toegeschreven aan het feit dat *E. densa* daar tot heden alleen in lage dichtheid voorkomt. In Duitsland heeft *E. densa* in de Erft rivier in Noordrijn-Westfalen het voorheen wijdverspreide inheemse Drijvend fonteinkruid (*Potamogeton natans* L.) en het Schedefonteinkruid (*Potamogeton pectinatus* L.) verdrongen. De dichtheid van *E. densa* is daar sinds 2003 echter weer afgenomen. Bovendien is het temperatuurregime van de Erft niet representatief voor watersystemen in deze klimaatregio omdat deze rivier thermisch ernstig verontreinigd is. De watertemperatuur komt in de winter niet beneden de 10°C. In België bereikt *E. densa* steeds hogere dichtheden maar is daar (nog) niet invasief. In landen waar *E. densa* wijdverspreid en in hoge

dichtheden voorkomt, zoals Australië, Nieuw-Zeeland en de Verenigde Staten, zijn wel significante ecologische en sociaal-economische effecten gerapporteerd. Sommige locaties in deze landen hebben wel een min of meer vergelijkbaar klimaat met Nederland, bijvoorbeeld Noord- en Zuid-Carolina, Virginia en Delaware in de Verenigde Staten. Bij hoge dichtheden wordt *E. densa* omschreven als een 'ecosysteembouwer' die veranderingen in het aquatische habitat en de lokale soortensamenstelling veroorzaakt. Andere effecten zijn het beperken van recreatie-activiteiten (zoals zwemmen en varen), de aan- en afvoer van water (toename van de kans op lokale overstroming), het blokkeren van industriële waterinlaten en hoge kosten van beheersmaatregelen.

Gegevens over gevolgen van *E. densa* voor de volksgezondheid zijn niet gevonden. Wel bestaat er een verslag dat vermeldt dat een dichte begroeiing van de soort mogelijk heeft bijgedragen aan een verdrinkingsgeval.

In het Convenant waterplanten staat *E. densa* vermeld als een lijst 2 soort. Dit betekent dat de soort alleen verkocht mag worden met een waarschuwingslogo over zijn invasiviteit. Consumentenvoorlichting en het waarschuwingslogo moeten het (bewust) uitzetten van invasieve planten in open water door hobbyisten beperken. De resultaten van een enquête in 2012 onder belanghebbenden, waaronder aquarium- en vijverhouders en plantenverkopers, tonen dat de geïnterviewden *E. densa* vaak correct bestempelen als een uitheemse soort. *E. densa* wordt echter vaak verkocht in bundels waterplanten die meerdere soorten bevatten. In 2012 bood 91% van de onderzochte Nederlandse winkels (n = 44) *E. densa* te koop aan in bundels zuurstofplanten. Slechts 18% van deze bundels was correct geëtiketteerd volgens de afspraken in het Convenant waterplanten.

Risicoclassificatie

Met behulp van het Belgische 'Invasive Species Environmental Impact Assessment' (ISEIA) protocol zijn de ecologische risico's van *E. densa* voor vier risicocategorieën beschouwd: 1) dispersie potentieel en invasiviteit, 2) kolonisatie van waardevolle en/of beschermde natuurgebieden, 3) negatieve effecten op inheemse biodiversiteit, en 4) verandering van ecosysteemfuncties.

- *Dispersie potentieel en invasiviteit:* *E. densa* plant zich in Nederland alleen vegetatief voort door middel van vertakking, fragmentatie en daaropvolgende wortelvorming. Plantfragmenten kunnen in stromende wateren over grote afstanden worden vervoerd (hydrochorie). Verder kan *E. densa* zich verspreiden via diverse menselijke vectoren (zoals boten en visgerei) en waterdieren (bijvoorbeeld eenden). Ook beheersmaatregelen, zoals maaien, kunnen bij onvoldoende voorzorgsmaatregelen bijdragen aan onbedoelde verspreiding van fragmenten stroomafwaarts. In Nederland komt *E. densa* echter vooral voor in geïsoleerde wateren in en nabij stedelijk gebied. De verspreiding lijkt in hoge mate afhankelijk van nieuwe introducties door de mens. Voor veel km-hokken, waarin de soort in het verleden is gemeld, zijn geen latere waarnemingen meer bekend, ondanks dat deze km-hokken recent redelijk tot goed zijn onderzocht. Veel populaties lijken na verloop van tijd ten gevolge van limiterende milieufactoren of door menselijke ingrepen weer verdwenen te zijn. Het dispersiepotentieel is daarom voor de Nederlandse situatie als matig beoordeeld.

- *Kolonisatie van waardevolle en/of beschermde natuurgebieden:* In het verleden is *E. densa* in twee kilometerhokken waargenomen die binnen Nederlandse Natura-2000 gebieden liggen, namelijk 'Roerdal' en 'Meijndel en Berkheide'. Recente veldbezoeken hebben uitgewezen dat de plant hier weer verdwenen is. Recent is nog een drijvend plantfragment gevonden in de haven bij Nieuwkoop, net buiten het Natura-2000 gebied 'Nieuwkoopse Plassen en De Haeck'. Het is nog niet zeker of dit plantfragment afkomstig is van een populatie in het Natura-2000 gebied of daar door iemand in het water is gegooid. Het risico op kolonisatie van waardevolle en/of beschermde natuurgebieden is beoordeeld als matig omdat de soort slechts incidenteel in dergelijke gebieden is waargenomen en er in voorkomende gevallen geen recente waarnemingen bekend zijn. Bovendien is de soort tot heden voornamelijk in wateren met lage natuurwaarden waargenomen.
- *Negatieve effecten op inheemse soorten:* De belangrijkste negatieve gevolgen van *E. densa* op inheemse soorten hebben te maken met interferentie en exploitatie competitie. De literatuurstudie levert geen aanwijzingen voor negatieve effecten van *E. densa* op inheemse soorten in Nederland. Er zijn wel enkele voorbeelden van de competitie van *E. densa* met inheemse soorten in landen die klimatologisch vergelijkbaar zijn met Nederland. In België en Frankrijk zijn permanente populaties waargenomen in habitattypen die ook in Nederland voorkomen, hetgeen indiceert dat de soort zich ook in Nederland blijvend zou kunnen vestigen. Het risico op negatieve effecten is beoordeeld als matig omdat *E. densa* op alle bekende standplaatsen in Nederland niet in staat is gebleken dominant te worden. Het deskundigenteam is van mening dat de soort in sommige situaties met een hoge dichtheid wel in staat is competitief te zijn om nutriënten. Maar deze effecten zijn in Nederland bij de heersende klimaatomstandigheden zeer waarschijnlijk tijdelijk en omkeerbaar.
- *Veranderen van ecosysteefuncties:* *E. densa* kan in hoge dichtheden milieuomstandigheden drastisch veranderen. In landen waar *E. densa* voorkomt in hoge dichtheden wordt de soort geclassificeerd als een autogene ecosysteembouwer. In hoge dichtheden kan *E. densa* de lichtbeschikbaarheid en het zuurstofgehalte in het water verminderen, de watertemperatuur verhogen, nutriëntencycli veranderen en de hydromorfologie van rivieren en meren beïnvloeden door het verminderen van waterbeweging en verhogen van sedimentatie. De effecten van *E. densa* in Nederland zijn tot op heden beperkt doordat de plant bijna nergens meerdere jaren achtereen homogene vegetaties vormt. Momenteel is in Nederland slechts op enkele plaatsen een dichte vegetatie van *E. densa* bekend. Hoge dichtheden van *E. densa* kunnen dus wel voorkomen en in dergelijke gevallen zullen ook effecten op het ecosysteem optreden. Deze effecten zijn echter tijdelijk en omkeerbaar. Daarom is het (potentiële) risico van de soort voor deze categorie beoordeeld als matig.

Met het ISEIA-protocol is *E. densa* voor de Nederlandse situatie geclassificeerd als een soort met een laag ecologisch risico (score 8 uit 12). De huidige verspreiding wordt gekarakteriseerd als 'geïsoleerde populaties'. Combinatie van de huidige verspreiding met de risicoscore resulteert in een risicoclassificatie: **C1**. Toekomstige toename van de watertemperatuur en helderheid van het water kunnen leiden tot permanente vestiging en verdere verspreiding van *E. densa* in Nederland, waardoor de soort wijd verspreid kan worden. Ook kan klimaatverandering leiden tot een hogere invasiviteit van *E. densa*,

waardoor het risico volgens het ISEIA-protocol met een score 9 wordt beoordeeld. Deze risicoscore in combinatie met de verwachting van toename in verspreiding resulteert voor de toekomstige situatie in een risicoclassificatie **B3** (Aandachtlijst): een uitheemse soort die wijd verspreid voorkomt en een matig ecologisch risico vormt.

Kansrijke opties voor beheer

Door een brede groep actoren (zoals vissers, bootbezitters, aquariumhouders en vijverbezitters) bewust te maken van zowel de verspreidingsroutes en gevaren van invasieve soorten in het algemeen als de methoden om overtollige waterplanten milieuvriendelijk te verwijderen kan de kans op introductie en secundaire verspreiding van *E. densa* worden verkleind. Ook het verbeteren van etikettering en het informeren van consumenten in tuincentra en speciaalzaken over de milieurisico's van uitheemse planten kan het (bewust) uitzetten van *E. densa* in oppervlaktewateren en het aantal introducties in Nederland verminderen. Brede waterpest (*Elodea canadensis*) en Smalle waterpest (*Elodea nuttallii*) zouden een alternatief kunnen zijn voor het gebruik in vijvers en aquaria, omdat deze soorten zich al lang geleden in Nederland hebben gevestigd en als genaturaliseerd beschouwd worden. Deze planten zijn bovendien gemakkelijk te houden en relatief goedkoop te produceren.

Naast preventie van onbewuste en opzettelijke uitzettingen is het beperken van traditionele maai- en baggermaatregelen de beste methode om de secundaire verspreiding van *E. densa* in Nederland te voorkomen. Indien beheer van waterplanten of baggeren toch nodig is om specifieke waterfuncties veilig te stellen, moet de verspreiding van fragmenten voorkomen worden. Maaimanden of maai-verzamelboten kunnen alleen worden gebruikt als volledige verwijdering van planten(fragmenten) wordt gegarandeerd. Isolatie van het gebied met opvangnetten kan verspreiding van drijvende planten(fragmenten) minimaliseren. Het verwijderen van hele planten, dus inclusief wortels, verdient prioriteit. Volledige mechanische uitroeiing zonder verspreiding van planten(fragmenten) is moeilijk. Kleine populaties kunnen ook worden uitgeroeid door het behandelingsgebied te bedekken met ondoorzichtig materiaal (zoals geotextiel). Door gebrek aan licht zal *E. densa* afsterven, maar deze methode heeft uiteraard ook gevolgen voor andere soorten.

In gebieden met een lage ecologische waarde, zoals kanalen en reservoirs, is bestrijding van *E. densa* ook mogelijk door het verlagen van het waterpeil of droogleggen van wateren. De effectiviteit van deze maatregelen kan echter verschillen afhankelijk van de duur, frequentie en weersomstandigheden. Meerdere droogleggingen die een tot vijf uur duren tijdens vorst zijn het meest effectief om *E. densa* populaties te elimineren.

Door het algehele verbod op gebruik van alle herbiciden in aquatische milieus is er geen geschikte methode voor chemische bestrijding van *E. densa* in Nederland.

Summary

Brazilian waterweed (*Egeria densa* Planchon) (Family: Hydrocharitaceae) is native to South America. *E. densa* is a popular cold water aquarium plant in the Netherlands and is often sold together with the goldfish (*Carassius auratus* L., 1758) or in bunches of oxygen plants. Since its first recording in the wild near Dordrecht in 1944, the species is increasingly observed in the Netherlands, mostly in disturbed and isolated locations, in or near urbanized areas. To support decision making with regard to the design of measures to prevent ecological, socio-economic and public health effects, the Invasive Alien Species Team of the Netherlands Food and Consumer Product Safety Authority (Ministry of Economic Affairs) has requested for a risk analysis of *E. densa* to be carried out.

To support a risk analysis of *E. densa* within the Dutch context a knowledge document has been written, based on the distribution and invasion biology of the species. Literature data were collected on physiological tolerances, substrate preference, dispersal vectors, ecological and socio-economic impacts and potential measures for management. The knowledge document was based on data published in (peer-reviewed) journals, books and reports derived from the internet. Academic and non-academic search engines and websites were systematically searched using the Web of Knowledge and Google Scholar. Google.nl was searched for an analysis of information available to the Dutch public.

Distribution in relation to environmental factors

E. densa thrives in various types of freshwater habitats. In its native range, the species is found in slow flowing, shallow waters. Outside its native range it is also found in lakes, ponds, quarry pools and sluggish rivers, streams and canals. The optimum water temperature for *E. densa* lies between 16 and 28°C and growth occurs in temperatures ranging from 10 to 30°C. Mortality occurs at 3°C and freezing is lethal. In the Netherlands, however, *E. densa* can survive winter conditions under ice. The plant tolerates a wide range of nutrient, oxygen, carbon dioxide and pH conditions and grows (establishes) best on fine substrates with a high organic content where it tends to dominate. *E. densa* is able to tolerate turbid conditions and low light levels. Other macrophytes probably outcompete *E. densa* at high light conditions present near the surface in very clear water. Future increases in water temperature and continuous introduction pressure will increase the probability of establishment and invasiveness of this species in the Netherlands supposing phosphorus is not limiting in water and substrate.

Introduction and secondary spread

Introduction of *E. densa* to countries outside its native range can be attributed to the aquarium and pond trade. The species constitutes approximately 34% of all aquatic plant imports to the Netherlands for use in aquaria and garden ponds. A study carried out in 2006 showed that the Netherlands imported almost 1.7 million *E. densa* plants. The plant is sold freely at garden centres, pet shops and via the internet.

Global introductions of *E. densa* have been attributed to the discarding or deliberate planting of aquarium plants in natural water bodies. Circa 2-3% of hobbyists admit their disposal of water plants into local water bodies in the Netherlands. The sale of *E. densa* through the plant trade, informal trade between hobbyists and the deliberate release of unwanted plants

to the freshwater network are important paths of introduction and secondary spread for this species in our country. In the Netherlands, *E. densa* reproduces vegetatively only, through branching and fragmentation. Therefore, secondary dispersal of this species will rely on the presence of dispersal vectors that transport fragments to new locations. The most important vectors of secondary dispersal are water flow and those related to human activity (e.g. boats, anglers, weed harvesters, shoes and clothing).

In the Netherlands *Egeria densa* was first recorded in 1944 near Dordrecht. In 1951, herbarium samples were taken from a pond in Bussum. According to the label that accompanied the sample, the species had already been present for 10 years prior to the time of sampling and had flowered regularly during this time. No *E. densa* records are available in the Netherlands for the 1960s. In the period between 1976 and 1991, multiple recordings are available for different locations near Doorn, after which no further records were made at these locations. Since the year 2000, *E. densa* has been recorded almost annually at different locations in the Netherlands. During this period, the species was recorded in 0 to 8 kilometre grids per year. In 2008, *E. densa* was recorded in seven kilometre grids where the plant had not previously been observed. Since 1944, *E. densa* has been recorded in a total of 54 kilometre grids in the Netherlands.

According to expert assessment, there is a low risk of further spread of *E. densa* in the Netherlands as records have only been made in isolated and urban water bodies. Furthermore, the invasiveness of the species in the Netherlands is expected to be limited by environmental conditions such as the winter temperature regime. However, further research is required to confirm this. Determining the specific environmental conditions in which the plant becomes invasive will allow conservationists to better predict how likely *E. densa* establishment will lead to negative impacts in the Netherlands. Better insight into key factors will result in more cost-effective management in the future.

Effects

No ecological or socio-economic impacts resulting from *E. densa* have been reported in the Netherlands. To date very little information has been published on the impacts of this species in neighbouring countries. The lack of major negative ecological or socio-economic impacts in the United Kingdom is attributed to *E. densa*'s low abundance. In Germany, *E. densa* suppressed the formerly widely distributed native broad leaved pondweed (*Potamogeton natans* L.) and fennel pondweed (*Potamogeton pectinatus* L.) in the river Erft, North Rhine-Westphalia. However, since 2003, the abundance of *E. densa* in this river has declined. Moreover, the river Erft is thermally polluted and not representative of the German climate featuring a water temperature that does not dip below 10°C in. In Belgium, despite *E. densa* becoming more abundant, it has not yet become invasive. Conversely, in countries where *E. densa* has become highly abundant such as Australia, the United States and New Zealand, significant ecological and socio-economic impacts have resulted. Some of these locations feature a similar climate to the Netherlands i.e. North and South Carolina, Virginia and Delaware in the USA. At high abundances *E. densa* has been described as an ecosystem engineer whose presence leads to alterations in aquatic habitats and local species composition. Other impacts include restrictions to recreational activity, reduction of drainage capacity (increased potential for local flooding), obstruction of industrial water intakes and the high cost of remedial management.

No information on the impacts of *E. densa* on human health was found. However, there is a report that states that a dense *E. densa* stand may have contributed to a case of drowning.

In the Dutch code of conduct for aquatic plants, *E. densa* has been declared a list 2 species. This means that it should only be sold when accompanied with a warning logo referring to its invasiveness. Informing of consumers and the warning logo should help stop the release of plants to open water by hobbyists who are unaware of the *E. densa*'s invasive nature or how to properly dispose of it. The results of a 2012 survey of stakeholder groups including aquarists, water gardeners and plant retailers revealed that *E. densa* was included in a group of species that were most often named by respondents as non-native. However, *E. densa* is often sold in bunches containing several species. In 2012, 91% of investigated Dutch retailer sites (n = 44) were offering *E. densa* for sale as part of oxygenating plant bunches. Only 18% of these bunches were correctly labelled in line with the guidelines of the code of conduct.

Risk classification

The ecological risks of *E. densa* are considered in four risk categories within the Belgian 'Invasive Species Environmental Impact Assessment (ISEIA) protocol: 1) dispersion potential and invasiveness, 2) colonisation of habitats with high conservation values, 3) adverse impacts on native species, and 4) alteration of ecosystem functions.

- *Dispersion potential and invasiveness*: In the Netherlands, *E. densa* only reproduces vegetatively by means of branching, fragmentation and subsequent root formation. In flowing waters, plant fragments can be transported over large distances (hydrochory). Furthermore, *E. densa* spread may be facilitated by various human vectors (e.g. boats and fishing) and possibly aquatic animals (e.g. ducks). Management measures, such as mowing, may also contribute to the unintentional dispersal of fragments downstream if insufficient precautions are taken. However, in the Netherlands *E. densa* mainly occurs in isolated waters in and near urban areas. This distribution appears to be highly dependent on human facilitated introductions. In many kilometre grids, where *E. densa* was previously recorded, no subsequent observations have been made, despite recent surveys. Many populations seem to disappear after a period of time, due to limiting environmental factors or because of human intervention. The dispersion potential for the Dutch situation is classified as moderate.
- *Colonisation of habitats with high conservation values*: In the past, *E. densa* has been observed in two kilometre grids inside Dutch Natura-2000 areas, namely 'Roerdal' and 'Meijendel and Berkheide'. Subsequent field visits have shown that the plant has disappeared from these areas. Recently, a floating plant fragment was found in the harbour at Nieuwkoop, just outside the Natura-2000 area 'Nieuwkoopse plassen and De Haeck'. It is not known whether this plant fragment derived from a population in the Natura-2000 area or if someone threw it into the harbour. The risk of colonisation of habitats with high conservation values is assessed as moderate because the species has only occasionally been observed in such areas and no subsequent records have been made at almost all of these locations. To date, the majority of observations have been made in waters with low conservation value.
- *Adverse impacts on native species*: The main adverse effects of *E. densa* on native species are related to interference and exploitation competition. The literature study

did not produce any evidence of negative effects of *E. densa* on native species in the Netherlands. There are some examples of *E. densa* competing with native species in countries that are climatically similar to the Netherlands. In Belgium and France permanent populations were observed in habitat types which also occur in the Netherlands, which indicates that the species could establish itself here. The risk of adverse impacts on native species is assessed as moderate, as *E. densa* has not become dominant at any site where it has been recorded in the Netherlands. The expert team conclude that the species can compete with native species for nutrients if it reaches high densities. However, these effects are most likely temporary and reversible in the prevailing climatic conditions in the Netherlands.

- *Alteration of ecosystem functions:* At high densities, *E. densa* can dramatically alter environmental conditions. In countries where *E. densa* occurs in high densities, the species is classified as an autogenic ecosystem engineer. At high densities, *E. densa* can reduce light availability and oxygen content in water, increase water temperature, change nutrient cycles and affect the hydro-morphology of rivers and lakes by reducing water movement and increasing sedimentation. To date the effects of *E. densa* in the Netherlands are limited because, in most places, the plant has not been able to form homogeneous stands spanning several years. At the few locations where high densities of *E. densa* occur, ecosystem effects may also result. However, these effects should be temporary and reversible. Therefore, the (potential) risk to ecosystem functions in the Netherlands is judged as moderate.

Following application of the ISEIA-protocol, *E. densa* was classified as a species with a low ecological risk (score 8 out of 12) for the current situation in the Netherlands. The current distribution is characterised as 'isolated populations'. Combining the current distribution with the risk score results in a risk classification: **C1**. A future increase in water clarity and water temperature due to climate change could lead to permanent establishment and a widespread distribution of *E. densa* in the Netherlands. The application of a future scenario where temperature increases as a result of climate change results in an increase in score from 8 to 9 (moderate ecological risk). A potentially moderate ecological risk combined with a potential widespread distribution results in a risk classification of **B3** (Alert-list).

Potentially effective management options

Creating awareness amongst all actors (e.g., anglers, boaters, aquarists and water gardeners) on pathways of introduction, invasion risks and disposal methods may contribute to prevention of introduction and secondary spread of *E. densa*. Improved communication with consumers (e.g. labelling) in garden centres and pet shops concerning the environmental risks of releasing non-native plants into the wild can reduce the number of introductions of *E. densa* to surface waters in the Netherlands. Canadian waterweed (*Elodea canadensis*) and Nuttall's waterweed (*Elodea nuttallii*) may be used in ponds and aquariums as an alternative to *E. densa* because these species have long been established in the Netherlands and are considered to be naturalised. These plants are also easy to maintain, and relatively inexpensive to produce.

In addition to stopping the release of *E. densa* into the wild (primary spread), limiting traditional management measures appears to be the best method to prevent the secondary spread of *E. densa* in the Netherlands. If control is required to safeguard water functions,

then the prime focus should be on the prevention of fragment spread. Mowing baskets or harvesting boats can be used, but only when the total removal of plant fragments is guaranteed. Retaining nets can be used to minimise the spread of fragments released during cutting by isolating the area. The removal of the whole plant, including the root system should be made a priority. Complete mechanical eradication without the spread of plant fragments is difficult. Small populations may be eradicated by covering a treatment area with opaque material such as geo-textile. The lack of light will kill *E. densa* along with other, non-target plant and animal species.

In areas of low ecological value, such as artificial channels and reservoirs, reducing the water level or lake drawdown may facilitate the removal of *E. densa*. However, the effectiveness of these measures may vary depending on their duration, frequency and the weather conditions. Multiple drawdowns lasting between one and five hours at freezing temperatures have been most effective in promoting larger decreases in *E. densa* populations

Since the withdrawal of all herbicides for use in aquatic environments there is no appropriate chemical method for the control of *E. densa* in the Netherlands.

1. Introductie

1.1 Achtergrond en probleemstelling

De waterplant *Egeria* (*Egeria densa*; Familie Hydrocharitaceae) behoort tot een geslacht van soorten die inheems zijn in Zuid-Amerika. *E. densa* is een populaire koudwater aquariumplant in Nederland en andere delen van Europa (Brunel, 2009; Qbank, 2014). De soort wordt vaak samen met de goudvis (*Carassius auratus*) verkocht. De plant werd in Nederland voor het eerst in 1944 in het wild waargenomen, in de nabijheid van Dordrecht (Van Ooststroom *et al.*, 1964). Vervolgens werd de soort in 1951 in een vijver in Bussum waargenomen en in 1976 en 1977 in de gemeente Doorn. Sinds het begin van deze eeuw worden elk jaar waarnemingen gedaan van *E. densa*. Bij de start van dit project bestond een gebrek aan kennis over de introductie, vectoren voor verspreiding, sleutelfactoren voor vestiging en invasiviteit, (potentiële) effecten en beheeropties van *E. densa* in Nederland.

Ter ondersteuning van de besluitvorming over eventuele maatregelen om ongewenste ecologische en maatschappelijke effecten te voorkomen, heeft het Team Invasieve Exoten van de Nederlandse Voedsel- en Warenautoriteit (Ministerie van Economische Zaken) gevraagd een risicoanalyse uit te voeren voor *E. densa*. Voor de onderbouwing van deze risicoanalyse is ook een Engelstalig Kennisdocument over *E. densa* opgesteld (Matthews *et al.*, 2014). Het voorliggende rapport analyseert de beschikbare kennis en data voor een risicoanalyse, beoordeelt de risico's en beschrijft kansrijke beheeropties van deze soort.

1.2 Onderzoeksdoelen

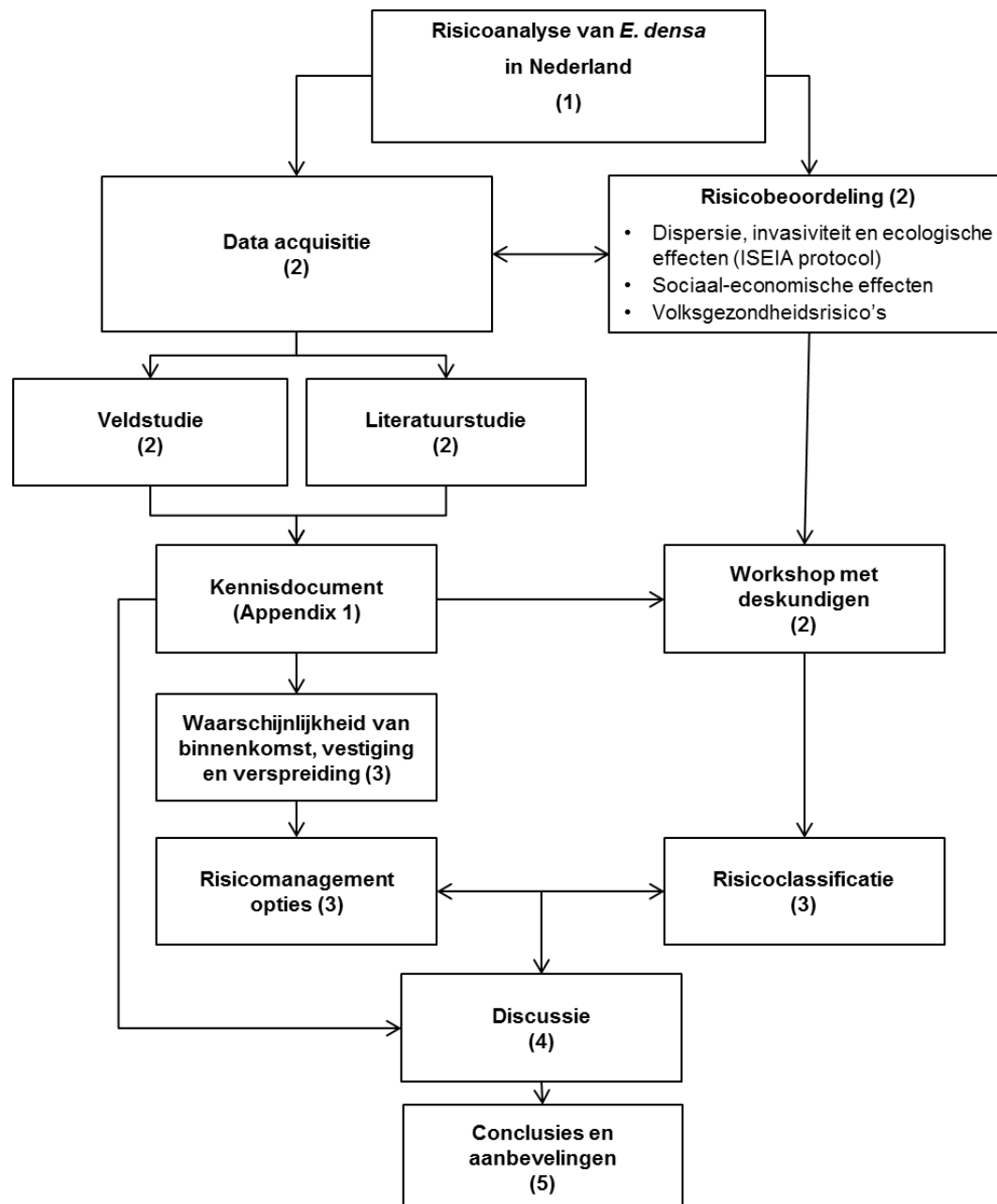
De hoofddoelen van deze studie zijn:

- Een risicoanalyse uitvoeren voor de waarschijnlijkheid van binnenkomst, vestiging en verspreiding, kolonisatie van bedreigde natuurgebieden, (potentiële) ecologische en sociaal-economische effecten en gevolgen voor de volksgezondheid van *E. densa* in Nederland.
- Het beoordelen en classificeren van de (potentiële) risico's voor dispersie, invasiviteit en ecologische effecten van *E. densa* in Nederland met behulp van het Belgische 'Invasive Species Environmental Impact Assessment (ISEIA)' protocol.
- Het beschrijven van kansrijke opties voor het beheer van de (secundaire) verspreiding, vestiging en negatieve effecten van *E. densa* in Nederland.

1.3 Overzicht en samenhang van het onderzoek

In het voorliggende hoofdstuk zijn de probleemstelling en doelen van de risicoanalyse voor *E. densa* in Nederland beschreven. Hoofdstuk 2 beschrijft de methoden van de risicobeoordeling en het ISEIA protocol. Daarbij wordt tevens aandacht besteed aan risicobenadering voor de sociaal-economische effecten, gevolgen voor de volksgezondheid en de analyse van kansrijke managementstrategieën van de soort in Nederland. Hoofdstuk 3 beschrijft de resultaten van de risicobeoordeling, beoordeelt de waarschijnlijkheid van

binnenkomst, vestiging, verspreiding en risicovolle gebieden. Daarnaast geeft dit hoofdstuk een samenvatting van de resultaten van de literatuurstudie naar sociaal-economische effecten en volksgezondheidsrisico's. Hoofdstuk 3 beschrijft ook kansrijke opties voor risicomanagement. Hoofdstuk 4 bespreekt hiaten in de kennis en onzekerheden, andere beschikbare risicoanalyses en verklaart verschillen tussen risicoclassificaties. In hoofdstuk 5 worden conclusies getrokken en aanbevelingen gedaan voor verder onderzoek. Een bijlage met achtergrondinformatie in de vorm van een Engelstalig kennisdocument over *E. densa* maakt dit rapport compleet. De samenhang tussen de verschillende onderzoeksactiviteiten en resultaten worden gevisualiseerd in een stroomdiagram (Figuur 1.1).



Figuur 1.1: Samenhang van verschillende componenten van de risicoanalyse van *Egeria densa*. Tussen haakjes worden de hoofdstuknummers van dit rapport vermeld.

2. Methoden

2.1 Componenten van de risicoanalyse

De risicoanalyse van *Egeria densa* in Nederland omvat analyses van de waarschijnlijkheid van introductie, vestiging en secundaire verspreiding binnen Nederland en een ecologische risicobeoordeling aan de hand van het Belgische Invasive Species Environmental Impact Assessment (ISEIA) protocol (Branquart, 2007; ISEIA, 2009; Vanderhoeven & Branquart, 2010; Branquart, 2014). In aanvulling daarop zijn sociaal-economische effecten, gevolgen voor de volksgezondheid en opties voor risicomangement beoordeeld. De achtergrondinformatie en gebruikte data voor de risicoanalyse zijn samengevat in een apart Engelstalig kennisdocument (paragraaf 2.2).

2.2 Kennisdocument

Voor een overzicht van de huidige kennis en data over de taxonomie, habitat voorkeur, dispersiemechanismen, huidige verspreiding, ecologische effecten, sociaal-economische gevolgen, volksgezondheidsrisico's en beheeropties van *E. densa* is een literatuurstudie uitgevoerd. De resultaten hiervan zijn geanalyseerd en samengevat in een Engelstalig kennisdocument (Appendix 1; Matthews *et al.*, 2014). Dit kennisdocument is vervolgens gebruikt voor de onderbouwing van de risicoanalyse en risicoclassificatie met het ISEIA-protocol.

2.3 Risicobeoordeling

2.3.1 Dispersie potentieel, invasiviteit en ecologische effecten

Het ISEIA-protocol beoordeelt alleen de risico's met betrekking tot dispersie potentieel, invasiviteit en ecologische effecten (Branquart, 2007; ISEIA, 2009; Vanderhoeven & Branquart, 2010; Branquart, 2014). De risicobeoordeling van *E. densa* werd uitgevoerd door een deskundigenteam. Dit team bestond uit zeven personen (R. Beringen, K.R. Koopman, R.S.E.W. Leuven, J. Matthews, R. Pot, G. van der Velde en J.L.C.H. van Valkenburg). Elke deskundige heeft eerst het kennisdocument bestudeerd en vervolgens onafhankelijk van andere deskundigen een beoordelingsformulier ingevuld voor risicoclassificatie van *E. densa*. Na deze individuele risicobeoordeling is een workshop met alle deskundigen georganiseerd, waarin de argumenten voor de risicoscores zijn toegelicht en verschillen in beoordelingen zijn bediscussieerd. Deze discussies hebben geresulteerd in overeenstemming over de risicoscores voor de criteria van het ISEIA-protocol (Tabel 2.1) en de (wetenschappelijke) argumentatie daarvoor.

Het ISEIA-protocol bevat twaalf criteria die overeenkomen met de laatste stappen van het invasieproces (de potentie van verspreiding, vestiging en negatieve effecten op inheemse soorten en ecosystemen). Deze criteria zijn onderverdeeld over de volgende vier risicosecties (Tabel 2.1):

- 1) dispersie potentieel of invasiviteit,
- 2) kolonisatie van waardevolle en/of beschermde natuurgebieden,
- 3) negatieve effecten op inheemse soorten, en
- 4) wijzigen van ecosysteefuncties.

Tabel 2.1: Definities van criteria voor risicoclassificaties per sectie van het ecologische risicobeoordelingsprotocol (Branquart, 2007; ISEIA, 2009).

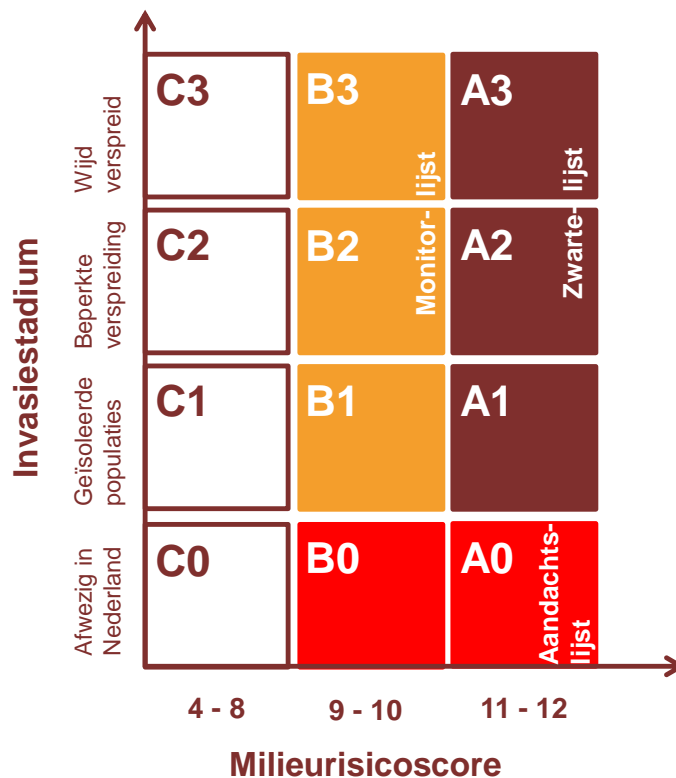
1. Dispersie potentieel of risico invasiviteit	
Laag	De soort verspreidt zich niet in de omgeving door een lage dispersiecapaciteit en een lage potentiële reproductie.
Matig	Behalve wanneer bijgestaan door de mens, is de soort niet in staat afgelegen gebieden te koloniseren. Natuurlijke dispersie bedraagt zelden meer dan 1 km per jaar. De soort kan lokaal invasief worden door een sterke potentiële reproductie.
Hoog	De soort is zeer vruchtbaar, kan zich makkelijk actief of passief verspreiden over afstanden van meer dan 1 km per jaar en nieuwe populaties vestigen. Hierbij valt te denken aan plantensoorten die gebruik maken van anemochorie, hydrochorie en zoöchorie via insecten zoals <i>Harmonia axyridis</i> of <i>Cemeraria ohridella</i> en alle vogelsoorten.
2. Koloniseringsrisico van waardevolle en/of beschermde natuurgebieden	
Laag	Populaties van de uitheemse soort zijn beperkt tot door de mens gemaakte habitats (lage natuurwaarde)
Matig	Populaties van de uitheemse soort zijn meestal beperkt tot habitats met een lage of matige natuurwaarde en koloniseren incidenteel waardevolle en/of beschermde habitats.
Hoog	De uitheemse soort koloniseert vaak waardevolle en/of beschermde habitats (bijvoorbeeld, de meeste plekken van een bepaald habitat worden waarschijnlijk makkelijk gekoloniseerd door de soort wanneer bronpopulaties in de omgeving aanwezig zijn) en vormt daardoor een mogelijke bedreiging voor rode lijst soorten .
3. Risico op negatieve effecten op inheemse soorten	
Laag	Data over invasiegeschiedenis suggereren dat de negatieve effecten op inheemse populaties verwaarloosbaar zijn.
Matig	Het is bekend dat de uitheemse soort lokale veranderingen (<80%) in populatiegrootte, groei of verspreiding van een of meerdere inheemse soorten teweeg kan brengen. Met name bij algemene en ruderaal soorten. Het effect wordt meestal beschouwd als omkeerbaar.
Hoog	De ontwikkeling van de uitheemse soort veroorzaakt <u>vaak ernstige</u> lokale afnames (>80%) van populaties en vermindert de lokale soortenrijkdom. Op een regionale schaal wordt het beschouwd als een factor die aanzet tot de achteruitgang van (zeldzame) soorten. Die uitheemse soorten vormen langdurige populaties en hun effecten op de inheemse biodiversiteit worden beschouwd als moeilijk omkeerbaar. Bijvoorbeeld: een sterke interspecifieke competitie in plantgemeenschappen gemedieerd door allelopathische chemicaliën, intra-gilde predatie wat leidt tot lokale extinctie van inheemse soorten, overdracht van nieuwe dodelijke ziektes op inheemse soorten.
4. Risico op het wijzigen van ecosysteemfuncties	
Laag	Het effect op ecosysteem processen en -samenstelling wordt als verwaarloosbaar beschouwd.
Matig	Het effect op ecosysteemprocessen en -samenstelling is gematigd en wordt als gemakkelijk omkeerbaar beschouwd.
Hoog	Het effect op ecosysteemprocessen en -samenstelling is groot en moeilijk ongedaan te maken. Voorbeelden: veranderingen aan de fysisch-chemische eigenschappen van water, het faciliteren van rivieroevererosie, het voorkomen van natuurlijk regeneratie van bomen, vernietiging van rivieroever, rietvelden en / of viskraamgebieden, en verstoring van het voedselweb.

Sectie 3 van het ISEIA-protocol bevat sub-secties verwijzend naar (i) predatie / herbivorie, (ii) verstoring en competitie, (iii) overdracht van ziektes naar inheemse soorten (parasieten of pathogenen) en (iv) genetische effecten zoals hybridisatie en introgressie met inheemse soorten. Sectie 4 bevat sub-secties verwijzend naar (i) modificaties aan nutriëntencycli of

andere hulpbronnen, (ii) fysieke modificatie van habitats (veranderingen in hydrologische regimes, toename in troebelheid van het water, lichtonderschepping, veranderen van rivieroeveren, vernietiging van viskraamgebieden, etc.), (iii) modificatie van natuurlijke successies, en (iv) verstoring van voedselwebben, bijvoorbeeld een verandering op lagere trofische niveaus door herbivorie of predatie (top-down regulatie) die resulteert in een onevenwichtig ecosysteem.

Elk criterium van het ISEIA-protocol werd gescoord. De scores zijn 1 (laag risico), 2 (matig risico) of 3 (hoog risico). De definities voor laag, matig en hoog risico, volgens de vier secties van het ISEIA-protocol, worden in tabel 2.1 gegeven. In het geval van onvoldoende kennis op basis van de literatuurstudie is de beoordeling gebaseerd op oordeel en veldobservaties van de deskundigen en uitgedrukt in een score 1 (onwaarschijnlijk) of 2 (waarschijnlijk). Indien beoordeling van bepaalde criteria niet mogelijk is vanwege ontbrekende informatie, is er geen score toegekend (DD: deficiënt data; GD: geen data). Tenslotte is de hoogste score binnen elke sectie gebruikt om de totaalscore voor de soort te berekenen.

Consensus over de risicoscore van elke sectie is bereikt door middel van een hiërarchische methode waarbij prioriteit is gegeven aan wetenschappelijke informatie over de Nederlandse situatie boven wetenschappelijke gegevens over effecten die buiten Nederland plaatsvinden. Ook is in beschouwing genomen dat de geschiktheid van habitats in Nederland kan veranderen, door bijvoorbeeld een stijging van de watertemperatuur door klimaatverandering en toename in de helderheid van het water door bestrijding van watervervuiling. Bij het beoordelen van de risicoscores voor de toekomst is er vanuit gegaan dat geen specifieke beheersmaatregelen worden getroffen voor de preventie van introductie en verspreiding van de soort.



Figuur 2.1: BFIS-lijststelsel ter identificatie van soorten die preventieve en mitigerende maatregelen vereisen (Vanderhoeven & Branquart, 2010; Branquart, 2014).

Vervolgens is het lijststelsel van het Belgische Forum Invasieve Soorten (BFIS) gebruikt om de betreffende soort te classificeren (Vanderhoeven & Branquart, 2010; Branquart, 2014). Dit lijststelsel is een tweedimensionale ordening van het milieueffect en invasiestadium (Figuur 2.1). Het is gebaseerd op de richtlijnen van de Conventie over Biologische Diversiteit (CBD besluit VI/7) en de strategie van de Europese Unie voor invasieve uitheemse soorten. Het milieueffect van de soort wordt geclassificeerd aan de hand van de totale risicoscore: 4-8 (C – Witte lijst), 9-10 (B – Monitorlijst) en 11-12 (A – Zwarte lijst). De lijstletter wordt vervolgens gecombineerd met een nummer dat het invasiestadium weergeeft: (0) afwezig, (1) geïsoleerde populaties, (2) beperkte verspreiding, en (3) wijd verspreid (Figuur 2.1). Een soort die afwezig is en een totale risicoscore heeft van 9-12 wordt geplaatst op de aandachtlijst.

2.3.2 Sociaal-economische effecten en gevolgen voor de volksgezondheid

Mogelijke sociaal-economische effecten en gevolgen voor de volksgezondheid maken geen deel uit van een ecologische risicoanalyse volgens het ISEIA-protocol. Dergelijke risico's zijn daarom afzonderlijk geanalyseerd in de voorliggende risicoanalyse op basis van de resultaten van de literatuurstudie (Appendix 1; Matthews *et al.*, 2014) en expertise van de projectpartners. Hierbij is aandacht besteed aan zowel de huidige als toekomstige situatie.

2.4 Kansrijke opties voor risicomanagement

De mogelijkheden voor (preventief) beheer van de introductie, verspreiding en effecten van *E. densa* zijn geïnventariseerd via literatuurstudie, aangevuld met beschikbare kennis bij de projectpartners en uitgebreid beschreven in het kennisdocument (Appendix 1; Matthews *et al.*, 2014). Het voorliggende rapport geeft een korte beschrijving van effectieve beheersmaatregelen die toepasbaar zijn in Nederland.

3. Risicoanalyse

3.1 Waarschijnlijkheid van binnenkomst

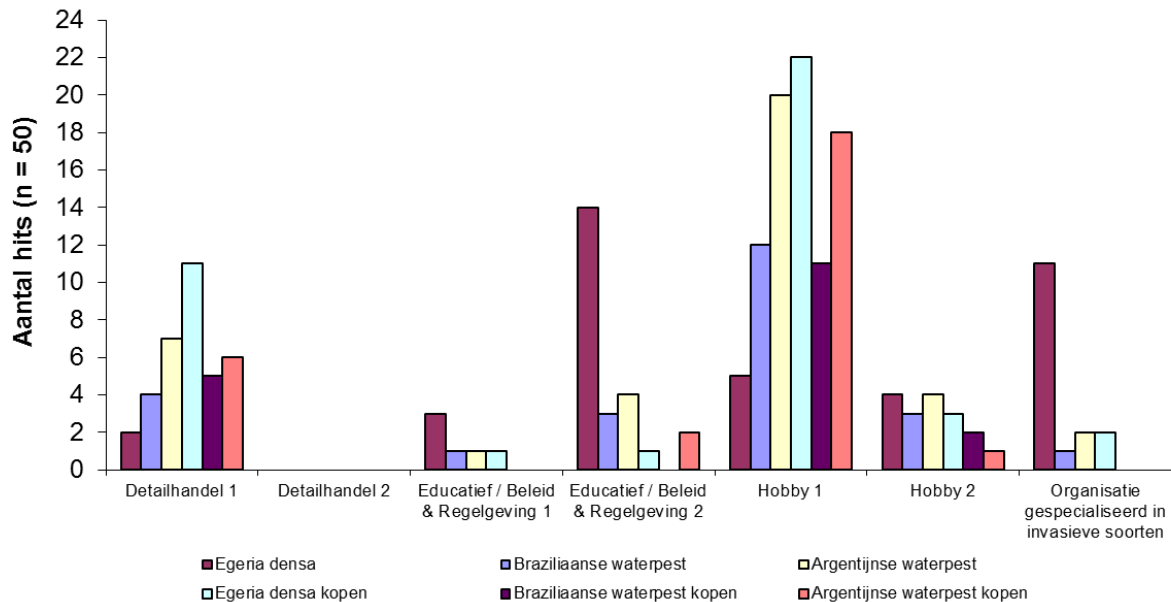
E. densa is voor het eerst waargenomen in Nederland in 1944 in de buurt van Dordrecht (Van Ooststroom *et al.*, 1964). De huidige verspreiding van de soort wordt gekarakteriseerd als beperkt verspreid met geïsoleerde populaties (Figuur 3.2; Appendix 1: paragraaf 5.2.1). Nieuwe introducties kunnen resulteren in een verdere verspreiding van *E. densa* in Nederland.

Introducties door de mens worden beschouwd als de voornaamste reden van vestiging en verspreiding van *E. densa* buiten zijn oorspronkelijke verspreidingsgebied (Csurhes *et al.*, 2008; CABI, 2014). De plant is populair onder aquariumhobbyisten vanwege zijn hardheid, hoge zuurstof-producerende vermogen en aantrekkelijk heldergroen blad. Daarom vormt de verkoop via de aquariumhandel, dierenpeciaalzaken en tuincentra en het uitzetten van overtollige planten door aquarium- en vijverhouders de belangrijkste route voor introductie van *E. densa* in de natuur (State of Indiana, ongedateerd; Yarrow *et al.*, 2009; Lafontaine *et al.*, 2013). Nederland is een grote importeur van *E. densa*. Uit een enquête naar de invoer van uitheemse waterplanten in tien Europese landen blijkt dat Nederland de grootste importeur van waterplanten is. Nederland importeerde circa 5 miljoen eenheden waterplanten in 2006, hetgeen meer is dan de import in landen als Frankrijk, Tsjechië, Duitsland, Hongarije, Zwitserland, Oostenrijk, Letland, Turkije en Estland. Bijna 1.7 van deze 5 miljoen eenheden betrof *E. densa*. Dit was circa 90% van de totale import van *E. densa* in de 10 onderzochte landen (Brunel, 2009). Deze cijfers onderschatten wellicht de werkelijke import omdat *E. densa* in Nederland ook vaak wordt geïmporteerd en verkocht als *Elodea densa* en soms als *Anacharis densa* of *Philotria densa*. Daarnaast kan de soort ook worden verward met andere soorten zoals *Egeria najas* of *Elodea canadensis*. De plant kan ook als verontreiniging meekomen in zendingen van andere aquatische planten- en diersoorten.

Daarnaast is ook sprake van ruilhandel van aquarium- en vijverplanten tussen hobbyisten (Verbrugge *et al.*, 2013). De omvang van de ruilhandel van *E. densa* is echter niet gekwantificeerd.

De toename van internetverkoop (e-commerce) vergroot het risico op introductie van invasieve plantensoorten omdat internationale verkopers vanuit het buitenland online adverteren en planten per post versturen (Kay & Hoyle, 2001). Een analyse met Google.nl naar informatie en verkoop van *E. densa* op de Nederlandstalige markt via internet geeft diverse voorbeelden van websites waarop de plant te koop wordt aangeboden (Figuur 3.1). Voor de goede orde wordt opgemerkt dat bij resultaten van google-zoekmachines altijd sprake kan zijn van regionale of internetprotocoladres-gebonden vertekening door commerciële uitbating van internet- en zoekinformatie. De zoekterm '*Egeria densa*', resulteerde in twee online verkopers van de plant. Eén verkoper is gevestigd in de Verenigde Staten en de andere in Roemenië. Door 'kopen' toe te voegen aan de zoekterm (*Egeria densa* kopen) werden ook 11 websites gevonden van Nederlandse verkopers die de plant verkopen. De zoektermen 'Braziliaanse waterpest' en 'Argentijnse waterpest' resulteerden in respectievelijk vier en zeven resultaten. Al deze resultaten waren van verkopers uit Nederland. De toevoeging van het woord 'kopen' aan Braziliaanse waterpest resulteerde in

vijf websites van Nederlandse verkopers die de plant te koop aanboden. De zoekterm 'Argentijnse waterpest kopen' leverde zes websites op: vijf van Nederlandse verkopers en één van een Belgische verkoper. Op geen enkele gevonden verkoopsite wordt informatie gegeven over (potentiële) invasieve eigenschappen van *E. densa*, het belang van het voorkomen van introducties van deze soort in het oppervlaktewater of milieu- en natuurvriendelijke methoden om overtollige planten te verwijderen (Figuur 3.1).



Figuur 3.1: Het type websites (Nederlands en Engels), waarop *Egeria densa* en Nederlandstalige soortnamen (Braziliaanse of Argentijnse waterpest) staan vermeld, die zijn gevonden via Google.nl met behulp van verschillende zoektermen (1: De internetsite bevat geen directe verwijzingen naar het invasieve karakter van de plant en / of maatregelen om introductie in het wild te voorkomen; 2: De internetsite bevat directe verwijzingen naar het invasieve karakter van de plant en / of maatregelen om introductie in het wild te voorkomen).

Minder dan 25% van de hobbyistenwebsites, die zijn gevonden met de bovenstaande zoektermen (Figuur 3.1), bevatten informatie over de invasieve aard van *E. densa* en mogelijke risico's van uitzetting in het wild voor inheemse biodiversiteit of waterhuishouding. Het relatief grote aantal hobbywebsites waarop Braziliaanse waterpest (kopen) en Argentijnse waterpest (kopen) wordt besproken suggereert dat dit een populaire aquariumplant is in Nederland en België (Figuur 3.1).

Braziliaanse waterpest (kopen) en Argentijnse waterpest (kopen) worden op elf educatieve websites en websites met informatie over beleid en regelgeving genoemd. Deze websites zijn allemaal in de Nederlandse taal geschreven. Negen van deze websites bevatten wel informatie over de invasieve aard van Braziliaanse- of Argentijnse waterpest en de potentiële risico's van de soort. Dit duidt op een hoge mate van bewustzijn van de potentiële invasieve aard van Braziliaanse of Argentijnse waterpest binnen deze organisaties en hun perceptie van het belang om dit te communiceren naar het publiek. Het relatief hoge aanbod van educatief materiaal is mogelijk een gevolg van het Convenant waterplanten uit 2010. In dit convenant hebben overheid, waterschappen en de bedrijvensector afgesproken om consumenten te informeren over de risico's van invasieve waterplanten (Verbrugge *et al.*, 2013). De zoekterm '*Egeria densa* (kopen)' leverde in totaal 19 educatieve websites en websites met informatie over beleid en regelgeving op, waarvan er 15 informatie bevatten

over de invasieve aard van *E. densa* en de potentiële risico's van de plantensoort. De meerderheid van deze websites is echter in de Engelse taal geschreven.

Tenslotte wordt *Egeria densa* vaak genoemd op websites van belangenorganisaties die zich bezighouden met invasieve soorten. Deze sites worden vooral gevonden wanneer de Latijnse naam wordt gebruikt als zoekterm.

Op meer dan de helft van de Nederlandstalige educatieve websites en websites met informatie over beleid en regelgeving wordt gerefereerd aan de invasieve aard van Braziliaanse of Argentijnse waterpest. Onderzoek in 2012 toonde aan dat 91% van de onderzochte Nederlandse winkels (n = 44) *E. densa* verkochten in bundels van zuurstofplanten. Slechts 18% van deze bundels was correct geëtiketteerd volgens de afspraken in het Convenant waterplanten (Verbrugge *et al.*, 2014). Op websites van Nederlandse en Belgische verkopers is de informatieverstrekking betreffende de invasiviteit ook zeer beperkt (Figuur 3.1). Het grote online aanbod van *Egeria densa* of Braziliaanse of Argentijnse waterpest bevestigt dat de soort ook via internet in Nederland gemakkelijk verkrijgbaar is.

Daadwerkelijke introductie en secundaire verspreiding vindt plaats wanneer hobbyisten hun overvloedige planten in het wild uitzetten. De kans dat zij planten uitzetten in nabijgelegen waterlichamen wordt groter geacht dan dat zij de planten vernietigen (Kay & Hoyle, 2001; Lafontaine *et al.*, 2013). Herhaalde introductie van een soort op grote schaal wordt beschouwd als een van de belangrijke factoren die leiden tot invasiviteit (Randall & Marinelli, 1996; Riis *et al.*, 2012). Het is zeer waarschijnlijk dat de meeste populaties van *E. densa* in West-Europa en in een aantal Aziatische en Pacifische landen het resultaat zijn van afzonderlijke opeenvolgende introducties vanuit aquaria of vijvers in de natuur (Lafontaine *et al.*, 2013). De resultaten van recente enquêtes naar het gedrag van aquarium- en vijverhouders in Nederland tonen dat 2-3% van de respondenten hun overvloedige waterplanten wel eens in open water weggooien (Verbrugge *et al.*, 2013; 2014). Deze respondenten doen dit meestal uit respect voor levende wezens en zijn zich niet bewust van de risico's van de introductie van potentieel invasieve exoten in het oppervlaktewater.

3.1.1 Conclusie

De waarschijnlijkheid van introductie in Nederland en secundaire verspreiding van *E. densa* wordt beoordeeld als hoog vanwege de hoge import en (internet)verkoop van de soort, onvoldoende informatie voor kopers over de (preventie van) risico's van uitzetten van (overtollige) planten in het oppervlaktewater en consumenten die planten uitzetten.

3.2 Waarschijnlijkheid van vestiging

3.2.1 Verspreiding in Nederland

De eerste gedocumenteerde vondst van *E. densa* in het wild betreft een sloot nabij park Groenedijk in Dordrecht en dateert uit het najaar van 1944 (Van Ooststroom *et al.*, 1964). In 1951 is echter herbariummateriaal verzameld in een vijver in Bussum. Volgens de gegevens op het etiket zou de plant al minstens tien jaar op deze plek aanwezig zijn geweest en regelmatig hebben gebloeid. Deze waarneming indiceert dat *E. densa* voor het eerst in 1941

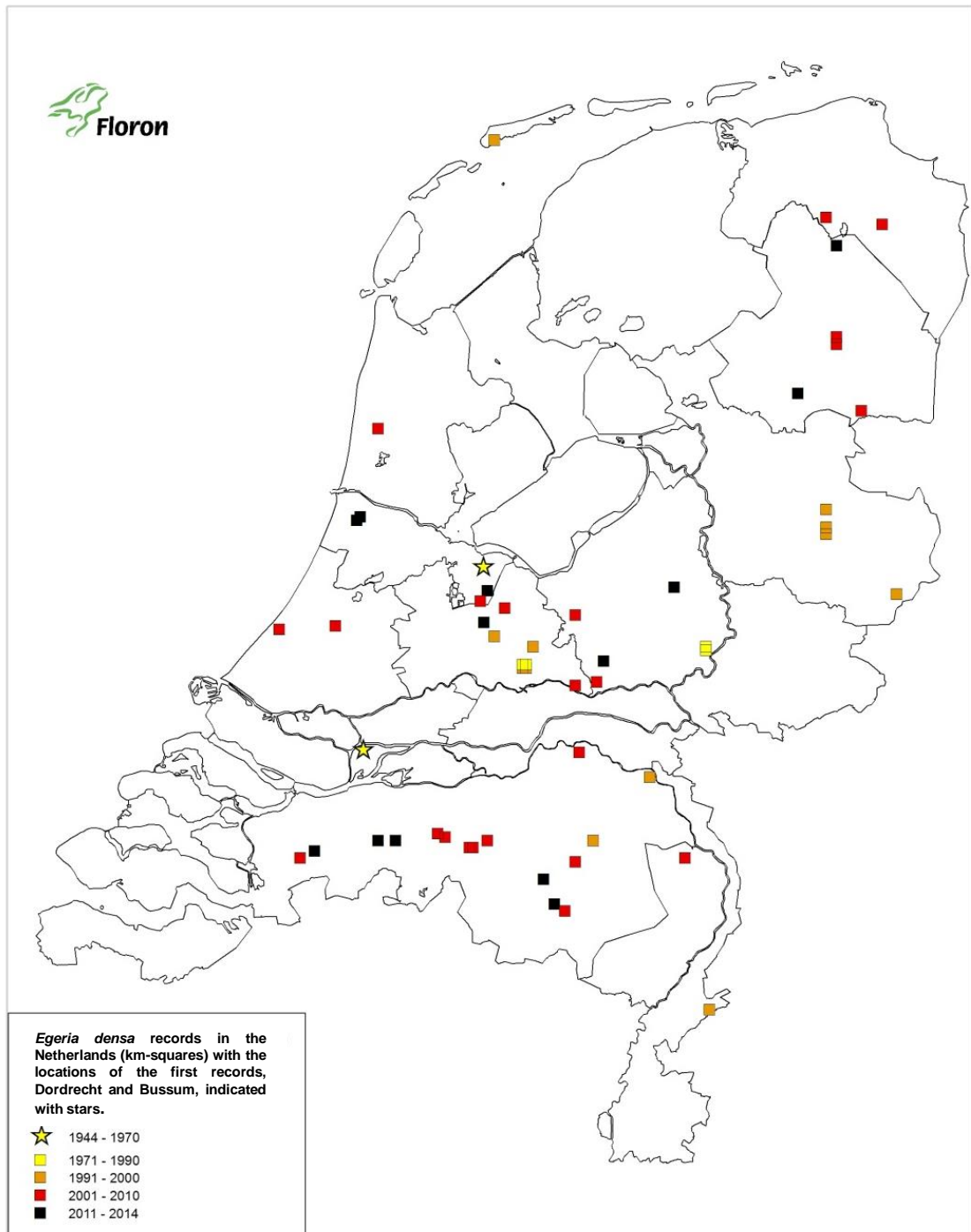
in Bussum is verwilderd. Van beide plaatsen zijn geen latere meldingen van *E. densa* bekend. Uit de zestiger jaren van de vorige eeuw zijn geen waarnemingen binnen Nederland bekend.

In de zomer van 1976 werd *E. densa* waargenomen in een singel in de gemeente Doorn. *E. densa* kwam daar aaneengesloten over enkele honderden meters voor en viel op door de grote witte bloemen. De singel was in 1972 gegraven. De plant moet dus vrij kort na het graven van de singel zijn uitgezet. In 1977 bloeide de plant weer volop en werd de soort ook gevonden in de nabijgelegen Gooyerwetering (Floristenclub Gelderse Vallei, 1978, Mennema & Van Ooststroom, 1977). Tot 1991 zijn er waarnemingen van *E. densa* uit de omgeving van Doorn bekend. Daarna is *E. densa* hier niet meer waargenomen.

Na het jaar 2000 wordt *E. densa* bijna ieder jaar, maar meestal op verschillende plaatsen, waargenomen. Het aantal km-hokken waarin de soort is waargenomen varieert van 0 tot 8 km-hokken per jaar. In 2008 werden 7 km-hokken gemeld, waarin de soort nog niet eerder was waargenomen. In totaal is de soort in de periode 1944 tot heden uit 54 verschillende km-hokken gemeld. In de meeste km-hokken zijn waarnemingen uit slechts één jaar bekend. Alleen uit enkele km-hokken in Doorn, Tilburg, Roosendaal, Breda, Aalst en Hoogeveen zijn waarnemingen uit meerdere jaren bekend. In veel km-hokken waarin de soort in het verleden is gemeld, zijn geen latere waarnemingen meer bekend, ondanks dat deze km-hokken recent redelijk tot goed zijn onderzocht. Het is aannemelijk dat de soort niet meer binnen deze km-hokken voorkomt. De groeiplaats op Terschelling (Dodemanskisten) is met zekerheid verdwenen. Deze plas is in de zomer van 2013 geheel leeggepompt en uitgebaggerd. In de zomer van 2014 is de soort hier niet meer waargenomen.

E. densa wordt meestal binnen of dichtbij de bebouwde kom waargenomen; meer dan de helft van de groeiplaatsen ligt binnen de bebouwde kom en minstens 70% ligt maximaal 1 km van de bebouwde kom. De plant wordt meestal aangetroffen in stadswateren, zoals vijvers en singels. Verder zijn groeiplaatsen gemeld in (amfibieën)poelen, sloten, leemputten en kanalen. Het huidige verspreidingspatroon van *E. densa* wordt gekenmerkt door een beperkte verspreiding van geïsoleerde populaties (Figuur 3.2).

Een dergelijk verspreidingspatroon indiceert dat het voorkomen van de soort sterk afhankelijk is van herhaalde introducties door de mens. Het aantal waarnemingen per jaar van *E. densa* is significant positief gecorreleerd met de gemiddelde temperatuur in de voorafgaande winterperiode (zie appendix 1: paragraaf 5.2.1). De waarnemingen in de omgeving van Doorn dateren allemaal uit een periode met relatief zachte winters (1971-1978). Ook in de jaren 2007 en 2008, na de relatief zachte winter van 2006-2007, zijn relatief veel waarnemingen gedaan. Daarentegen ontbreken waarnemingen uit de jaren zestig; een periode met relatief veel zeer strenge winters. Uit de jaren 1996-1997 en 2010-2011, na de strenge winters van respectievelijk 1995 op 1996 en 2009 op 2010, zijn geen waarnemingen bekend.



Figuur 3.2: Verspreiding van *Egeria densa* in Nederland in verschillende perioden op het schaalniveau van kilometerhokken (vierkante symbolen met verschillende kleurcodes). De locaties van eerste waarneming (Dordrecht en Bussum) zijn met een ster aangegeven (Databronnen: zie paragraaf 2.2 in appendix 1).

3.2.2 Habitat en fysiologische toleranties

Tabel 3.1 geeft een overzicht van fysiologische toleranties van *E. densa*. De soort gedijt in verschillende zoetwaterhabitattypen. In zijn oorspronkelijke verspreidingsgebied wordt *E. densa* waargenomen in langzaam tot matig stromende ondiepe wateren (stroomsnelheid maximaal 1 m/s) en zelden in snelstromende waterlopen. (Hussner & Losch, 2005; Hussner *et al.*, 2010; Takahashi & Asaeda, 2014). Buiten zijn oorspronkelijke verspreidingsgebied

wordt de soort vooral gevonden in meren, vijvers, poelen (in steengroeven) en traag stromende rivieren, beken en kanalen. (Branquart, 2013; State of Indiana, ongedateerd; Dadds & Bell, ongedateerd).

Temperatuur

De optimale watertemperatuur voor *E. densa* ligt tussen 16 en 28°C en groei treedt op tussen 10 tot 30°C (Curt *et al.*, 2010; Getsinger & Dillon, 1984; Yarrow *et al.*, 2009). Bij watertemperaturen tussen 25 en 30°C vertoont *E. densa* een verhoogde fotosynthese en groeisnelheid (Riis *et al.*, 2012). Bij een watertemperatuur boven 30°C, treedt beschadiging van de plant op. Bij temperaturen van 3°C en lager neemt de mortaliteit toe en bevriezen is lethaal voor de soort (Washington State Department of Ecology, 2014; Yarrow *et al.*, 2009; Leslie, 1992). Onder ijs kan *E. densa* lage temperaturen in de winter overleven, maar de relatie tussen blootstellingsduur aan lage watertemperatuur en overlevingspercentage is onbekend (Haramoto & Ikusima, 1988; Lafontaine *et al.*, 2013). De soort overleeft winterse omstandigheden door opslag van zetmeel in bladeren en stengel. Zodra de temperatuur weer boven de 10°C komt, wordt dit zetmeel gebruikt voor groei (Washington State Department of Ecology, 2014). *E. densa* heeft warmer water nodig om te gedijen dan *Lagarosiphon major* die ook uitheems is (GB Non-native Species Secretariat, 2014). Uit een competitie experiment tussen *E. densa* en *L. major*, bleek dat *E. densa* het meest competitief is bij 30°C en *L. major* bij 20°C. Dit suggereert dat *E. densa* competitiever is in ondiep warm water en *L. major* competitiever is in dieper kouder water, indien er voldoende licht beschikbaar is (Riis *et al.*, 2012). De verwachting is dat hogere watertemperaturen als gevolg van klimaatverandering *E. densa* in de toekomst in staat zal stellen zijn verspreidingsgebied verder uit te breiden naar noordelijke breedtegraden (Dadds & Bell, ongedateerd).

Diepte

E. densa wortelt meestal op dieptes tussen de 0,15 en 3 meter, maar wortelende exemplaren zijn ook op een diepte van 10 meter waargenomen (Mony *et al.*, 2007; Wells *et al.*, 1997; Tanner *et al.*, 1990; Hussner & Losch 2005; Carrillo *et al.*, 2006; Csurhes *et al.*, 2008; Lafontaine *et al.*, 2013; Takahashi & Asaeda, 2014). In gekoloniseerde Amerikaanse meren en waterwegen hebben standplaatsen dichtbij de oever met diepten tot 7 meter, de grootste kans op invasies van *E. densa* (Darrin, 2009).

Substraattypen

De biomassa van *E. densa* is negatief gecorreleerd met de sedimentdiameter wat duidt op een voorkeur voor fijnkorrelige substraten (Haga *et al.*, 2006). In de Duitse rivier de Erft domineert *E. densa* in delen met modderige sedimenten. In secties met vooral zand of grind groeit de soort slecht (Hussner *et al.*, 2010). In de Seta rivier (Japan) is *E. densa* dominant op bodems met een fijn substraat en grote cohesie. Dit suggereert dat de soort zeer tolerant is voor zuurstofarme bodems (Matsui, 2014).

Licht

Veel licht is belangrijk voor het functioneren van *E. densa* (Hussner *et al.*, 2010). Volgens Barko & Smart (1981) heeft de beschikbaarheid van licht een sterker effect op de groeisnelheid en morfologie van *E. densa* dan de watertemperatuur. De soort is gevoelig voor schaduw en groeit het best bij minder dan 75% bedekking (Barko & Smart, 1981). De vestiging van *E. densa* in natuurlijke systemen wordt verhinderd door zwevende stof concentraties boven 30 mg/m³ of een absorptiecoëfficiënt voor licht (Kd-waarde) boven twee

(Tanner *et al.*, 1993). Andere auteurs suggereren dat *E. densa* minder afhankelijk is van hoge lichtbeschikbaarheid vanwege een laag lichtcompensatiepunt (7.5–16.2 $\mu\text{mol}/\text{m}^2/\text{s}$), sterke verticale groei en het vermogen van drijvende planten en fragmenten om te groeien in de bovenste waterlaag van troebel water (Rodrigues & Thomaz, 2010; Lafontaine *et al.*, 2013). De soort kan dus wel groeien onder troebele omstandigheden maar blijkt het meest competitief in heldere wateren met lage lichtdemping (Bini & Thomaz, 2005; Yarrow *et al.*, 2009; Hussner *et al.*, 2010; Branquart, 2013).

Nutriënten

De soort tolereert een brede range aan nutriëntengehalten in het water, met name totale fosforconcentratie tussen 0,095 en 0,340 mg/l (Roberts *et al.*, 1999; Hussner & Losch, 2005; Csurhes *et al.*, 2008; Yarrow *et al.*, 2009) en totale organische koolstofconcentratie tussen 2,88 en 5,62 mg/l (Hussner & Losch, 2005). Hoge ammoniumconcentraties (10 mg/l) hebben een negatieve invloed op de groei door remming van de fotosynthese (Su *et al.*, 2012). DiTomaso & Kyser (2013) melden dat de soort gevoelig is voor ijzertekort, maar geven geen nadere specificaties.

Volgens Csurhes *et al.* (2008) en Yarrow *et al.* (2009) is de beschikbaarheid van nutriënten in het water van de meeste ecosystemen geen beperkende factor voor de groei van *E. densa*. Ondergedoken waterplanten met wortels, zoals *E. densa*, zijn minder gevoelig voor lage of fluctuerende nutriëntenconcentraties in het water omdat deze soorten nutriënten kunnen opnemen uit zowel het sediment als de waterkolom (Yarrow *et al.*, 2009). In de wetenschappelijke literatuur bestaat nog discussie over het relatieve belang van nutriënten in bodem en water. Volgens DiTomaso & Kyser (2013) heeft *E. densa* voorkeur voor nutriëntrijke substraten. In het Itaipu stuwmeer (Brazilië) is *E. densa* echter waargenomen op standplaatsen met relatief lage totaal fosforconcentraties in zowel het sediment als de waterkolom (Bini *et al.*, 1999). Uit een experiment van Mony *et al.* (2007) blijkt dat toevoeging van nutriënten aan zandsubstraat van *E. densa* standplaatsen niet resulteert in een toename van de biomassa. Carignan & Kalff (1980) beschrijven dat sediment onder uiteenlopende omstandigheden bijdraagt aan gemiddeld 72% van de totale fosforopname tijdens groei. In nutriëntrijke rivieren in Argentinië blijkt dat 8-10 % van de fosfor opgenomen in plant biomassa afkomstig is van het sediment (Feijoó *et al.*, 2002). In deze rivieren wordt de fosfor dus vooral opgenomen uit het water. *E. densa* vertoont ook hogere opname van ammonium dan nitraat, terwijl de meeste stikstof wordt opgenomen uit het watercompartiment. Deze resultaten suggereren dat fosfor een belangrijkere limiterende factor voor *E. densa* is dan stikstof, omdat fosfor - en niet stikstof - is gerelateerd aan toename in groei (Feijoó *et al.* 2002).

De Freitas & Magela Thomaz (2011) concluderen dat ook een tekort aan anorganisch koolstof in een aantal ecosystemen de groei limiteert gedurende bepaalde perioden van het jaar. Anorganische koolstof is volgens De Freitas & Magela Thomaz (2011) een belangrijkere limiterende factor voor *E. densa* dan fosfor en stikstof, omdat stikstof en fosfor worden geassimileerd uit sediment en daar vaak in hoge concentraties aanwezig zijn.

pH

E. densa tolereert een breed bereik aan pH-waarden. De optimale pH ligt tussen de 5,5 en 7,9 (gemiddeld 7,6; Mony *et al.*, 2007). De soort lijkt een voorkeur te hebben voor zure en

humusrijke condities, maar groeit ook in kalkrijk eutroof water (Branquart, 2013; Lafontaine *et al.*, 2013; GB Non-native Species Secretariat, 2014).

Saliniteit en elektrische geleidbaarheid

E. densa tolereert zoutgehalten tot maximaal 5 ppt (Poirrier *et al.*, 2010). In de Duitse rivier de Erft is de soort waargenomen in water met een elektrische geleidbaarheid tussen 715 en 802 $\mu\text{S}/\text{cm}$ (Hussner & Losch, 2005).

Tabel 3.1: Fysiologische toleranties van *Egeria densa*.

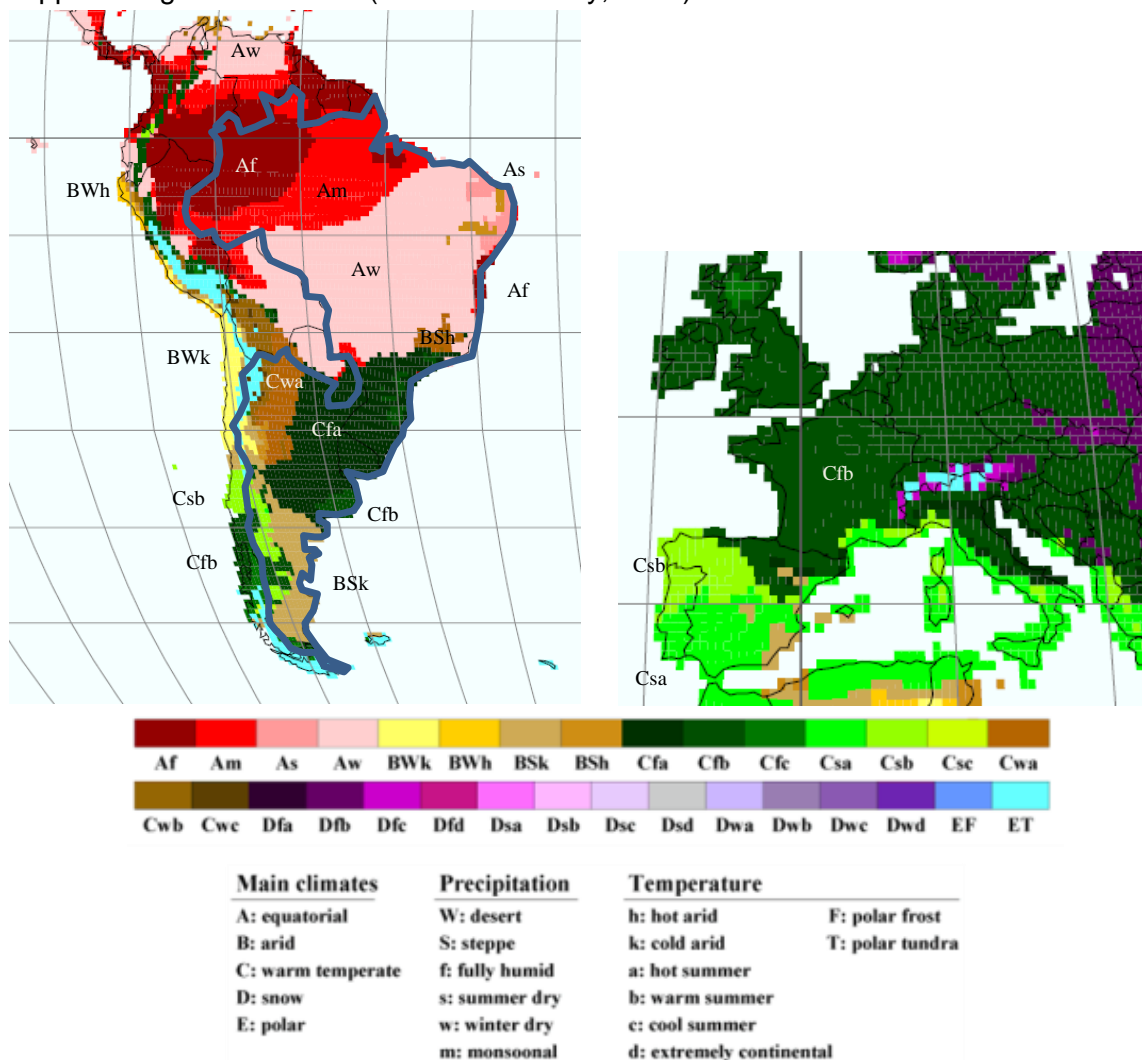
Parameter	Medium	Data oorsprong	Waarden	Referenties
pH	Water	Buitenland	5,5-8,3	Bini <i>et al.</i> (1999); Hussner & Losch (2005); Mony <i>et al.</i> (2007)
pH optimum	Water	Buitenland	5,5-7,9 Gemiddeld 7,6	Mony <i>et al.</i> (2007)
Temperatuur (°C)	Water	Buitenland	Overleeft onder ijs; mortaliteit: 3; groei: 10-30; optimale groei: 16-28; 30 weefselschade; 35 hoogst gemeten	Barko & Smart (1981); Getsinger & Dillon (1984); Haramoto & Ikusima (1988); Di Tomaso & Healy (2003); Yarrow <i>et al.</i> (2009)
Licht compensatie punt ($\mu\text{mol}/\text{m}^2/\text{s}$)	Water	Laboratorium studie	7,5-16,2	Rodrigues & Thomaz (2010)
Licht absorptie coëfficiënt	Water	Nieuw-Zeeland	>2	Tanner <i>et al.</i> (1993)
Opgeloste deeltjes (mg/l)	Water	Buitenland	40 max.	Marin <i>et al.</i> (2014)
Opgeloste deeltjes (mg/m^3)	Water	Nieuw-Zeeland	30 max.	Tanner <i>et al.</i> (1993)
Dieptebereik (m)	Water	Buitenland	0,15-3 meestal; 10 max.	Wells <i>et al.</i> (1997); Tanner <i>et al.</i> (1990); Hussner & Losch (2005); Carrillo <i>et al.</i> (2006); Yarrow <i>et al.</i> (2009); Takahashi & Asaeda (2014); Lafontaine <i>et al.</i> (2013)
Stroomsnelheid (m/s)	Water	Buitenland	0-1	Hussner & Losch (2005); Takahashi & Asaeda (2014)
Conductiviteit ($\mu\text{S}/\text{cm}$)	Water	Buitenland	34-802	Bini <i>et al.</i> (1999); Hussner & Losch (2005)
Saliniteit (ppt)	Water	Buitenland	5 max.	Hauenstein & Ramirez (1986); Poirrier <i>et al.</i> (2010)
Totaal fosfor (mg/l)	Water	Buitenland	0,016-0,34	Bini <i>et al.</i> (1999); Roberts <i>et al.</i> (1999); Hussner & Losch (2005)
Totaal organische koolstof (mg/l)	Water	Duitsland	2,88-5,62	Hussner & Losch (2005)
Ammoniak-N (mg/l)	Water	Laboratorium studie	≥ 10 beïnvloed groei	Su <i>et al.</i> (2012)
Substraat	Bodem	Nederland en Duitsland	Organisch, fijn an-organisch, zand	Hussner & Losch (2005); Matthews <i>et al.</i> (2014)

Metabolisme

E. densa beschikt over adaptieve fysiologische eigenschappen die kunnen bijdragen aan zijn invasiviteit (Yarrow *et al.*, 2009). Door een aanpassing aan lage CO_2 en hoge O_2 concentraties kan de soort blijven groeien onder moeilijke condities (Yarrow *et al.*, 2009; Rascio *et al.*, 1991). *E. densa* vertoont een blad pH-polariteit die bij hoge lichtintensiteit en lage opgeloste koolstofconcentraties, een lage pH genereert aan het bladoppervlak. De lage pH verschuift het evenwicht $\text{HCO}_3^-/\text{CO}_2$ naar CO_2 , wat vervolgens passief diffundeert in de cel (Lara *et al.*, 2002). De efficiëntie in het gebruik van HCO_3^- is afhankelijk van de concentratie ervan in het omringende water (Pierini & Thomaz, 2004).

3.2.3 Klimaat en biogeografische vergelijking

Het klimaat en de biogeografische regio's van Nederland zijn vergeleken met het oorspronkelijke en uitheemse verspreidingsgebied van *E. densa*. Hiervoor is gebruik gemaakt van kaarten met de Koppen-Geiger klimaatclassificatie die zijn gebaseerd op data van de Duitse weerdienst (Global Precipitation Climatology Centre; GPCC) en de Climatic Research Unit (CRU) van de Universiteit van East Anglia (Verenigd Koninkrijk) (Rubel & Kottek, 2010). De klimaatregio's zijn gebaseerd op drie elementen: hoofdklimaat, neerslag en luchttemperatuur. Nederland ligt in de Cfb regio, die wordt gedefinieerd als warm gematigd, hoge luchtvochtigheid en met een warme zomer. Deze classificatie komt overeen met die van een aantal gebieden in het oorspronkelijke verspreidingsgebied van *E. densa* in Brazilië, Uruguay en Argentinië (Rubel & Kottek, 2010; <http://koeppen-geiger.vu-wien.ac.at/>, Figuur 3.3). *E. densa* is ook waargenomen in Frankrijk, Duitsland, Italië en het Verenigd Koninkrijk. Deze Europese locaties zijn klimatologisch vergelijkbaar met Nederland volgens de Koppen-Geiger classificatie (Millane & Caffrey, 2014).



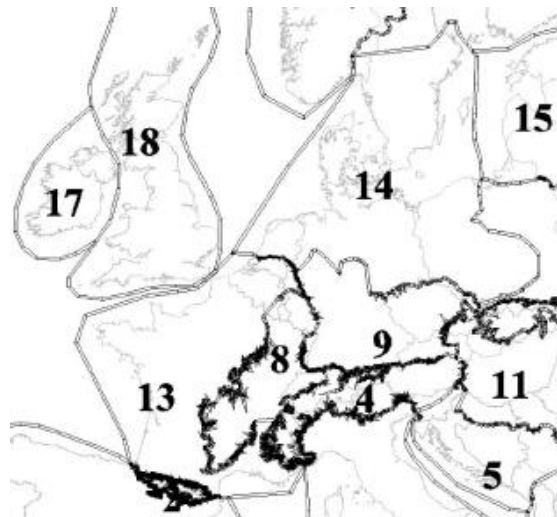
Figuur 3.3: Het klimaattype in het oorspronkelijke verspreidingsgebied van *Egeria densa* (blauw omlind) vergeleken met Nederland (Cfb regio). Aangepast uit Kottek *et al.* (2006).

Grotere delen binnen het oorspronkelijke verspreidingsgebied worden geclassificeerd als Cfa regio (warm gematigd, hoge luchtvochtigheid en met een hete zomer). Een aantal gebieden

waarin *E. densa* invasief is, zijn geclassificeerd als Cfa regio (CABI, 2014). Voorbeelden zijn: Noord en Zuid Carolina, Virginia en Delaware in de Verenigde Staten.

Volgens Walsh *et al.* (2013) is het uitheemse verspreidingsgebied van *E. densa* groter dan verwacht op basis van de klimaatclassificatie van het oorspronkelijke verspreidingsgebied. De soort beschikt immers over het vermogen om energie op te slaan in de basis van stengels en de wortelkroon, waardoor planten na de degeneratie van weefsel tijdens winterperiodes weer snel biomassa kunnen opbouwen en herinvasie mogelijk is (Pennington & Sytsma, 2009; Washington State Department of Ecology, 2014). Desondanks stelt Lafontaine *et al.* (2013) dat *E. densa* onvoldoende is aangepast aan de Belgische klimatologische condities omdat de plant langdurige vriestemperaturen in de winter niet overleeft.

De Europese Kaderrichtlijn Water 2000/60/EC (European Union, 2000), definieert een aantal ecoregio's die overeenkomsten vertonen in aquatische soorten van meer- en riviersystemen (Figuur 3.4). Nederland ligt in de ecoregio's 13 en 14. Het zuidelijke deel van Nederland valt binnen ecoregio 13 (westelijke laagvlakten), deze strekt zich uit tot Frankrijk, België en een klein deel van westelijk Duitsland. Het noordelijke deel van Nederland valt binnen ecoregio 14 (de centrale laagvlakten). Ecoregio 14 strekt zich uit tot noord Duitsland, het westen van Polen, Denemarken en het zuiden van Zweden.



Figuur 3.4: De ecoregio's die gedefinieerd zijn binnen de Kaderrichtlijn Water (European Union, 2000). 4) Alpen; 5) Westelijke Balkan; 8) Westelijke hooglanden; 9) Centrale hooglanden; 11) Hongaarse laaglanden; 13) Westelijke laagvlakten; 14) Centrale laagvlakten; 15) Baltisch gebied; 17) Ierland en Noord Ierland; 18) Groot Brittannië.

E. densa is waargenomen in Duitsland, Frankrijk en België (Denys *et al.*, 2004; Lafontaine *et al.*, 2013). Deze landen delen hun ecoregio met Nederland. Het voorkomen van *E. densa* in de Erft in Duitsland is echter niet representatief voor de ecoregio omdat deze rivier thermisch is verontreinigd (Hussner, 2014). De aanwezigheid van *E. densa* in Frankrijk en België suggereert dat rivieren en meren in de ecoregio 13 potentieel habitat kunnen vormen.

Met wereldwijde klimaatniche modellering is een progressieve toename van klimatologisch geschikt gebied voor de vestiging van *E. densa* voorspeld buiten zijn oorspronkelijke verspreidingsgebied (Kelly *et al.*, 2014).

3.2.4 Conclusie

De verspreiding van *E. densa* in Nederland is nog beperkt (geïsoleerde populaties) ondanks dat de plant al sinds 1944 regelmatig verwilderd wordt aangetroffen. De voornaamste redenen voor de beperkte verspreiding van *E. densa* in Nederland zijn dat de soort vooral in geïsoleerde wateren wordt geïntroduceerd en de populaties langdurige koude winterperiodes waarschijnlijk niet overleven. Daarom wordt de waarschijnlijkheid van vestiging in Nederland beoordeeld als matig. Bij toekomstige stijging van de watertemperatuur door klimaatverandering zal de kans op permanente vestiging van *E. densa* in Nederland toenemen.

3.3 Waarschijnlijkheid van verspreiding

In het oorspronkelijke verspreidingsgebied produceert *E. densa* zaden (Darrin, 2009). In Nederland is geen zaadsetting waargenomen, omdat in Europa alleen mannelijke planten worden verkocht. Tot heden zijn in Nederland geen vrouwelijke planten in het wild waargenomen. Introductie van vrouwelijke planten uit het oorspronkelijke verspreidingsgebied is mogelijk. Onbekend is echter of seksuele voortplanting en productie van kiemkrachtige zaden onder de Nederlandse milieumomstandigheden kan optreden. Naar verwachting zal dit echter geen of weinig additioneel effect hebben op de verspreiding in ons land. In het uitheemse verspreidingsgebied plant de soort zich immers vegetatief voort door vertakking en het afbreken van fragmenten (Washington State Department of Ecology, 2001). Wortels en stengels breken gemakkelijk af, worden met de waterstroming meegevoerd en groeien stroomafwaarts weer uit (Yarrow *et al.*, 2009; Washington State Department of Ecology, 2014). Alleen stengelfragmenten met een dubbele knoop die laterale knoppen, vertakkingen of adventieve wortels kunnen vormen, ontwikkelen zich tot een nieuwe plant. De stengel vormt deze dubbele knopen om de 6 tot 12 knopen. Dubbele knopen bestaan uit twee enkele knopen die zijn gescheiden door een zeer kort internodium (Lafontaine *et al.*, 2013).

E. densa komt vaak voor in wateren binnen of nabij bebouwde omgeving die hier meestal door de mens zijn aangelegd. Het is zeer waarschijnlijk dat de eerste fasen van introductie door de mens worden gefaciliteerd (Tabel 3.2; Appendix 1: paragraaf 5.2.1; Darrin, 2009; Compton *et al.*, 2012). De kans dat mensen overtollige planten in nabij gelegen water uitzetten is groot (Kay & Hoyle, 2001; Lafontaine *et al.*, 2013). In Nederland zegt 2-3% van de hobbyisten weleens overtollige planten in het oppervlaktewater uit te zetten, omdat zij levende planten niet willen vernietigen (Verbrugge *et al.*, 2013). Herhaalde introducties in oppervlaktewater door de mens zijn zeer waarschijnlijk een belangrijke vector voor secundaire verspreiding van *E. densa* in Nederland (Tabel 3.2).

Menselijke vectoren die plantenfragmenten verspreiden zijn van groot belang voor de secundaire verspreiding van *E. densa* (Tabel 3.2). De vegetatieve fragmenten kunnen tussen wateren worden uitgewisseld via boten (en hun trailers), visgerei, op kleding en schoenen, en via diverse machines die gebruikt worden voor beheer (Westerdahl & Getsinger, 1988; Washington State Department of Ecology, 2014; Meacham, 2001; De Winton *et al.*, 2009; Lafontaine *et al.*, 2013). De verspreiding over land wordt vergemakkelijkt doordat *E. densa* een korte periode van verdroging tolereert. Bij een temperatuur van 25°C daalt de levensvatbaarheid van fragmenten na één uur uitdrogen tot 40% en na drie uur tot 8%

(Barnes *et al.*, 2013; Milane & Caffrey 2014). Plantenfragmenten kunnen ook over land worden verspreid door het overstromen van gekoloniseerde wateren (Darrin, 2009; Lafontaine *et al.*, 2013). Hoewel *E. densa* fragmenten via de genoemde vectoren over grote afstanden kan verspreiden, is de verspreiding in Noord Europa beperkt (Lafontaine *et al.*, 2013).

Tabel 3.2: Mogelijke vectoren / mechanismen voor de verspreiding van *Egeria densa* in Nederland.

Vector / mechanisme	Wijze van vervoer	Voorbeelden en relevante informatie	Referenties
Handel	Over land (nationaal / internationaal)	E-commerce, planten verzonden via de post, bulk transport	Champion & Clayton (2000); De Winton <i>et al.</i> (2009); Brunel (2009); Meacham (2001); Yarrow <i>et al.</i> (2009); Lafontaine <i>et al.</i> (2013)
Hobbyisten	Over land	Het weggooien van ongewenste planten	Wilson <i>et al.</i> (2007); Lafontaine <i>et al.</i> (2013)
Boten / trailers (o.a. romp, ankerlijn, motor)	Stroomopwaarts/ stroomafwaarts, over land	Gebeurt als gevolg van slecht schoonmaken en verplaatsing tussen wateren	Westerdahl & Getsinger (1988); Meacham (2001); Washington State Department of Ecology(2014); Lafontaine <i>et al.</i> (2013)
Overstroming	Stroomafwaarts, over land	Het ontsnappen van plantenfragmenten bij het overstromen van vijvers	Darrin (2009)
Oogst machines	Stroomopwaarts/ stroomafwaarts, over land	Machines worden niet goed gereinigd en verplaatst tussen wateren	De Winton <i>et al.</i> (2009); Lafontaine <i>et al.</i> (2013)
Stroming van water	Stroomafwaarts	Plantenfragmenten worden meegevoerd in het stromende water	De Winton <i>et al.</i> (2009); Csurhes <i>et al.</i> (2008)
Kleding en schoenen	Over land		Lafontaine <i>et al.</i> (2013)
Visgerei	Stroomopwaarts/ stroomafwaarts, over land	Als gevolg van slecht schoonmaken en verplaatsing tussen wateren	Lafontaine <i>et al.</i> (2013)
Waterdieren	Over land / via water	Zaden en plantenfragmenten aan poten of veren van watervogels (zoals eenden)*	Brochet <i>et al.</i> (2009)

*: Geen expliciete meldingen voor *Egeria densa*, maar in potentie mogelijk geacht op basis van informatie over vergelijkbare soorten (bijvoorbeeld *Elodea canadensis*).

3.3.1 Conclusie

De waarschijnlijkheid van verspreiding in Nederland wordt beoordeeld als matig. Ondanks het feit dat plantenfragmenten over grote afstanden kunnen worden vervoerd door diverse vectoren, is het verspreidingsgebied in Noord Europa beperkt. In Nederland wordt *E. densa* vooral geïntroduceerd in geïsoleerde wateren waardoor de kans op verspreiding over grote afstanden (door o.a. hydrochorie) minimaal is.

3.4 Risicovolle gebieden in Nederland

Gebieden in en nabij de bebouwde omgeving lopen het grootste risico op kolonisatie door *E. densa*. De huidige verspreiding van *E. densa* in Nederland is beperkt. Meer dan de helft van de populaties liggen binnen de bebouwde kom en tenminste 70% binnen 1 kilometer van de bebouwde kom. Deze populaties bevinden zich vaak in stadswateren zoals vijvers en singels (zie appendix 1: paragraaf 5.2.1). Doordat *E. densa* niet altijd de winter in Nederland overleeft (paragraaf 3.2.3 en appendix 1: paragraaf 5.2.1), is de soort afhankelijk van herhaalde introducties vanuit aquaria en vijvers voor zijn verspreiding en vestiging in Nederland. Mensen die (overtollige) planten in het wild uitzetten of in het water werpen, doen

dit zeer waarschijnlijk in hun directe omgeving en zullen minder vaak naar afgelegen gebieden gaan. Daarom is aannemelijk dat wateren in en rondom gebieden met menselijke bewoning en activiteit een groter risico lopen gekoloniseerd te worden dan afgelegen wateren in natuurgebieden. In het verleden is *E. densa* in twee kilometerhokken waargenomen die binnen de Nederlandse Natura-2000 gebieden 'Meijndel en Berkheide' en 'Roerdal' liggen (appendix 1: paragraaf 5.2.2). Recente waarnemingen in deze gebieden ontbreken echter. Wel is recent een drijvend fragment gevonden in de haven bij Nieuwkoop, net buiten het Natura-2000 gebied 'Nieuwkoopse Plassen en De Haeck'. Het is niet zeker of dit fragment afkomstig is van een populatie van *E. densa* in de haven of het Natura-2000 gebied, of dat iemand het fragment in het water heeft gegooid.

3.4.1 Conclusie

Wateren in en nabij de bebouwde omgeving lopen het grootste risico op kolonisatie door *E. densa*. Er zijn geen geverifieerde waarnemingen bekend dat *E. densa* op dit moment voorkomt in Natura-2000 gebieden of andere waardevolle natuurgebieden. Uit het verleden blijkt echter dat *E. densa* incidenteel wel in dergelijke gebieden is waargenomen en daarin dus terecht kan komen.

3.5 Risicoclassificatie met het ISEIA-protocol

3.5.1 Expert consensus risicoscores voor de huidige situatie in Nederland

Het deskundigenteam heeft voor elke sectie van het ISEIA-protocol de risicoclassificatie 'matig' aan *E. densa* toegekend (Tabel 3.3). De totale risicoscore van de soort bedraagt 8, uit een maximale score van 12. Dit betekent dat *E. densa* in de huidige situatie wordt geclassificeerd voor de C-lijst. In de paragrafen 3.5.2 – 3.5.6 wordt de risicobeoordeling van de deskundigen nader onderbouwd.

3.5.2 Dispersie potentieel of invasiviteit

Classificatie: **Matig risico**. *E. densa* plant zich in Nederland alleen vegetatief voort door middel van vertakking, fragmentatie en daaropvolgende wortelvorming. Plantenfragmenten kunnen in stromende wateren over grote afstanden worden vervoerd (hydrochorie). Verder kan *E. densa* zich verspreiden via diverse menselijke vectoren (bijvoorbeeld boten, visgerei) en waterdieren (zoals eenden). Ook kunnen beheersmaatregelen zoals maaien zorgen voor onbedoelde verspreiding van fragmenten stroomafwaarts. De relevantie van de menselijke vectoren voor verspreiding wordt afgeleid uit het feit dat meer dan de helft van de *E. densa* populaties in Nederland zich binnen stedelijke gebieden bevinden en tenminste 70% binnen 1 km van stedelijke gebieden is waargenomen. Er is een grote markt voor *E. densa* in Nederland, wat onder andere blijkt uit de hoge aantallen die worden ingevoerd en het grote aanbod van de plant in winkels en online webwinkels.

Tot op heden is geen informatie beschikbaar waaruit blijkt dat *E. densa* binnen Nederland invasief is.

Tijdens de workshop met experts is bediscussieerd of de classificatie voor deze sectie een matig of hoog risico moet zijn. De huidige verspreiding van *E. densa* is beperkt tot vooral

geïsoleerde wateren in de buurt van stedelijke gebieden. Verspreiding over afstanden van meer dan 1 km per jaar door middel van hydrochorie is daarom erg onwaarschijnlijk. In Nederland is *E. densa* vooral afhankelijk van menselijke vectoren voor zijn verspreiding (Tabel 3.2). Verder blijkt *E. densa* slecht in staat koude winters te overleven in Nederland, waardoor populaties weer verdwijnen. Het patroon van door het gehele land verspreide maar geïsoleerde en tijdelijk aanwezige populaties is zeer waarschijnlijk het gevolg van herhaaldelijke introducties. Dit, samen met het feit dat *E. densa* in Nederland geen zaad produceert en waarschijnlijk moeite heeft wateren te koloniseren waar zich al andere waterplanten hebben gevestigd, suggereert dat *E. densa* ondanks herhaalde introducties een matig risico scoort voor dispersie potentieel en invasiviteit.

3.5.3 Kolonisatie van waardevolle en/of beschermde habitats

Classificatie: **matig risico**. Tijdens de discussie met het team van experts moest overeenstemming bereikt worden of de classificatie laag of matig risico moest zijn. Het voornaamste argument tegen matig risico was dat *E. densa* op dit moment niet meer in Natura-2000 gebieden aanwezig is en vooral voorkomt in gebieden met een lage natuurwaarde. Echter uit gegevens in het verleden blijkt dat de plant incidenteel wel in waardevolle Natura-2000 gebieden terecht kan komen, vandaar dat overstemming is bereikt om aan deze sectie een score matig risico toe te kennen.

3.5.4 Negatieve effecten op inheemse soorten

Classificatie: **matig risico**. De resultaten van de literatuurstudie geven geen informatie over de overdracht van parasieten of ziektes naar inheemse soorten. De criteria gerelateerd aan genetische effecten zijn niet relevant voor Nederland. Hybridisatie of introgressie met inheemse soorten zal niet plaatsvinden omdat er in Europa geen soorten leven die verwant zijn aan *E. densa*. De risicoclassificatie voor deze sectie is daarom gebaseerd op de subsectie competitie.

De belangrijkste negatieve invloed van *E. densa* op inheemse soorten heeft te maken met interferentie en exploitatie competitie. Onder gunstige omstandigheden kan *E. densa* tot wel 0,4 cm per dag groeien en een dichte bedekking vormen aan het oppervlak (zelfs onder weinig licht) waardoor *E. densa* inheemse waterplanten kan verdringen (De Winton & Clayton 1996; Champion & Clayton, 2000; Carrillo, 2006; Washington State Department of Ecology, 2014; Yarrow *et al.*, 2009; Branquart, 2013; Lafontaine *et al.*, 2013; GB Non-native Species Secretariat, 2014). *E. densa* heeft een dichtere bezetting van bladeren dan andere uitheemse soorten zoals *L. major* en kan onder gunstige milieumomstandigheden een homogene vegetatie vormen die het gehele watercompartiment bedekt (Hofstra *et al.*, 1999; Roberts *et al.*, 1999; Branquart, 2013). *E. densa*'s tolerantie voor lage lichtbeschikbaarheid geeft de plant nog extra competitief voordeel. Het stelt de plant in staat zich te vestigen in dieper water dan sommige inheemse soorten (Wells *et al.*, 1997). Anderzijds kan in helder water het bladerdek van *E. densa* zich 2 tot 3 meter onder het wateroppervlak bevinden om zo het habitat met hoge lichtintensiteit nabij het oppervlak te vermijden (Wells *et al.*, 1997). Dit stelt andere minder lichtgevoelige planten in staat *E. densa* in wateren met een hoog doorzicht te overwoekeren en uiteindelijk uit te sluiten.

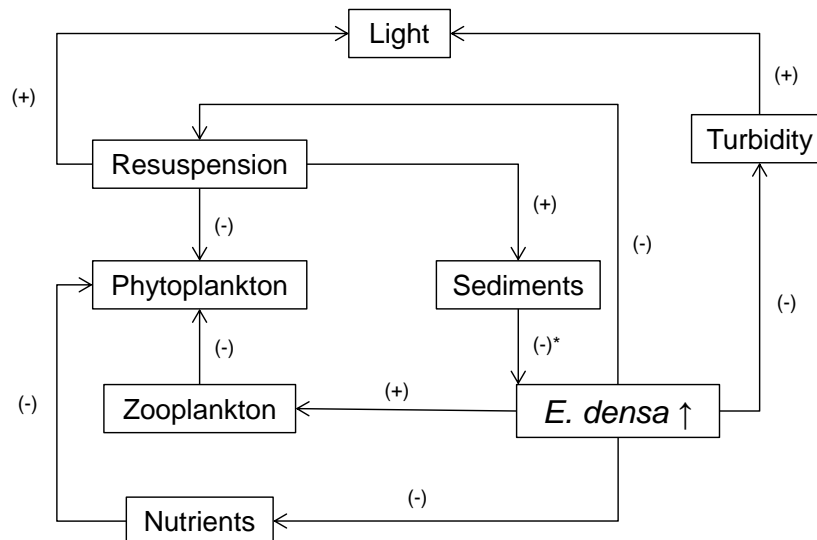
Er zijn enkele voorbeelden van competitie tussen *E. densa* en inheemse soorten in landen die klimatologisch vergelijkbaar zijn met Nederland. In de Duitse rivier de Erft onderdrukt *E. densa* het voorheen wijdverspreide Drijvend Fonteinkruid (*Potamogeton natans*) en Schedefonteinkruid (*Potamogeton pectinatus*). Verder heeft *E. densa* mogelijk Brede waterpest (*Elodea canadensis*) en Smalle waterpest (*Elodea nuttallii*) verdrongen (Friedrich, 1973; Diekjobst & Wolff, 1995; Hussner & Losch, 2005). De Erft is echter thermisch sterk verontreinigd door meerdere lozingen van koelwater. De hoge watertemperaturen in de winter zijn daarom niet representatief voor het klimaat van Duitsland, waardoor deze situatie niet vergelijkbaar is met de Nederlandse. Sinds 2003 is de dichtheid van *E. densa* in de Erft achteruitgegaan terwijl dichtheden van andere inheemse en uitheemse soorten stabiel bleven of significant toenamen (Hussner, 2014). In Nieuw-Zeeland is *E. densa* wijdverspreid geworden en heeft lokaal inheemse soorten verdreven (Champion & Tanner, 2000). Op locaties waar de vegetatie werd gedomineerd door *E. densa* (en andere adventieven zoals *Elodea canadensis* en *Hydrilla verticillata*) was bovendien het aantal zaden en de zaaddiversiteit van inheemse soorten significant lager dan op locaties waar vooral inheemse soorten domineerden (De Winton & Clayton, 1996). In Noord Amerika zijn situaties bekend waar *E. canadensis* door *E. densa* is weggeconcentreerd (Mony *et al.*, 2007).

Het deskundigenteam vindt dat *E. densa* in sommige gevallen, zoals bij de relatief hoge dichtheid in Hoogeveen, competitief kan zijn met andere soorten, bijvoorbeeld om nutriënten, maar dat deze effecten waarschijnlijk tijdelijk en omkeerbaar zijn. De situatie in de thermisch verontreinigde Erft in Duitsland is niet te vergelijken met de Nederlandse situatie. Het feit dat de dominantie van *E. densa* in de Erft over langere termijn weer af neemt, ondersteunt de voorspelling dat de kans op dominantie in Nederland zeer onwaarschijnlijk of gering is. Hoge dichtheden in Nederlandse wateren worden vaak waargenomen na opschoonactiviteiten. In deze situaties ondervindt *E. densa* weinig competitie van andere soorten en is dan in staat om tijdelijk een hoge dichtheid te bereiken. Dit kan problemen veroorzaken voor de waterhuishouding en recreatie. Het is echter zeer waarschijnlijk dat *E. densa* later weer wordt weggeconcentreerd door inheemse soorten of invasieve exoten. De volgende feiten hebben geleid tot de risicoclassificatie matig: 1) *E. densa* is op alle bekende standplaatsen in Nederland niet dominant geworden; 2) buitenlandse situaties waar de soort wel invasief is zijn klimatologisch niet vergelijkbaar met de situatie in Nederland, en 3) hoge dichtheden komen onder de huidige klimatologische omstandigheden waarschijnlijk niet langdurig voor, waardoor eventuele effecten tijdelijk en omkeerbaar zijn.

3.5.5 Wijzigen van ecosysteemfuncties

Classificatie: **matig risico**. De risicoclassificatie van deze sectie is gebaseerd op de subsectie: modificaties van nutriëntencycli of hulpbronnen. In hoge dichtheden kan *E. densa* de lichtbeschikbaarheid en het zuurstofgehalte in het water verminderen, de watertemperatuur verhogen, nutriëntencycli veranderen en de hydromorfologie beïnvloeden door verminderde waterbeweging en verhoogde sedimentatie (Mazzeo *et al.*, 2003; Branquart, 2013; CABI, 2014; GB Non-native Species Secretariat, 2014). Uit een Nieuw-Zeelandse studie blijkt dat de presentie van *E. densa* significant is gecorreleerd met meren waarin omslagen tussen heldere en troebele toestanden plaatsvinden (Schallenberg & Sorell, 2009). In landen waar *E. densa* in hoge dichtheden voorkomt, wordt de plant gezien als een autogene ecosysteembouwer (Jones *et al.*, 1994). Het mechanisme waardoor *E. densa* werkt als ecosysteembouwer wordt geïllustreerd in figuur 3.5. Een hoge dichtheid van *E. densa* zorgt

voor een afname van de troebelheid van het water, hetgeen leidt tot een vermindering van sediment resuspensie en een toename van de sedimentatie. De verminderde sediment resuspensie leidt tot een toename van de lichtpenetratie, waardoor een ecosysteem met helder water gehandhaafd wordt. Nutriënten worden vastgelegd in het sediment waardoor de hoeveelheid fytoplankton in het systeem afneemt. De dichtheid van zoöplankton in het water zal toenemen doordat *E. densa* standplaatsen fungeren als een schuilplaats tegen predatie door vissen. Op lange termijn zullen deze feedbackmechanismen echter zorgen voor ongunstige omstandigheden voor waterplanten doordat de sedimentdikte toeneemt (Aangepast uit Jones *et al.*, 1994; Yarrow *et al.*, 2009; Lafontaine *et al.*, 2013).



Figuur 3.5: *Egeria densa* als ecosysteembouwer (Aangepast uit Jones *et al.*, 1994; Yarrow *et al.*, 2009; Lafontaine *et al.*, 2013). -: afname; +: toename.



Figuur 3.6: Dichte vegetatie van *Egeria densa* bij Hoogeveen, Nederland (Foto: J. van Valkenburg).

Tijdens de workshop bediscussieerden de deskundigen of de score voor deze sectie een laag of matig risico moest zijn. De nadruk lag vooral op de sub-sectie: 'Modificatie van nutriëntencycli'. Het voornaamste argument voor een lage risicoscore is dat de hierboven genoemde effecten gelden voor buitenlandse situaties die niet klimatologisch vergelijkbaar zijn met Nederland. De effecten van *E. densa* in Nederland zijn beperkt doordat de plant bijna nergens jaren achtereen op de standplaatsen een homogene vegetatie vormt.

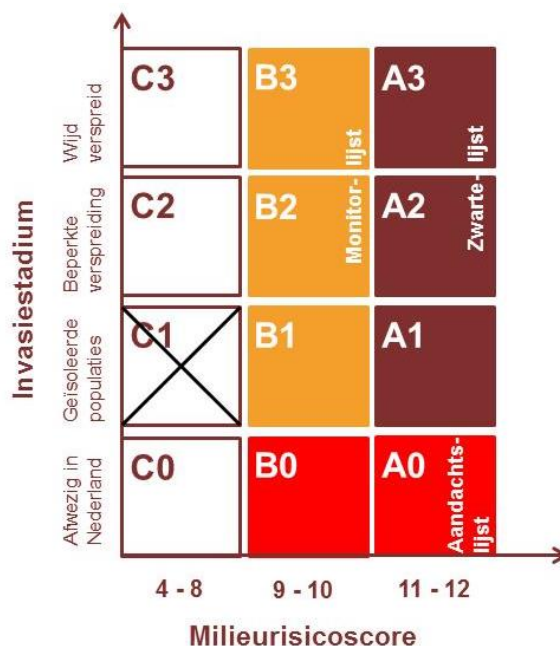
Momenteel zijn slechts enkele plekken bekend in Nederland met een relatief dichte vegetatie van *E. densa* (Figuur 3.6). Behalve in Hoogeveen komt ook in de stadsgracht van Tiel een begroeiing met relatief hoge dichtheid voor (M. Dekker, persoonlijke mededeling). In Nederland kunnen dus hogere dichtheden van *E. densa* voorkomen. Verwacht mag worden dat er in deze gevallen effecten op het ecosysteem optreden. Deze effecten zijn waarschijnlijk tijdelijk en omkeerbaar omdat dichte vegetaties van *E. densa* onder de heersende klimatologische omstandigheden niet langdurig stand houden. Het deskundigenteam kent daarom een classificatie van matig risico toe aan deze sub-sectie.

3.5.6 Soortclassificatie voor de huidige situatie

De soortclassificatie wordt bepaald door de risicoscore volgens het ISEIA-protocol (Tabel 3.3) in combinatie met de huidige verspreiding in Nederland. De soortclassificatie voor *E. densa* is C1 (Figuur 3.7). Dit geeft aan dat het om een uitheemse soort gaat die voorkomt in geïsoleerde populaties en niet in aanmerking komt voor plaatsing op de aandacht, monitor of zwarte lijst.

Tabel 3.3: Consensus scores en risicoclassificaties voor *Egeria densa* voor de huidige situatie in Nederland.

ISEIA secties	Risicoclassificatie	Consensus score
Dispersie potentieel of invasiviteit	Matig risico	2
Kolonisatie van waardevolle en/of beschermde habitats	Matig risico	2
Negatieve effecten op inheemse soorten	Matig risico	2
Wijzigen van ecosysteemfuncties	Matig risico	2
Milieurisico	C - lijst	8



Figuur 3.7: De classificatie van *Egeria densa* in de huidige situatie in Nederland volgens het BFIS-lijststelsel (Vanderhoeven & Branquart, 2010; Branquart, 2014).

3.5.7 Expert consensus risicoscores voor de toekomstige situatie in Nederland

Het deskundigenteam heeft voor de toekomstige situatie in Nederland ook een risicoanalyse met het ISEIA-protocol uitgevoerd. Daarbij werd voor *E. densa* aan de sectie: Dispersie potentieel of invasiviteit een risicoclassificatie 'hoog' gegeven en aan de overige secties een risicoclassificatie 'matig' toegekend (Tabel 3.4). De totale risicoscore van de soort bedraagt 9, uit een maximale score van 12. Deze totaal score betekent dat *E. densa* in de toekomstige situatie geïnclassificeerd wordt voor de B-lijst. In de paragrafen 3.5.8-3.5.12 wordt het oordeel van de deskundigen over de risico's van *E. densa* in de toekomst nader onderbouwd.

3.5.8 Dispersie potentieel en invasiviteit in de toekomst

Classificatie: **Hoog risico**. Een aantal experts verwacht op basis van KNMI klimaatscenario's en bij ongewijzigd overheidsbeleid dat in de toekomst het aantal dagen per jaar met vrieskou afneemt en de watertemperatuur toeneemt door opwarming van de aarde (broeikaseffect). Populaties van *E. densa* worden dan gedurende winterperioden minder teruggedrongen omdat de frequentie en duur van lethale watertemperaturen naar verwachting afneemt. Door een toename van de minimum, gemiddelde en maximale watertemperatuur kan ook de productie van *E. densa* toenemen ten opzichte van andere (inheemse) waterplanten. Bij ongewijzigd beleid zal de introductiedruk waarschijnlijk niet veranderen, waardoor zich in de toekomst meer populaties langduriger handhaven en grotere populaties ontwikkelen die ook meer propagulen afgeven in de vorm van plantenfragmenten. De kans dat *E. densa* zich in de toekomst meer en over grotere afstanden kan verspreiden neemt dan toe, temeer omdat de soort ook wel eens wordt geïntroduceerd in (stromende) wateren die in verbinding staan met andere wateren. Hierdoor zal het verspreidingsgebied van *E. densa* toenemen ten opzichte van de huidige situatie. De andere deskundigen zijn van mening dat door toekomstige veranderingen in het temperatuurregime van watersystemen waarschijnlijk niet veel gaat veranderen aan het dispersiepotentieel en de invasiviteit van de soort. Zij zijn er niet van overtuigd dat kleine toenames in de watertemperatuur zonder meer resulteren in een hogere biomassa-productie en groter dispersiepotentieel van *E. densa*, omdat hierbij ook talrijke andere (milieu)factoren een rol spelen waardoor de toekomstige ontwikkeling moeilijk is te voorspellen. Omdat geen volledige consensus van het deskundigenteam bestaat over de verwachtingen van potentiële gevolgen van klimaatverandering voor de dispersie en invasiviteit van soort is unaniem besloten om het voorzorgsbeginsel te hanteren bij de risicobeoordeling van deze sectie. Daarom is het dispersie potentieel en de invasiviteit van de soort in de toekomstige situatie geïnclassificeerd in de categorie hoog risico.

3.5.9 Kolonisatie van waardevolle en/of beschermde habitats in de toekomst

Classificatie: **matig risico**. De toename van de watertemperatuur in de toekomst werd niet geacht de kans op kolonisatie van waardevolle en/of beschermde habitats door *E. densa* aanzienlijk te vergroten. De toekomstige score voor deze sectie van het risicoprotocol blijft daarom een matig risico.

3.5.10 Negatieve effecten op inheemse soorten in de toekomst

Classificatie: **matig risico**. Toekomstige toenames in watertemperatuur zouden *E. densa* wel in staat kunnen stellen wat competitiever te worden gezien het feit dat zijn temperatuur

optimum relatief hoog ligt. Echter verwachten de experts niet dat *E. densa* in staat zal zijn dominant te worden. Deze verwachting vloeit voort uit de situatie in de rivier de Erft waar de watertemperatuur het gehele jaar niet onder de 10°C komt en waar *E. densa* toch niet in staat is dominant te worden. Het is waarschijnlijker dat andere uitheemse planten dominanter worden bij hogere watertemperaturen (zoals in de Erft), vandaar dat het team van experts overeen kwamen met een classificatie van een matig risico.

3.5.11 Wijzigen van ecosysteefuncties in de toekomst

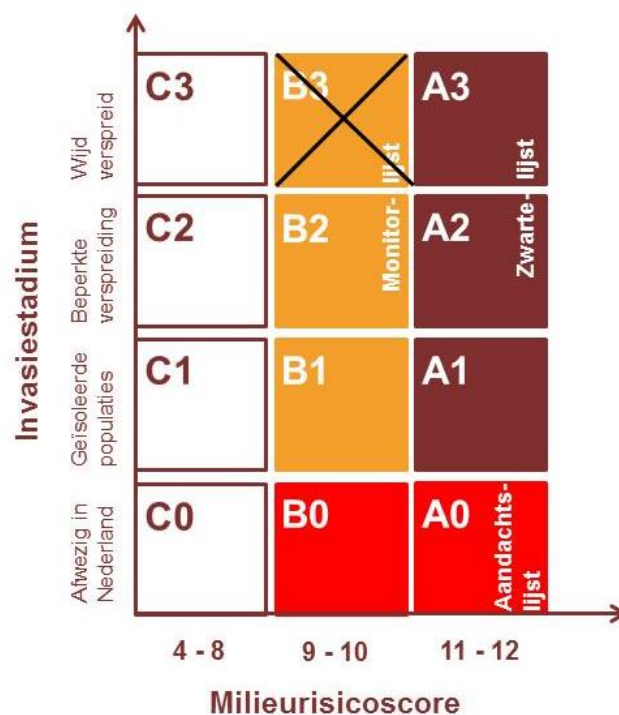
Classificatie: **matig risico**. Door de toename in de watertemperatuur in Nederland in de toekomst zou *E. densa* de winters beter kunnen overleven en zo hogere dichtheden bereiken. Hierdoor zou een continu effect kunnen ontstaan op het ecosysteem omdat *E. densa* dan meer in staat is om als ecosysteembouwer te functioneren. Uit het voorbeeld van de Erft blijkt echter dat het waarschijnlijk is dat *E. densa* door vegetatiesuccessie op lange termijn weer minder dominant wordt. De kans is groter dat andere uitheemse waterplanten het systeem gaan domineren waardoor de effecten van *E. densa* gering blijven en gemakkelijk omkeerbaar zijn. Het blijft lastig te voorspellen wat de plant in de toekomst zou gaan doen, vandaar dat ook de mogelijkheid van expert judgement hier toepasbaar is. Hierbij kan alleen een score van 1 (onwaarschijnlijk) of 2 (waarschijnlijk) toegekend worden. In dit geval werd het waarschijnlijk geacht dat de effecten van *E. densa* in de toekomst zouden toenemen. Andere experts die aanvankelijk een score van hoog risico (3) gaven, gebaseerd op het bovenstaande, werden overtuigd om het risico bij te stellen en zo werd een overeenkomst bereikt over een matig risico (2).

3.5.12 Soortclassificatie voor de toekomstige situatie

Hogere temperaturen in de toekomst kunnen resulteren in een betere overwintering en hogere biomassa-productie van *E. densa* in Nederland. Hierdoor kunnen zich mogelijk meer populaties langer handhaven, grotere populaties ontwikkelen en is de kans op verspreiding van fragmenten groter. In combinatie met ongewijzigde introductiedruk en een reële kans dat *E. densa* ook in wateren terechtkomt die in verbinding staan met andere wateren, wordt de kans dat *E. densa* zich permanent vestigt en wijd verspreid groter. Voor dergelijke omstandigheden is een risicoscore van 9 toegekend volgens het ISEIA-protocol (Tabel 3.4). De verspreiding in Nederland zal verder toenemen, waardoor *E. densa* voor het toekomstscenario als B3 wordt geclassificeerd volgens het BFIS-lijststelsel (Figuur 3.8). Deze classificatie houdt in dat het om een uitheemse soort gaat die wijd verspreid voorkomt en een matig ecologisch risico vormt.

Tabel 3.4: Risicoclassificatie van *Egeria densa* voor het toekomstscenario.

ISEIA secties	Risicoclassificatie	Consensus score
Dispersie potentieel of invasiviteit	Hoog risico	3
Kolonisatie van waardevolle en/of beschermde habitats	Matig risico	2
Negatieve effecten op inheemse soorten	Matig risico	2
Wijzigen van ecosysteefuncties	Matig risico	2
Milieurisico	B – lijst	9



Figuur 3.8: De classificatie van *Egeria densa* in de toekomstige situatie in Nederland volgens het BFIS-lijststelsel (Vanderhoeven & Branquart, 2010; Branquart, 2014).

3.6 Sociaal-economische effecten

Hoge dichtheden van *E. densa* verstoren de scheepvaart en belemmeren waterrecreatie, watersport en hengelsport (GB Non-native Species Secretariat, 2014). Ook kan de plant waterinlaten van landbouwirrigatiesystemen verstopen, een negatief effect hebben op commerciële visbestanden, de waterstroom belemmeren met als gevolg een verhoogd risico op overstromingen, sediment vasthouden, gemeentelijke waterinlaten verstopen, en lelijke vegetatiematten vormen die de waarde van onroerend goed doen dalen (State of Indiana, ongedateerd; Branquart, 2013; GB Non-native Species Secretariat, 2014). In het zuidoosten van Brazilië en in Nieuw-Zeeland zorgt *E. densa* voor financiële schade door onderbreking van de elektriciteitsproductie en schade aan rasters en apparatuur bij hydro-elektriciteitscentrales (Barreto *et al.*, 2000; Csurhes *et al.*, 2008).

Wanneer *E. densa* overlast veroorzaakt is beheer erg duur (State of Indiana, ongedateerd). De kosten voor verwijdering van *E. densa* uit meren en reservoirs in een aantal staten in de VS bedragen enkele miljoenen dollars per jaar (CABI, 2014). In Washington (VS) is van 1994 tot 2000 meer dan 15% (530.000 US dollar; 420.100 Euro, wisselkoers 1 oktober 2014) van het totale budget voor beheer van invasieve waterplanten gependend aan beheer van *E. densa* (Washington State Department of Ecology, 2014). In de Verenigde Staten zijn de kosten voor grootschalige beheerprojecten al opgelopen tot 3 miljoen US dollar (2,38 miljoen Euro, wisselkoers 1 oktober 2014) (Johnson *et al.*, 2006).

Kwantitatieve informatie over de kosten van bestrijding of andere sociaal-economische effecten van introductie van *E. densa* in Nederland ontbreekt. Doordat *E. densa* veel geïmporteerd en verkocht wordt in Nederland, kan een verkoopverbod van de soort stuiten op verzet van de verkoopsector (Verbrugge *et al.*, 2013). Een mogelijke oplossing is

vervangen van *E. densa* in de handel door alternatieve waterplanten (zie appendix 1: paragraaf 8.1).

3.7 Risico's voor de volksgezondheid

In Nederland zijn geen gevallen bekend van risico's voor de volksgezondheid door *E. densa*. Een verslag uit het buitenland suggereert echter dat dichte matten van *E. densa* mogelijk hebben bijgedragen aan het verdrinken van een dokter, die een zwemmer in nood probeerde te redden (Johnson *et al.*, 2006; Lansdown, 2011). Rapporten uit de VS en Australië stellen dat wateren met hoge dichtheden *E. densa* kunnen functioneren als broedgebieden voor muggen (GB Non-native Species Secretariat, 2014).

3.8 Risicomanagement opties

3.8.1 Preventie van introductie

Bestrijding van de introductie van invasieve plantensoorten bestaat uit een aantal fasen die in de juiste volgorde moeten worden toegepast. De eerste fase richt zich op het voorkomen van de verspreiding van de soort over internationale grenzen. De tweede fase omvat het voorkomen van introductie van planten in oppervlaktewateren. In de derde fase richt men zich op de preventie van (secundaire) verspreiding vanuit de gekoloniseerde locatie(s) via verbonden waterwegen of (over land) via vectoren. De belangrijkste route voor introductie van *E. densa* in Nederland en de verspreiding van de soort is de import en verkoop van planten voor aquaria en vijvers en het uitzetten of wegwerpen van overtollig plantenmateriaal in oppervlaktewateren door consumenten.

Bewustmaking van het publiek is belangrijk met betrekking tot de preventie van verspreiding en het succesvol beheer van een invasieve soort in een gebied. Dit geldt met name voor soorten zoals *E. densa*, waarbij de mens een belangrijke vector voor verspreiding is. In het Convenant waterplanten is *E. densa* ingedeeld als een lijst-2 soort. De plant mag alleen worden verkocht met waarschuwingslogo over zijn invasiviteit. Deze maatregel moet het uitzetten van uitheemse planten in oppervlaktewateren helpen stoppen. Uit onderzoek blijkt dat *E. densa* in veel tuincentra en speciaalzaken wordt verkocht zonder waarschuwingsetiket en consumenten nog relatief weinig van informatie over invasieve waterplanten worden voorzien (Verbrugge *et al.*, 2013; 2014). Het verdient daarom aanbeveling om te bevorderen dat de etikettering van de soort in de waterplantenhandel wordt gerealiseerd conform afspraken in het Convenant waterplanten. Ook kunnen informatiefolders, persberichten, waarschuwingsborden en websites met informatie over risico's van uitheemse (invasieve) planten bijdragen aan het creëren van bewustzijn en draagvlak voor (preventieve) maatregelen bij burgers (Caffrey & O'Callaghan, 2007; Verbrugge *et al.*, 2013).

Instructie en educatie van vrijwillige en professionele waarnemers, (sport)vissers en watersporters zal bijdragen aan vroegtijdige signalering van de soort op nieuwe locaties en meer informatie opleveren over de populatieontwikkelingen. Door het verschaffen van algemene informatie over verspreiding en gevolgen van invasieve exoten en instructies over het reinigen van boten en visgerei kan ook de kans op verspreiding van *E. densa* en andere invasieve soorten via deze vectoren worden verkleind. In Nederland is door Van Valkenburg

(2014) in het kader van het Convenant waterplanten een simpele foto-ondersteunde sleutel ontwikkeld voor de identificatie van een aantal invasieve waterplantensoorten. Het doel hiervan is het creëren van bewustzijn over en stimuleren van waarnemingen voor de monitoring van uitheemse waterplanten.

De vroegtijdige opsporing van uitheemse planten, voor ze zich op grote schaal verspreiden, zal bijdragen aan de efficiëntie van uitroeingsmaatregelen (European Commission, 2013). In het algemeen wordt echter weinig aandacht besteed aan ondergedoken waterplanten, zelfs door natuurbeschermers. Het is goed mogelijk dat verschillende preventieve methoden (zoals: harken, duiken en herhaalde waarnemingen) actief moeten worden toegepast om minder zichtbare en weinig voorkomende soorten op te sporen (Lafontaine *et al.*, 2013). Het beheer in de Verenigde Staten bijvoorbeeld, richt zich al meer en meer op een vroegtijdige opsporing en het instrueren van het publiek (Darrin, 2009).

3.8.2 Eliminatie

De afweging voor het verwijderen van waterplanten in een watersysteem moet zeer zorgvuldig worden gemaakt. Verwijdering van uitheemse waterplanten kan leiden tot de bloei van algen in plaats van de rekolonisatie van inheemse waterplanten (Perrow *et al.*, 1997; Donabaum *et al.*, 1999).

Uit de literatuurstudie bleek dat beheersmaatregelen waarschijnlijk niet erg effectief zijn in het verwijderen van *E. densa*. De standaard beheerstechnieken, zoals maaien, leiden vaak tot de verdere verspreiding van *E. densa* door fragmentatie. Wanneer de plant zich eenmaal gevestigd heeft is het moeilijk er vanaf te komen.

Door drooglegging of waterpeilverlaging kan *E. densa* verdwijnen, maar rapportages over de resultaten van deze maatregel zijn tegenstrijdig. De stengel- en bladweefsels zijn gevoelig voor verdroging en bevriezing wanneer zij minimaal 1 tot 5 uur aan de lucht zijn blootgesteld. Om ook de wortels te doden is langdurige drooglegging nodig (Hauenstein Barra, 2012; Darrin, 2009). Dugdale *et al.* (2012) tonen echter aan dat na 34 dagen van drooglegging 12% van de stengels en 32% van de kronen, die onderop de plantenmassa lagen, nog steeds levensvatbaar waren. Regeneratie vanuit deze plantendelen kan een belangrijke bron zijn voor hervestiging van *E. densa*. Meerdere droogleggingen of waterpeilverlagingen bij lage temperatuur blijken het meest effectief in het bestrijden van *E. densa* populaties (Goldsby & Sanders, 1977). Het droogleggen of waterpeil verlagen gedurende een langere periode is niet altijd mogelijk, vooral niet in grotere kanalen (Bowmer *et al.*, 1995). Ook doodt deze maatregel al het andere planten- en dierenleven en kan het de stroomafwaartse omstandigheden beïnvloeden. (Commonwealth of Massachusetts, 2002). Drooglegging kan daarom een effectieve maatregel zijn voor kleine gebieden met een lage ecologische waarde (bijvoorbeeld kunstmatige kanalen en reservoirs).

Complete verwijdering is wel mogelijk op kleine schaal door het voorzichtig verwijderen van de plant waarbij er geen fragmenten afbreken (Lansdown 2011; Millane & Caffrey, 2014). De gehele plant, inclusief wortels, kan voorzichtig worden verwijderd met een hark. Ook kunnen duikers ingezet worden om de planten handmatig te verwijderen. Deze methode is relatief eenvoudig en heeft een minimale impact op het milieu, maar is wel arbeidsintensief en daardoor alleen kosteneffectief voor kleine lokale standplaatsen. Tenslotte is eliminatie van

E. densa mogelijk door het bedekken van planten met een ondoorzichtig materiaal, zoals geotextiel. Een nadeel van deze methode is dat ook gewenste planten- en diersoorten in het afgedekte gebied doodgaan door de donkere en zuurstofloze omstandigheden.

3.8.3 Beheer

Het beperken van beheersmaatregelen lijkt de beste methode om de verspreiding van *E. densa* te verminderen. Uit historische data blijkt dat *E. densa* op veel standplaatsen in Nederland na een tot tien jaar weer is verdwenen (bijvoorbeeld na strenge winters).

Mechanische methoden die gericht zijn op het beheer van gevestigde plantenpopulaties, zoals mechanisch oogsten, kunnen resulteren in het afbreken van fragmenten en zo zorgen voor verdere verspreiding van de plant naar nieuwe gebieden (Bowmer *et al.*, 1995; Massachusetts Department of Conservation and Recreation, 2005; EPPO, 2007; Wilson *et al.*, 2007). Mechanische verwijdering zal alleen resulteren in beheer van populaties op korte tot middellange termijn en waarschijnlijk niet leiden tot complete uitroeiing (Millane & Caffrey, 2014). Indien het beheer van *E. densa* toch nodig is, moet de focus liggen op het voorkomen van het verspreiden van fragmenten. Maaimanden of maai-verzamelboten (Figuur 3.9) zijn waarschijnlijk de beste opties voor dit beheer, maar alleen als al het plantenmateriaal uit het water wordt verwijderd (bij voorkeur ook het wortelsysteem). Het kan noodzakelijk zijn opvangnetten van oever tot oever te spannen om drijvende plantenfragmenten op te vangen. Tenslotte moet er ook aandacht worden besteed aan het correct verwijderen van alle plantenresten van de maaimachines. Het verwijderde plantenmateriaal moet snel en volledig worden afgevoerd en gecomposteerd om te voorkomen dat planten of fragmenten weer in het oppervlaktewater terechtkomen.



Figuur 3.9: Een maai-verzamelboot die gebruikt wordt voor het beheer van aquatische waterplanten in Nederland (Foto: R. Pot).

Een verbod op schroef-aangedreven boten in wateren met *E. densa*, waarin beheersmaatregelen nodig zijn, beperkt de verspreiding van fragmenten. Deze maatregel is al toegepast in Loosdrecht in verband met de invasie van de uitheemse Waterwaaier (*Cabomba caroliniana* A. Gray) maar blijkt moeilijk handhaafbaar.

4. Discussie

4.1 Hiaten in kennis en onzekerheden

Vanwege gebrek aan informatie in de literatuur over de (mogelijke) gevolgen van *Egeria densa* voor biodiversiteit, ecosystemen en functies van watersystemen in Nederland is bij het beoordelen van het niveau van bepaalde effecten een beroep gedaan op de kennis en (anekdotische) veldobservaties van experts.

Toekomstige veranderingen in milieucondities, zoals toename van de temperatuur en helderheid van het water, kunnen resulteren in een toename van de verspreiding en het milieurisico van *E. densa* in Nederlandse wateren. Daarom wordt aanbevolen om de toekomstige verspreiding en invasiviteit van de soort te monitoren en de risico's periodiek te evalueren.

Het ISEIA-protocol is beperkt tot een beoordeling van de invasiviteit en de ecologische gevolgen. Sociaal-economische effecten of gevolgen voor de volksgezondheid worden niet meegewogen in de beoordeling van het milieurisico. Daarom zijn de sociaal-economische effecten en gevolgen voor de volksgezondheid apart beschouwd in deze risicorapportage, maar ook hierover is weinig kwantitatieve informatie beschikbaar.

4.2 Vergelijking van beschikbare risicoclassificaties

Risicoclassificaties voor dezelfde ecoregio

België en zuid Nederland zijn geclassificeerd als ecoregio 13 (paragraaf 3.2.3.; Figuur 3.4). Het feit dat beide landen behoren tot dezelfde ecoregio betekent dat de (voorspelde) gevolgen van *E. densa* in België ook relevant kunnen zijn voor Nederland. In België scoort de soort 12 op een schaal van 12 met gebruik van het ISEIA-protocol. Het Belgische Forum Invasieve Soorten (BFIS) classificeert *E. densa* als een A1 soort, ofwel een soort die voorkomt in geïsoleerde populaties en een hoog milieurisico heeft (Branquart *et al.*, 2013). Als gevolg hiervan is *E. densa* in België op de zwarte lijst van exotische soorten geplaatst. Deze soorten worden zeer schadelijk geacht voor de biodiversiteit en het functioneren van ecosystemen.

Risicoclassificaties voor overige ecoregio's

In Ierland is het ecologisch risico van *E. densa* beoordeeld als matig. Millane & Caffrey (2014) vermelden dat deze risicobeoordeling als redelijk betrouwbaar wordt beschouwd ('medium confidence level'), maar vooral is gebaseerd op de kennis over negatieve effecten van vergelijkbare uitheemse aquatische waterplanten in Ierland.

In Luxemburg scoort *E. densa* 11 op een schaal van 12 met behulp van het ISEIA-protocol en is geclassificeerd als A0. Dit betekent dat de soort daar nog niet in het wild is geïntroduceerd maar het potentiële milieugevaar van introductie is beoordeeld als hoog (Ries *et al.*, 2013).

In Zwitserland scoort *E. densa* 33 punten op een schaal van 39 (hoog risico) tijdens een trial met het Zwitserse risicobeoordelingsschema (Swiss risk assessment scheme) (Weber & Gut,

2004). In een beoordeling met het Aquatic Weed Risk Assessment Model (AWRAM) van soorten voor de quarantaine-, alert- en prioriteitenlijst van de European and Mediterranean Plant Protection Organization (EPPO) is *E. densa* beoordeeld als een 'verbod' soort. In deze beoordeling scoort de soort 64 punten op een schaal van 100 (Champion *et al.*, 2010). Soorten die bij deze beoordeling meer dan 50 punten scoren moeten worden beheerd door hun verkoop te verbieden of door wettelijke controle toe te passen.

In Australië is in 2008 een beoordeling uitgevoerd met behulp van het Australische aquatische plaagplant beoordelingsmodel (Australian Aquatic Weed Assessment model). Hiermee scoort *E. densa* 82 op een schaal van 130 punten voor het ecologisch risico en is het risico van de soort geclassificeerd als hoog (Csurhes *et al.*, 2008). Tenslotte is in de staat Tennessee (Verenigde Staten) een rangordeningsmethode gebruikt om met deskundigen de risico's van een aantal uitheemse plantensoorten te beoordelen. *E. densa* is ingedeeld in een groep van soorten met een gering risico (rangorde 3). Deze soorten verspreiden zich binnen of nabij verstoorde gebieden maar worden niet beschouwd als een bedreiging voor de inheemse plantengemeenschappen (Bowen *et al.*, 2002).

Vergelijking van risicoscores

De risicoscore van 8 op een schaal van 12 met behulp van het ISEIA-protocol voor *E. densa* in Nederland is laag vergeleken met de beoordelingen uit andere landen. Vooral het contrast met België is opvallend gezien het feit dat Nederland deels in dezelfde ecoregio ligt en dus vergelijkbare klimatologische omstandigheden heeft. De voornaamste reden voor het verschil in de scores van België en Nederland is dat de Belgische risicobeoordeling is gebaseerd op situaties uit het buitenland, zoals in de VS en Australië. Tijdens de voorliggende risicobeoordeling zijn deze situaties niet vergelijkbaar geacht met de milieuomstandigheden in Nederland. De overige landen met risicobeoordelingen liggen in andere ecoregio's, waardoor resultaten niet zonder meer vertaalbaar zijn naar de Nederlandse situatie.

4.3 Risicomanagement

Het verbieden van de verkoop van invasieve planten via plantenhandel en het creëren van bewustzijn van risico's onder hobbyisten en maatschappelijke actoren zijn de beste methoden te om de introductie en verspreiding van invasieve plantensoorten tegen te gaan. Volgens een evaluatie van een vrijwillige gedragscode in Noord-Amerika zorgen factoren zoals bewustzijn van de risico's van invasieve planten en de betrokkenheid bij brancheverenigingen voor een toename in deelname aan preventieve maatregelen (Burt *et al.*, 2007). In deze studie zijn ook prikkels (bijvoorbeeld zorg voor het milieu) en belemmeringen (bijvoorbeeld gebrek aan informatie) voor preventief gedrag van betrokkenen geïdentificeerd.

Ondanks classificatie van *E. densa* als een lijst-2 soort in het Convenant waterplanten is de informatievoorziening over de (potentiële) invasiviteit van de soort zeer beperkt. Geen van gevonden webwinkels in de Google.nl analyse refereert aan de milieurisico's en in winkels wordt de soort vaak niet correct geëtiketteerd volgens de afspraken in het convenant (zie paragraaf 3.1). Hoewel de huidige verspreiding en de invasiviteit van *E. densa* in Nederland beperkt is, moet de etikettering bij de verkoop van *E. densa* aanzienlijk verbeteren om verdere verspreiding van de soort in Nederland te voorkomen.

De verkoop van alternatieve waterplanten in plaats van *E. densa* kan overwogen worden. De volgende alternatieven worden voorgesteld voor het gebruik in koudwater-aquaria en vijvers: Brede waterpest (*Elodea canadensis*) en Smalle waterpest (*Elodea nuttallii*). Deze planten zijn gemakkelijk te houden en goedkoop te produceren. Beide soorten zijn weliswaar oorspronkelijk ook uitheems in Nederland, maar hebben zich al lange tijd geleden in Nederland gevestigd.

Wanneer *E. densa* zich eenmaal heeft gevestigd is uitroeiing of beheersing moeilijk. Onder de huidige klimatologische omstandigheden in Nederland is beperken van (maai)beheer de beste methode om verdere verspreiding van *E. densa* te voorkomen. Indien beheer van *E. densa* toch noodzakelijk is voor specifieke functies van watersystemen moet de focus liggen op de preventie van verspreiding van fragmenten. Volledige eliminatie is alleen mogelijk op kleine schaal. Geadviseerd wordt gebruik te maken van methoden die een lage kans op fragmentatie van de plant hebben. Voorbeelden zijn het afdekken van de planten met donker materiaal (zoals geotextiel) of het handmatig verwijderen van de plant door duikers. Bij maaien moet het gebied worden geïsoleerd met opvangnetten. De maaimachines moeten altijd zorgvuldig worden gereinigd.

5. Conclusies en aanbevelingen

Waarschijnlijkheid van binnenkomst

- De waarschijnlijkheid van binnenkomst van *E. densa* wordt bepaald door omvang van de handel in waterplanten. Nederland importeerde circa 5 miljoen eenheden waterplanten in 2006, waarvan bijna 1,7 miljoen eenheden *E. densa*. Dit komt overeen met circa 90% van de totale import van *E. densa* in tien onderzochte Europese landen.
- *E. densa* wordt in Nederland vooral via dierenspeciaalzaken en tuincentra verkocht als aquariumplant en in bundels van zogenaemde zuurstofplanten voor vijvers. Daarnaast wordt de soort ook via meerdere buitenlandse en Nederlandse internetwinkels te koop aangeboden op de Nederlandse markt.
- De soort wordt in 82% van de dierenspeciaalzaken en tuincentra verkocht zonder waarschuwingsetiket. Dit geldt vooral voor planten die in bundels van waterplanten worden aangeboden. Geen van de bezochte internetwinkels (n = 23) verschaft informatie over de (potentiële) risico's van *E. densa* of geschikte verwijderingsmethoden voor overtollig plantenmateriaal.
- De hoge importcijfers en het grote aanbod van *E. densa* op de Nederlandse markt via de (internet)handel in waterplanten, het feit dat 2-3% van de hobbyisten wel eens (overtollige) planten bewust uitzet of weggooit in oppervlaktewater en populaties van de soort vooral verspreid over het hele land in en nabij bebouwde omgeving zijn waargenomen, indiceren dat de handel in waterplanten en het uitzetten of in de natuur lozen van overtollig plantenmateriaal door mensen de belangrijkste route is voor de introductie en verspreiding van de soort in Nederland.
- De waarschijnlijkheid van binnenkomst in Nederland is beoordeeld als hoog omdat *E. densa* vrij verhandeld mag worden en verkochte planten vaak niet zijn voorzien van waarschuwingslogo's.

Waarschijnlijkheid van vestiging

- In de huidige situatie komt *E. densa* voornamelijk voor in geïsoleerde wateren, die vooral in en nabij de bebouwde omgeving liggen.
- De klimatologische omstandigheden van diverse ecoregio's in Duitsland, België en Frankrijk zijn vergelijkbaar met die van Nederland. In België en Frankrijk zijn permanente populaties van *E. densa* waargenomen in habitattypen die ook in Nederland voorkomen, hetgeen indiceert dat de soort zich ook in Nederland blijvend zou kunnen vestigen. In de Duitse rivier de Erft is dominantie van de vegetatie door *E. densa* waargenomen. Deze rivier is echter thermisch sterk verontreinigd en de hoge watertemperatuur in de winter is niet representatief voor de heersende milieuomstandigheden in Nederland.
- In veel km-hokken waarin de soort in het verleden is gemeld, zijn geen latere waarnemingen meer bekend, ondanks dat deze km-hokken recent redelijk tot goed zijn onderzocht. De soort wordt waarschijnlijk geëlimineerd door de lage watertemperatuur gedurende winterperioden.

- De waarschijnlijkheid van permanente vestiging in Nederland is daarom bij de huidige klimatologische omstandigheden beoordeeld als matig.

Waarschijnlijkheid van verspreiding

- In Nederland plant *E. densa* zich alleen vegetatief voort door middel van vertakking en het afbreken van fragmenten, die weer uitgroeien tot nieuwe planten.
- De verspreiding van *E. densa* in Nederland is beperkt en zeer waarschijnlijk het resultaat van herhaalde introducties door hobbyisten. Secundaire verspreiding van (fragmenten van) planten kan plaatsvinden via waterstroming (hydrochorie) en door diverse vectoren (bijvoorbeeld via boten, visgerei, kleding en diverse machines).
- De plant wordt echter vooral geïntroduceerd in geïsoleerde wateren en vestigt zich meestal niet permanent waardoor secundaire verspreiding beperkt is. De waarschijnlijkheid van verspreiding in Nederland is daarom als matig beoordeeld.

Risicovolle gebieden in Nederland

- De kans op introductie en kolonisatie door *E. densa* is het hoogst voor wateren in of nabij de bebouwde omgeving.
- In het verleden is *E. densa* incidenteel waargenomen in een Natura-2000 gebied. Recente waarnemingen van *E. densa* betreffen echter alleen oppervlaktewateren buiten Natura-2000 gebieden of andere waardevolle natuurgebieden.

Risicobeoordeling volgens het ISEIA protocol

- Dispersie potentieel of invasiviteit. Classificatie: **Matig risico**. *E. densa* plant zich in Nederland alleen vegetatief voort door middel van vertakking, fragmentatie en daaropvolgende wortelvorming. De plantenfragmenten kunnen over grote afstanden meegevoerd worden door de stroming (hydrochorie). Verspreiding kan ook plaatsvinden via menselijke vectoren (zoals boten en visgerei) en waterwild (bijvoorbeeld eenden). Indien onvoldoende voorzorgsmaatregelen getroffen worden kunnen beheersmaatregelen, zoals maaien, bijdragen aan onbedoelde verspreiding van fragmenten stroomafwaarts. In Nederland komt *E. densa* vooral voor in geïsoleerde wateren en heeft moeite de koude winters te overleven, waardoor populaties relatief snel weer uitsterven. De plant is voor zijn verspreiding daarom vooral afhankelijk van nieuwe introducties door de mens. Het dispersiepotentieel is daarom voor de Nederlandse situatie als matig beoordeeld.
- Kolonisatie van waardevolle en/of beschermde habitats. Classificatie: **Matig risico**. In het verleden kwam *E. densa* in 2 kilometerhokken voor die binnen de Natura-2000 gebieden 'Meijendel en Berkheide' en 'Roerdal' liggen. Voor deze gebieden zijn geen recente waarnemingen bekend. Recent is een drijvend fragment gevonden in de haven bij Nieuwkoop, net buiten het Natura-2000 gebied 'Nieuwkoopse Plassen & De Haeck'. Onbekend is of dit fragment afkomstig is van een *E. densa* populatie of door iemand in het water is gegooid. Het risico op kolonisatie van waardevolle en/of beschermde natuurgebieden is beoordeeld als matig omdat de soort zich voornamelijk vestigt in

wateren met lage natuurwaarden en in het verleden slechts incidenteel in gebieden van hoge natuurwaarde is waargenomen.

- Negatieve effecten op inheemse soorten. Classificatie: **Matig risico**. Er was geen bewijs voor negatieve effecten van *E. densa* op inheemse soorten in Nederland. Nederland deelt een ecoregio met Duitsland waar *E. densa* in de rivier de Erft inheemse soorten heeft verdrongen. Deze situatie is niet vergelijkbaar met de omstandigheden in Nederland omdat deze rivier thermisch sterk is verontreinigd. De temperatuur komt gedurende het hele jaar niet onder de 10°C. Het risico van negatieve effecten in Nederland werd beoordeeld als matig. Hoge dichtheden van *E. densa* worden in Nederland vaak alleen waargenomen na opschoonactiviteiten in wateren, wanneer *E. densa* weinig concurrentie ondervindt van andere soorten. Het is echter zeer waarschijnlijk dat *E. densa* later weer verdrongen wordt door inheemse soorten of invasieve exoten. Bovendien worden eventuele effecten bij hoge dichtheid makkelijk omkeerbaar geacht.
- Wijzigen van ecosysteemfuncties. Classificatie: **Matig risico**. In hoge dichtheden, kan *E. densa* de lichtbeschikbaarheid in het water verminderen, het zuurstofgehalte van het water verminderen, de watertemperatuur laten stijgen, nutriëntencycli aanpassen en de morfologie en hydrologie van rivieren en meren aanpassen door de waterbeweging te beperken en sediment vast te houden. In Nederland komt *E. densa* alleen nauwelijks in hoge dichtheden voor het onwaarschijnlijk is dat de bovengenoemde effecten zich voordoen. In Hoogeveen is wel een relatief hoge dichtheid van *E. densa* aanwezig waardoor hier enige effecten worden verwacht. Deze effecten zijn waarschijnlijk tijdelijk en reversibel. Het risico op het wijzigen van ecosysteemfuncties wordt daarom beoordeeld als matig.

Risicoclassificatie volgens het BFIS systeem

- De huidige verspreiding van *E. densa* in Nederland wordt gekenmerkt door geïsoleerde populaties.
- Met behulp van het ISEIA-protocol is *E. densa* beoordeeld als een soort met een laag ecologisch risico. Gecombineerd met zijn huidige verspreiding resulteert dit in een risicoclassificatie C1 volgens het BFIS-lijststelsel.
- Bij ongewijzigde handel in *E. densa* en uitblijven van verbeteringen in de etikettering en de informatievoorziening over potentiële risico's zal het aantal introducties van de soort in oppervlaktewateren gelijk blijven. Bij gelijkblijvende introductiedruk gecombineerd met mildere winters en stijgende watertemperatuur in de toekomst zal de kans op permanente vestiging en secundaire verspreiding van *E. densa* toenemen. Voor de toekomstige situatie is de risicoclassificatie B3; de soort vormt dan een matig milieurisico en is wijd verspreid aanwezig in Nederland.

Sociaal-economische effecten en risico's voor volksgezondheid

- Kwantitatieve informatie over (additionele) kosten van waterbeheerders voor bestrijding of andere sociaal-economische effecten van de introductie van *E. densa* ontbreekt. Toename van de verspreiding en dominantie van de soort zal ongewenste effecten

hebben voor de waterhuishouding en waterrecreatie. De soort is één van de meest geïmporteerde waterplanten in Nederland. Verwacht wordt dat vervanging van de soort door andere waterplanten beperkte gevolgen heeft voor de handel omdat goede alternatieven beschikbaar zijn.

- In de wetenschappelijke literatuur is weinig informatie gevonden over eventuele gevolgen van *E. densa* voor de volksgezondheid. Wel wordt gesuggereerd dat één verdrinkingsgeval is gerelateerd aan de aanwezigheid van dichte vegetatie van deze soort. Voorts wordt in Australië en de Verenigde Staten verwacht dat dichte vegetaties van *E. densa* gaan functioneren als broedplaatsen van steekmuggen.

Aanbevelingen

- Het verbeteren van de informatieverstrekking over invasieve exoten bij de verkoop van uitheemse waterplanten zoals *E. densa* is nodig om mensen bewust te maken van de mogelijke gevaren van het uitzetten van uitheemse waterplanten in het oppervlaktewater. Door een brede groep actoren (zoals vissers, bootbezitters, aquariumhouders en vijverbezitters) bewust te maken van zowel de verspreidingsroutes en gevaren van invasieve soorten in het algemeen als de methoden om overtollige waterplanten milieuvriendelijk te verwijderen kan de kans op introductie en secundaire verspreiding van *E. densa* worden verkleind.
- Het beperken van standaard vegetatiebeheer is de beste methode om verdere verspreiding te voorkomen. Beheertechnieken zoals maaien zorgen vaak juist voor verdere verspreiding van *E. densa* door middel van verspreiding van vegetatieve fragmenten.
- Indien beheer toch nodig is dan moet extra aandacht besteed worden aan de complete verwijdering van het plantenmateriaal (liefst inclusief wortelsysteem) uit het water. Het gebruik van opvangnetten wordt aanbevolen om het gebied te isoleren en eventuele drijvende plantenfragmenten op te vangen.
- Wanneer beheer op kleine schaal nodig is worden methoden aanbevolen die de plant intact houden. Voorbeelden zijn het handmatig verwijderen van de plant door duikers of het afdekken van de planten met ondoorzichtig materiaal zoals geotextiel.
- Mogelijke alternatieven voor de verkoop van *E. densa* zijn Brede waterpest (*Elodea canadensis*) en Smalle waterpest (*Elodea nuttallii*). Deze soorten zijn weliswaar uitheems in Nederland maar hebben zich al lange tijd geleden in Nederland gevestigd en worden beschouwd als ingeburgerd. Beide plantensoorten zijn bovendien gemakkelijk te houden en goedkoop te produceren.

6. Dankbetuigingen

Onze dank gaat uit naar de Nederlandse Voedsel- en Warenautoriteit (Team Invasieve Exoten) van het Nederlandse Ministerie van Economische Zaken voor financiering van deze risicoanalyse (ordernummer: 60001296 d.d. 23 Juni 2013). Wij bedanken Mw. Ir. J. Leferink van het Team Invasieve Exoten voor waardevolle inbreng tijdens de workshop voor de risicobeoordeling en suggesties voor verbetering van de rapportage. Tenslotte bedanken wij alle vrijwilligers voor het verzamelen van veldgegevens en aanleveren informatie voor databases van FLORON en andere organisaties.

7. Referenties

- Barko, J.W. & Smart, R.M. (1981). Comparative influences of light and temperature on the growth and metabolism of selected submersed fresh-water macrophytes. *Ecological Monographs*, 51, 219-235. doi: Doi 10.2307/2937264
- Barnes, M.A., Jerde, C.L., Keller, D., Chadderton, W. L., Howeth, J.G. & Lodge, D.M. (2013). Viability of aquatic plant fragments following desiccation. *Invasive Plant Science and Management*, 6, 320-325.
- Barreto, R., Charudattan, R., Pomella, A. & Hanada, R. (2000). Biological control of neotropical aquatic weeds with fungi. *Crop Protection*, 19, 697-703.
- Bini, L.M. & Thomaz, S.M. (2005). Prediction of *Egeria najas* and *Egeria densa* occurrence in a large subtropical reservoir (Itaipu Reservoir, Brazil-Paraguay). *Aquatic Botany*, 83, 227-238.
- Bini, L.M., Thomaz, S.M., Murphy, K.J. & Camargo, A. F. M. (1999). Aquatic macrophyte distribution in relation to water and sediment conditions in the Itaipu Reservoir, Brazil. *Hydrobiologia*, 415, 147-154. doi: Doi 10.1023/A:1003856629837
- Bowen, B., Johnson, K., Franklin, S., Call, G. & Webber, M. (2002). Invasive aquatic plant pests in Tennessee. *Journal of the Tennessee Academy of Science*, 77, 45-48.
- Bowmer, K.H., Jacobs, S.W.L. & Sainty, G. R. (1995). Identification, biology and management of *Elodea canadensis*, Hydrocharitaceae. *Journal of Aquatic Plant Management*, 33, 13-19.
- Branquart, E., (ed.) (2007). *Guidelines for environmental impact assessment and list classification of non-native organisms in Belgium*. Belgian Biodiversity Platform, Belgium.
- Branquart, E. (ed.) (2014). Alert, black and watch lists of invasive species in Belgium. Harmonia version 1.2, Belgian Forum on Invasive species. <http://ias.biodiversity.be/definitions#list>. Last accessed 09-10-2014.
- Branquart, E., Stiers, I., Triest, L., Vanderhoeven, S., Van Landuyt, W., Van Rossum, F. & Verloove, F. (2013). *Egeria densa* - Brazilian waterweed. <http://ias.biodiversity.be/species/show/54>. Last accessed 01-08-2014.
- Brunel, S. (2009). Pathway analysis: aquatic plants imported in 10 EPPO countries. *OEPP/EPPO Bulletin*, 39, 201-213.
- Brochet, A., Guillemain, M., Fritz, H., Gauthier-Clerc, M. & Green, A.J. (2009). The role of migratory ducks in the long-distance dispersal of native plants and the spread of exotic plants in Europe. *Ecography*, 32, 919-928.
- Burt, J.W., Muir, A.A., Piovita-Scott, J., Veblen, K.E., Chang, A.L., Grossman, J.D. & Weiskel, H.W. (2007). Preventing horticultural introductions of invasive plants: potential efficacy of voluntary initiatives. *Biological Invasions*, 9, 909-923.
- CABI (2014). Invasive Species Compendium: *Egeria densa*. <http://www.cabi.org/isc/datasheet/20491>. Last accessed 24-07-2014.
- Caffrey, J.M., & O'Callaghan, D. (2007). *A Guide to the Identification of Aquatic Invasive Species in Ireland*. Central Fisheries Board, Swords, Dublin.
- Carrillo, Y., Guarín, A. & Guillot, G. (2006). Biomass distribution, growth and decay of *Egeria densa* in a tropical high-mountain reservoir (NEUSA, Colombia). *Aquatic Botany*, 85, 7-15.
- Champion, P.D., & Clayton, J.S. (2000). *Border control for potential aquatic weeds. Stage 1. Weed risk model. Science for conservation 141*. Department of Conservation, Wellington, New Zealand.
- Champion, P.D., & Clayton, J.S. & Hofstra, D.E. (2010). Nipping aquatic plant invasions in the bud: weed risk assessment and the trade. *Hydrobiologia*, 656, 167-172.
- Champion, P.D. & Tanner, C.C. (2000). Seasonality of macrophytes and interaction with flow in a New Zealand lowland stream. *Hydrobiologia*, 441, 1-12.
- Common Wealth of Massachusetts (2002). *Curly waterweed: an invasive aquatic plant. Lagarosiphon major*. Department of Conservation and Recreation, Office of Water Resources, Lakes and Ponds Program, USA. http://www.mass.gov/dcr/watersupply/lakepond/factsheet/Brazilian_waterweed.pdf. Last accessed 24-07-2014.
- Compton, T.J., De Winton, M., Leathwick, J.R. & Wadhwa, S. (2012). Predicting spread of invasive macrophytes in New Zealand lakes using indirect measures of human accessibility. *Freshwater Biology*, 57, 938-948.
- Cook, C.D.K. & Urmi-König, K. (1984). A Revision of the Genus *Ottelia* (Hydrocharitaceae). 2 The species of Eurasia, Australasia and America. *Aquatic Botany*, 20, 131-177. doi: Doi 10.1016/0304-3770(84)90033-0
- Csurhes, S., Hannan-Jones, M. & Dimmock, A. (2008). Pest plant risk assessment. Dense waterweed

- Egeria densa*. Biosecurity Queensland, Department of Primary Industries and Fisheries, Queensland, Australia.
- Curt, M.D., Curt, G., Aguado, P.L. & Fernandez, J. (2010). Proposal for the biological control of *Egeria densa* in small reservoirs: a Spanish case study. *Journal of Aquatic Plant Management*, 48, 124-127.
- Dadds, N. & Bell, S. (ongedateerd). *Invasive non-native plants associated with fresh waters: A guide to their identification*. Species action framework. <http://www.snh.org.uk/pdfs/species/B236924.pdf>. Last accessed 01-08-2014.
- Darrin, H. (2009). *Invasive Species of the Pacific Northwest: Brazilian Elodea, Egeria densa, Anacharis, Philotria densa, Giant Elodea, Brazilian waterweed*. Washington State Department of Ecology: Aquatic Weeds, United States of America.
- De Freitas, A. & Magela Thomaz, S. (2011). Inorganic carbon shortage may limit the development of submersed macrophytes in habitats of the Paraná River basin. *Acta Limnologica Brasiliensia*, 23, 57-62.
- Denys, L., Packet, J. & Van Landuyt, W. (2004). Neofyten in het Vlaamse water: signalement van vaste waarden en rijzende sterren. *Natuur.focus* 3, 120-128.
- De Winton, M.D., Champion, P.D., Clayton, J.S. & Wells, R.D.S. (2009). Spread and status of seven submerged pest plants in New Zealand lakes. *New Zealand Journal of Marine and Freshwater Research*, 43, 547-561.
- De Winton, M.D. & Clayton, J.S. (1996). The impact of invasive submerged weed species on seed banks in lake sediments. *Aquatic Botany*, 53(1-2), 31-45.
- Diekjobst, H. & Wolff, P. (1995). Das Mexikanische Eichenblatt (*Shinnersia rivularis*) und andere aquatische Neophyten in der unteren Erft. *Natur am Niederrhein*, 10, 41-48.
- DiTomaso J.M. & Healy, E.A. (2003). *Aquatic and riparian weeds of the west*. Division of Agriculture and Natural Resources. University of California, Publication 3421, United States of America, pp. 96-105.
- DiTomaso, J.M. & Kyser, G.B. (2013). *Weed control in natural areas in the Western United States*. Weed Research and Information Center, University of California, United States of America.
- Donabaum, K., Schagerl, M. & Dokulil, M.T. (1999). Integrated management to restore macrophyte domination. *Hydrobiologia*, 395, 87-97.
- Dugdale, T.M., Clements, D., Hunt, T.D. & Butler, K.L. (2012). Survival of a submerged aquatic weed (*Egeria densa*) during lake drawdown within mounds of stranded vegetation. *Lake and Reservoir Management*, 28, 153-157.
- EPPO, European and Mediterranean Plant Protection Organization, (2007). *Data sheets on invasive alien plants: Lagarosiphon major*. http://www.eppo.int/INVASIVE_PLANTS/ias_lists.htm. Last accessed 29-06-2014.
- European Commission (2013). *Proposal for a regulation of the European parliament and of the council on the prevention and management of the introduction and spread of invasive alien species*. European Commission, Belgium.
- European Union (2000). *Directive 2000/60/EC*. <http://eur-lex.europa.eu/LexUriServ/LexUriServ.do?uri=CELEX:32000L0060:EN:NOT>. Last accessed 29-06-2014.
- Feijoo, C., Garcia, M., Momo, F. & Toja, J. (2002). Nutrient absorption by the submerged macrophyte *Egeria densa* Planch.: effect of ammonium and phosphorus availability in the water column on growth and nutrient uptake. *Limnetica*, 21, 93-104.
- Floristenclub Gelderse Vallei (1978). Enkele floristische waarnemingen in Midden-Nederland. *Gorteria*, 9, 28-32.
- Friedrich, G. (1973). Ökologische Untersuchungen an einem thermisch anomalen Fließgewässer (Erft/Niederrhein). *Schriftenreihe der Landesanstalt für Gewässerkunde und Gewässerschutz des Landes Nordrhein-Westfalen*, No. 33, pp. 126.
- GB non-native species secretariat, (2014). Large-Flowered Waterweed, *Egeria densa*. <http://www.nonnativespecies.org/factsheet/factsheet.cfm?speciesId=1290>. Last accessed 01-08-2014.
- Getsinger, K.D. & Dillon, C.R. (1984). Quiescence, growth and senescence of *Egeria densa* in lake Marion. *Aquatic Botany*, 20, 329-338.
- Goldsby, T.L. & Sanders, D. (1977). Effects of consecutive water fluctuations on the submersed vegetation of Black Lake, Louisiana. *Journal of Aquatic Plant Management*, 15, 23-28.
- Haga, H., Ohtsuka, T., Matsuda, M. & Ashiya, M. (2006). Spatial distributions of biomass and species composition in submerged macrophytes in the southern basin of Lake Biwa in summer of 2002. *Japanese Journal of Limnology*, 67, 69-79.

- Haramoto, T. & Ikusima, I. (1988). Life-cycle of *Egeria densa* Planch, an aquatic plant naturalized in Japan. *Aquatic Botany*, 30, 389-403.
- Hauenstein Barra, E. (2012). Antecedentes sobre *Egeria densa* (Luchecillo), Hidrófita importante en la alimentación del cisne de cuello negro. *Gestión Ambiental* 10, 89-95.
- Hauenstein, E. & Ramirez, C. (1986). The influence of salinity on the distribution of *Egeria densa* in the Valdivia river basin, Chile. *Archiv für Hydrobiologie*, 107, 511-519.
- Hofstra, D.E., Clayton, J., Green, J. D. & Auger, M. (1999). Competitive performance of *Hydrilla verticillata* in New Zealand. *Aquatic Botany*, 63, 305-324.
- Hussner, A. (2014). Long-term macrophyte mapping documents a continuously shift from native to non-native aquatic plant dominance in the thermally abnormal River Erft (North Rhine-Westphalia, Germany). *Limnologica*, 48, 39-45.
- Hussner, A., & Losch, R. (2005). Alien aquatic plants in a thermally abnormal river and their assembly to neophyte-dominated macrophyte stands (River Erft, Northrhine-Westphalia). *Limnologica*, 35, 18-30.
- Hussner, A., Hoelken, H.P. & Jahns, P. (2010). Low light acclimated submerged freshwater plants show a pronounced sensitivity to increasing irradiances. *Aquatic Botany*, 93, 17-24.
- ISEIA (2009). *Guidelines for environmental impact assessment and list classification of non-native organisms in Belgium*. Version 2.6. http://ias.biodiversity.be/documents/ISEIA_protocol.pdf, last accessed 11-06-2013.
- Johnson, D., Carlock, M., & Artz, T. (2006). *Egeria densa control program second addendum to 2001 environmental impact report with five year program review and future operations plan*. The state of California Department of boating and waterways, United States of America.
- Jones, C., Lawton, J. & Shachak, M. (1994). Organisms as ecosystem engineers. *Oikos*, 69, 373-386.
- Kay, S.H. & Hoyle, S.T. (2001). Mail order, the Internet, and invasive aquatic weeds. *Journal of Aquatic Plant Management*, 39, 88-91.
- Kelly, R., Leach, K., Cameron, A., Maggs, C. A. & Reid, N. (2014). Combining global climate and regional landscape models to improve prediction of invasion risk. *Diversity and Distributions*, 20, 884-894.
- Kottek, M., Grieser, J., Beck, C., Rudolf, B. & Rubel, F. (2006). World map of the Köppen-Geiger climate classification updated. *Meteorologische Zeitschrift*, 15, 259-263.
- Lafontaine, R.M., Beudels-Jamar, R.C., Robert, R. & Delsinne, T. (2013). Risk analysis of the Brazilian Waterweed, *Egeria densa* Planch. Sciences for the Federal Public Service Health, Food chain safety and Environment, Belgium, pp. 36.
- Lansdown, R. (2011). *Egeria densa*. GB Non-natives Factsheet Editor. Biological Records Centre, Centre for Ecology and Hydrology. http://www.brc.ac.uk/gbnn_admin/index.php?q=node/169. Last accessed 18-07-2014.
- Lara, M.V., Casati, P. & Andreo, C.S. (2002). CO₂-concentrating mechanisms in *Egeria densa*, a submersed aquatic plant. *Physiologia Plantarum*, 115, 487-495.
- Leslie, A. (1992). *Copper herbicide use-patterns in Florida waters*. Florida Department of Natural Resources. Tallahassee, Florida, USA, pp. 9.
- Marin, V.H., Delgado, L.E., Vila, I., Tironi, A., Barrera, V. & Ibanez, C. (2014). Regime shifts of Cruces River wetland ecosystem: current conditions, future uncertainties. *Latin American Journal of Aquatic Research*, 42, 160-171.
- Massachusetts Department of Conservation and Recreation, (2005). *Rapid response plan for curly waterweed (Lagarosiphon major) in Massachusetts*. ENSR International, Massachusetts, USA.
- Matsui, A. (2014). Relationship between distribution and bottom sediment of submerged macrophytes in the Seta River, Shiga Prefecture, Japan. *Landscape and Ecological Engineering*, 10, 109-113.
- Matthews, J., Koopman, K.R., Beringen, R., Odé, B., Pot, R., Van der Velde, G., Van Valkenburg, J.L.C.H. & Leuven, R.S.E.W. (2014) Knowledge document for risk analysis of the non-native Brazilian waterweed (*Egeria densa*) in the Netherlands. Reports Environmental Science nr. 468. Radboud University Nijmegen, Institute for Water and Wetland Research Department of Environmental Sciences, FLORON & Roelf Pot Research and Consultancy. 62 p.
- Mazzeo, N., Rodriguez-Gallego, L., Kruk, C., Meerhoff, M., Gorga, J., Lacerot, G. & Garcia-Rodriguez, F. (2003). Effects of *Egeria densa* Planch. beds on a shallow lake without piscivorous fish. *Hydrobiologia*, 506, 591-602.
- Meacham, P. (2001). *Washington State aquatic nuisance species management plan*. The Washington aquatic nuisance species coordinating committee. Washington State Department of Fish and Wildlife, Washington, USA.

- Mennema, J. & Van Ooststroom, S. J. (1977). Nieuwe vondsten van zeldzame planten in Nederland, hoofdzakelijk in 1976. *Gorteria*, 8, 219-240.
- Millane, M. & Caffrey, J. (2014). *Risk Assessment of Egeria densa*. Inland Fisheries Ireland and the National Biodiversity Data Centre, Ireland.
- Mony, C., Koschnick, T.J., Haller, W.T. & Muller, S. (2007). Competition between two invasive Hydrocharitaceae (*Hydrilla verticillata* (L.f.) (Royle) and *Egeria densa* (Planch)) as influenced by sediment fertility and season. *Aquatic Botany*, 86, 236-242.
- Pennington, T.G., & Sytsma, M.D. (2009). Seasonal changes in carbohydrate and nitrogen concentrations in Oregon and California populations of Brazilian egeria (*Egeria densa*). *Invasive Plant Science and Management*, 2, 120-129.
- Perrow, M.R., Meijer, M.L., Dawidowicz, P. & Coops, H. (1997). Biomanipulation in the shallow lakes: State of the art. *Hydrobiologia*, 342, 355-365.
- Pierini, S.A. & Thomaz, S. M. (2004). Effects of inorganic carbon source on photosynthetic rates of *Egeria najas* Planchon and *Egeria densa* Planchon (Hydrocharitaceae). *Aquatic Botany*, 78, 135-146.
- Poirrier, M.A., Burt-Utley, K., Utley, J.F. & Spalding, E.A. (2010). Submersed aquatic vegetation of the Jean Lafitte National Historical Park and Preserve. *Southeastern Naturalist*, 9, 477-486.
- Randall, J.M. & Marinelli, J. (1996). *Invasive plants: weeds of the global garden*. Brooklyn Botanic Garden, Brooklyn, New York, United States of America.
- Rascio, N., Mariani, P., Tommasini, E., Bodner, M. & Larcher, W. (1991). Photosynthetic strategies in leaves and stems of *Egeria densa*. *Planta*, 185, 297-303.
- Ries, C., Krippel, Y., Pfeiffenschneider, M. & Schneider, S. (2013). Environmental impact assessment and black, watch and alert list classification after the ISEIA Protocol of non-native vascular plant species in Luxembourg. *Bulletin Mensuel. Société des Naturalistes Luxembourg*, 114, 15-21.
- Riis, T., Olesen, B., Clayton, J. S., Lambertini, C., Brix, H. & Sorrell, B. K. (2012). Growth and morphology in relation to temperature and light availability during the establishment of three invasive aquatic plant species. *Aquatic Botany*, 102, 56-64.
- Roberts, D., Church, A., & Cummins, S. (1999). Invasion of *Egeria* into the Hawkesbury-Nepean River, Australia. *Journal of Aquatic Plant Management*, 37, 31-34.
- Rodrigues, R.B. & Thomaz, S. M. (2010). Photosynthetic and growth responses of *Egeria densa* to photosynthetic active radiation. *Aquatic Botany*, 92, 281-284.
- Rubel, F. & Kotteck, M. (2010). Observed and projected climate shifts 1901-2100 depicted by world maps of the Köppen-Geiger climate classification. *Meteorologische Zeitschrift*, 19, 135-141.
- Schallenberg, M. & Sorrell, B. (2009). Regime shifts between clear and turbid water in New Zealand lakes: environmental correlates and implications for management and restoration. *New Zealand Journal of Marine and Freshwater Research*, 43, 701-712.
- State of Indiana (ongedateerd). Aquatic Invasive Species: Brazilian Elodea. http://www.in.gov/dnr/files/BRAZILIAN_ELODEA.pdf. Last accessed 01-08-2014
- Su, S.Q., Zhou, Y.M., Qin, J.G., Wang, W., Yao, W.Z. & Song, L. (2012). Physiological responses of *Egeria densa* to high ammonium concentration and nitrogen deficiency. *Chemosphere*, 86, 538-545.
- Takahashi, K. & Asaeda, T. (2014). The effect of spring water on the growth of a submerged macrophyte *Egeria densa*. *Landscape and Ecological Engineering*, 10, 99-107.
- Tanner, C.C., Clayton, J.S. & Coffey, B.T. (1990). Submerged-vegetation changes in Lake Rotoroa (Hamilton, New-Zealand) related to herbicide treatment and invasion by *Egeria densa*. *New Zealand Journal of Marine and Freshwater Research*, 24, 45-57.
- Tanner, C.C., Clayton, J.S. & Wells, R.D.S. (1993). Effects of suspended-solids on the establishment and growth of *Egeria densa*. *Aquatic Botany*, 45, 299-310.
- Q-bank Invasive Plants (2014). <http://www.q-bank.eu/Plants/>. Last accessed 16-07-2014.
- Vanderhoeven, S. & Branquart, E. (2010). Het Harmonia Informatiesysteem en het ISEIA Protocol Verklarend document voor het Life + Project AlterIAS. Belgisch Biodiversiteits Platform. http://www.agripres.nl/STUDIOEMMA_UPLOADS/downloads/Harmonia_ISEIA_NL.pdf. Last accessed 09-10-2014.
- Van Ooststroom, S.J., Reichgelt, T.J., Van der Veen, R., De Jongh, S.E., Stafleu, F.A. & Westhoff, V. (eds), (1964). Flora Neerlandica, Flora van Nederland, Deel I, aflevering 6, 1. Alismataceae - 15. Typhaceae. Amsterdam, Koninklijke Nederlandse Botanische Vereniging. pp. 27-28.
- Van Valkenburg, J.L.C.H. (ed), (2014). *Invasieve waterplanten in Nederland, 2^{de} Editie*. nVWA, Wageningen; Bureau Waardenburg, Culemborg; Communicatiebureau de Lynx, Wageningen, the Netherlands.

- Verbrugge, L.N.H., Leuven, R.S.E.W., Van Valkenburg, J.L.C.H. & Van den Born, R.J.G. (2014). Evaluating stakeholder awareness and involvement in risk prevention of aquatic invasive plant species by a national code of conduct. *Aquatic Invasions*, 9, 369-381.
- Verbrugge, L.N.H., Van den Born, R.J.G. & Leuven, R.S.E.W. (2013). *Evaluatie convenant waterplanten 2010-2013*. Radboud University, Nijmegen, the Netherlands.
- Walsh, G.C., Dalto, Y.M., Mattioli, F.M. Carruthers, R.I. & Anderson, L.W. (2013). Biology and ecology of Brazilian elodea (*Egeria densa*) and its specific herbivore, *Hydrellia* sp., in Argentina. *Biocontrol*, 58, 133-147.
- Washington State Department of Ecology (2014). Technical information about Brazilian elodea (*Egeria densa*). <http://www.ecy.wa.gov/Programs/wq/plants/weeds/aqua002.html>. Last accessed 24-07-2014.
- Webber, E. & Gut, D. (2004). Assessing the risk of potentially invasive plant species in central Europe. *Journal for Nature Conservation*, 12, 171-179.
- Wells, R.D.S., De Winton, M.D. & Clayton, J.S. (1997). Successive macrophyte invasions within the submerged flora of Lake Tarawera, Central North Island, New Zealand. *New Zealand Journal of Marine and Freshwater Research*, 31, 449-459.
- Westerdahl, H.E. & Getsinger, K.D., (eds) (1988). *Aquatic plant identification and herbicide use guide, volume II: Aquatic plants and susceptibility to herbicides*. Technical report A-88-9, Department of the Army, Waterways Experiment Station, Corps of Engineers, United States of America.
- Wilson, C.E., Darbyshire, S.J. & Jones, R. (2007). The biology of invasive alien plants in Canada. 7. *Cabomba caroliniana* A. Gray. *Canadian Journal of Plant Science*, 87, 615-638.
- Yarrow, M., Marin, V.H., Finlayson, M., Tironi, A., Delgado, L.E. & Fischer, F. (2009). The ecology of *Egeria densa* Planchon (Liliopsida: Alismatales): A wetland ecosystem engineer? *Revista Chilena De Historia Natural*, 82, 299-313.

Appendix 1. Kennisdocument van *Egeria densa*

Knowledge document for risk analysis of the non-native Brazilian waterweed (*Egeria densa*) in the Netherlands



Knowledge document for risk analysis of the non-native Brazilian waterweed (*Egeria densa*) in the Netherlands

J. Matthews, K.R. Koopman, R. Beringen, B. Odé, R. Pot,
G. van der Velde, J.L.C.H. van Valkenburg & R.S.E.W. Leuven

16 October 2014

Radboud University Nijmegen,
Institute for Water and Wetland Research
FLORON & Roelf Pot Research and Consultancy

Commissioned by
Office for Risk Assessment and Research
(Invasive Alien Species Team)
Netherlands Food and Consumer Product Safety Authority
Ministry of Economic Affairs



Series of Reports on Environmental Science

The series of reports on Environmental Science are edited and published by the Department of Environmental Science, Institute for Water and Wetland Research, Radboud University Nijmegen, Heyendaalseweg 135, 6525 AJ Nijmegen, The Netherlands (tel. secretariat: + 31 (0)24 365 32 81).

Reports Environmental Science 468

- Title: Knowledge document for risk analysis of the non-native Brazilian waterweed (*Egeria densa*) in the Netherlands
- Authors: J. Matthews, K.R. Koopman, R. Beringen, B. Odé, R. Pot, G. van der Velde, J.L.C.H. van Valkenburg & R.S.E.W. Leuven
- Cover photo: Brazilian waterweed (*Egeria densa*) at Hoogeveen, the Netherlands (Photo: J. van Valkenburg).
- Project manager: Dr. R.S.E.W. Leuven, Department of Environmental Science, Institute for Water and Wetland Research, Radboud University Nijmegen, Heyendaalseweg 135, 6525 AJ Nijmegen, the Netherlands, e-mail: r.leuven@science.ru.nl
- Project number: RU/FNWI/FEZ 62002158
- Client: Netherlands Food and Consumer Product Safety Authority, P.O. Box 43006, 3540 AA Utrecht
- Reference client: NVWA, order nr. 60002627, d.d. June 23, 2014
- Orders: Secretariat of the Department of Environmental Science, Faculty of Science, Radboud University Nijmegen, Heyendaalseweg 135, 6525 AJ Nijmegen, the Netherlands, e-mail: secres@science.ru.nl, mentioning Reports Environmental Science 468
- Key words: Dispersal; ecological effects; invasiveness; invasibility; non-indigenous species

© 2014. Department of Environmental Science, Institute for Water and Wetland Research, Faculty of Science, Radboud University Nijmegen, Heyendaalseweg 135, 6525 AJ Nijmegen, The Netherlands

All rights reserved. No part of this report may be translated or reproduced in any form of print, photoprint, microfilm, or any other means without prior written permission of the publisher.

Content

- Summary 3
- 1. Introduction 6
 - 1.1. Background and problem statement 6
 - 1.2. Research goals 6
 - 1.3. Outline and coherence of research 6
- 2. Materials and methods 8
 - 2.1. Literature review 8
 - 2.2. Data acquisition on current distribution 8
 - 2.3. Additional field surveys 9
- 3. Species description 10
 - 3.1. Nomenclature and taxonomical status 10
 - 3.2. Species characteristics 10
 - 3.3. Differences with visually similar species 12
 - 3.4. Reproduction 13
 - 3.5. Life cycle 13
- 4. Habitat characteristics 14
 - 4.1. Habitat description 14
 - 4.2. Associations with other species 17
 - 4.3. Climate match and bio-geographical comparison 18
- 5. Distribution, dispersal and invasiveness 20
 - 5.1. Global distribution 20
 - 5.2. Current distribution in the Netherlands 21
 - 5.3. Pathways and vectors for dispersal 24
 - 5.4. Invasiveness 28
- 6. Impacts 30
 - 6.1. Ecological effects 30
 - 6.2. Socio-economic effects 35
 - 6.3. Public health effects 36
- 7. Available risk classifications 37
 - 7.1 Formal risk assessments 37
 - 7.2 Other risk classifications 37
- 8. Management options 39

8.1. Prevention.....	39
8.2. Eradication and control measures.....	40
8.3. Ecosystem based management	44
9. Conclusions and recommendations.....	46
9.1. Conclusions	46
9.2. Effective management options	48
9.3. Recommendations for further research	48
Acknowledgements	49
References.....	50
Appendices	58
Appendix 1: Results of field surveys 2014.....	58

Summary

Brazilian waterweed (*Egeria densa* Planchon) (Hydrocharitaceae) is native to South America. *E. densa* is a popular cold water aquarium plant in the Netherlands and other parts of Europe and often sold together with the goldfish (*Carassius auratus* (L.)). The plant was first recorded in Dutch nature near Dordrecht in 1944. It was subsequently recorded in nature in Bussum and in the municipality of Doorn. After the year 2000, recordings of *E. densa* have been made nearly every year in the Netherlands. To support decision making with regard to the design of measures to prevent ecological, socio-economic and public health effects, the Invasive Alien Species Team of the Netherlands Food and Consumer Product Safety Authority (Ministry of Economic Affairs) has asked for a risk analysis of *E. densa*.

A literature study was performed to provide an overview of the current knowledge on the distribution and invasion biology of *E. densa* and to support a risk assessment within the Dutch context. Literature data were collected on the physiological tolerances, substrate preference, colonization vectors, ecological and socio-economic impacts and potential measures for management of this species. The literature study was largely internet based, supported by the use of a university library. Academic and non-academic search engines and websites were systematically searched using the Web of Knowledge, Google Scholar and in an analysis of information available to the Dutch public, Google.nl.

E. densa thrives in various types of freshwater habitats. In its native range, *E. densa* is found in slow flowing, shallow waters. Outside of its native range it is also found in lakes, ponds, quarry pools and sluggish rivers, streams and canals. Optimum water temperatures for *E. densa* occur between 16 and 28°C and growth occurs in temperatures ranging from 10 to 30°C. Mortality occurs at 3°C and freezing is lethal, however, *E. densa* can survive winter conditions under ice. The plant tolerates a wide range of nutrient, oxygen, carbon dioxide and pH conditions and grows (establishes) best on fine substrates with a high organic content where it tends to dominate. *E. densa* is able to tolerate turbid conditions and low light levels. In very clear water it may not tolerate the high light conditions present near the surface and may be overgrown by other aquatic macrophytes. Future increases in water temperature and continuous introduction pressure will increase the probability of establishment and invasiveness of this species in the Netherlands supposing phosphorus is not limiting in water and substrate.

Introduction of *E. densa* to the Netherlands can be attributed to the trade. The species constitutes approximately 34% of all aquatic plant imports to the Netherlands for use in aquaria and garden ponds. A study carried out in 2006 showed that the Netherlands imported circa 1.7 million units of *E. densa* plants. The plant is sold freely at garden centres, pet shops and over the internet.

Global introductions of *E. densa* have been attributed to the discarding or deliberate planting of aquarium plants in natural waterways. A small proportion of hobbyists also report the disposal of water plants into local watercourses in the Netherlands. The sale of *E. densa* through the plant trade associated with the dumping of unwanted plants to the freshwater network may be an important path of introduction for this species. In the Netherlands, *E. densa* reproduces vegetatively through branching and fragmentation. Therefore, secondary

dispersal of this species will rely on the presence of dispersal vectors that transport fragments to new locations. The most important vectors of secondary dispersal, apart from water current, are related to human activity e.g. boats, anglers, weed harvesters, shoes and clothing.

In the Netherlands *Egeria densa* was first recorded in 1944 near Dordrecht. In 1951, herbarium samples were taken from a pond in Bussum. According to the label that accompanied the sample, the species had already been present for 10 years prior to the time of sampling and had flowered regularly during this time. No *E. densa* records are available in the Netherlands for the 1960s. The next record occurs in the summer of 1976 when *E. densa* was observed in a small canal in the municipality of Doorn. In 1977 the plant was also found at a second location close by in the Gooyerwetering to the Southeast of Doorn. Further records were made from the Doorn area till 1991 after which no further records were made at his location. After the year 2000, records of *E. densa* have been made in nearly every year in the Netherlands. The number of kilometre square grids wherein the species is recorded varied from 0 to 8 per year. In 2008 and 2014, *E. densa* was recorded in seven new kilometre squares where the plant had not been earlier observed. Since 1944, *E. densa* has been recorded in 54 kilometre squares in the Netherlands.

No ecological or socio-economic impacts resulting from *E. densa* have been reported in the Netherlands. Neighbouring countries have experienced few impacts relating to *E. densa*. The lack of major negative ecological or socio-economic impacts in the United Kingdom is attributed to *E. densa*'s low abundance. In Germany, *E. densa* suppressed the formerly widely distributed native broad leaved pondweed (*Potamogeton natans* L.) and fennel pondweed (*Potamogeton pectinatus* L.) in the river Erft, North Rhine-Westphalia. However, since 2003, the abundance of *E. densa* in the river Erft has declined. Moreover, the river Erft is not representative of the German climate as it is a thermally polluted river whose temperature does not dip below 10°C in winter. In Belgium, despite *E. densa* becoming more abundant, it has not yet become invasive. In countries where *E. densa* has become highly abundant such as Australia, the United States and New Zealand, significant ecological and socio-economic impacts have resulted. Some of these locations feature a similar climate to the Netherlands i.e. North and South Carolina, Virginia and Delaware in the USA. At high abundances *E. densa* has been described as an ecosystem engineer whose presence leads to alterations in aquatic habitats and local species composition. Other impacts include restrictions to recreational activity, reduced visual amenity, increased potential for local flooding, obstruction of industrial water intakes and the high cost of remedial management.

In the Dutch code of conduct for aquatic plants (2010), *E. densa* has been declared a list 2 species. This means that it should only be sold when accompanied with a warning about its invasiveness. This should help to stop the release of plants into open water by hobbyists who are unaware of the plants invasive nature or how to properly dispose of it. The results of a 2012 survey of stakeholder groups including aquarists, water gardeners and plant retailers examining the effectiveness of the Dutch code of conduct revealed that *E. densa* was included in a group of species that were most often named by respondents as non-native. However, *E. densa* is often sold in bunches containing several species. In 2012, 40 out of a total of 44 Dutch retailer sites sampled were offering *E. densa* for sale as part of oxygenating plant bunches. Of these, around 18 percent were correctly labelled in line with the guidelines of the code of conduct. Improvements to labelling in garden centres to help inform the public

about non-native plants potential invasiveness will help prevent the disposal of *E. densa* to water bodies and reduce further introductions of this plant in the Netherlands. Canadian pondweed (*Elodea canadensis*) and Nuttall's waterweed (*Elodea nuttallii*) may be used as alternatives for use in ponds and aquariums.

Limiting traditional management intervention appears to be the best method to prevent the spread of *E. densa* in the Netherlands. If control is required to safeguard water functions, then the prime focus should be on the prevention of fragment spread. Mowing baskets or harvesting boats can be used, but only when the total removal of the plants is guaranteed. Retaining nets can be used to minimise the spread of fragments released during cutting by isolating the area. The removal of the whole plant, including the root system should be made a priority. Complete eradication is difficult. Cuttings may be composted to prevent them from re-entering the freshwater system. Small populations may be eradicated by covering a treatment area with opaque material such as geo-textile. The lack of light will kill *E. densa* along with non-target species.

Lake drawdown may facilitate the removal of *E. densa*, however, there have been conflicting reports over its effectiveness. Multiple drawdowns lasting between one and five hours in colder temperatures have been most effective in promoting larger decreases in *E. densa* populations. Drawdown may be an effective measure in areas of low ecological value such as artificial channels and reservoirs.

Since the withdrawal of all herbicides for use in aquatic environments there is no appropriate chemical method for the control of *E. densa* in the Netherlands.

The reasons given for the limited distribution and dispersal capacity of *E. densa* at the majority of locations in the Netherlands are based on expert knowledge. Further research is required to support or reject these expert opinions. Establishing the specific conditions that allow the plant to become invasive will allow nature managers to better predict the likelihood that *E. densa* will colonise and become invasive in the Netherlands. This will offer insight into key factors for cost effective management in the future.

1. Introduction

1.1. Background and problem statement

Brazilian waterweed (*Egeria densa* Planchon) is a member of a genus that is endemic to South America. *E. densa* is a popular cold water aquarium plant in the Netherlands and other parts of Europe (Brunel, 2009; Qbank, 2014). It is often sold together with the goldfish (*Carassius auratus* (L.)). The plant was first recorded in Dutch nature near Dordrecht in 1944 (Van Ooststroom *et al.*, 1964). Subsequently, it was recorded in 1951, in a pond in Bussum, and in 1976 and 1977 in the municipality of Doorn. After the year 2000, new recordings of *E. densa* have been made nearly every year.

At the start of this project, there was a lack of knowledge regarding the pathways for introduction, vectors for spread, key factors for establishment and invasiveness, and (potential) effects of *E. densa* in the Netherlands. To support decision making with regard to the design of measures to prevent ecological, socio-economical and public health effects, the Invasive Alien Species Team of the Netherlands Food and Consumer Product Safety Authority (Ministry of Economic Affairs) requested that a risk assessment of *E. densa* be undertaken. The present report reviews available knowledge and data in order to perform a risk assessment of the species.

1.2. Research goals

The major goals of this study are:

- To describe the species and habitat characteristics of *E. densa*.
- To describe the global distribution and to analyse the current spread of *E. densa* in the Netherlands.
- To identify the key factors for dispersal (pathways, vectors, invasiveness) and successful establishment of *E. densa*.
- To assess (potential) ecological, socio-economical and public health effects of *E. densa* in the Netherlands, taking into account the impacts of this species in other geographical areas.
- To summarise available risk classifications of *E. densa* in other countries.
- To review possible management options for the control of spread, establishment and negative effects of *E. densa*.

1.3. Outline and coherence of research

The coherence between various research activities and outcomes of the study are visualised in a flow chart (Figure 1.2). The present chapter describes the problem statement, goals and research questions in order to identify key factors for the dispersal, establishment, effects and management of *E. densa* in the Netherlands. Chapter 2 gives the methodological framework of the project and describes the literature review, data acquisition and field

surveys. Chapter 3 describes the identity, taxonomical status and reproductive biology of the species and briefly mentions differences with similar species. Habitat characteristics of *E. densa* are summarized in chapter 4. The geographical distribution and trends in distribution in the Netherlands, including relevant pathways and vectors for dispersal are given in chapter 5. Chapter 6 analyses the ecological, economic and public health effects of the species. Formal risk assessments and available risk classifications are summarized in chapter 7. Chapter 8 describes the scope of management options and focuses on prevention, eradication measures and control of the species. Finally, chapter 9 draws conclusions and gives recommendations for management and further research. Appendices with raw data and background information complete this report. The report will be used as background information for an expert meeting in order to assess the dispersion, invasiveness, (potential) risks and management options of this species in the Netherlands (Risk analysis).

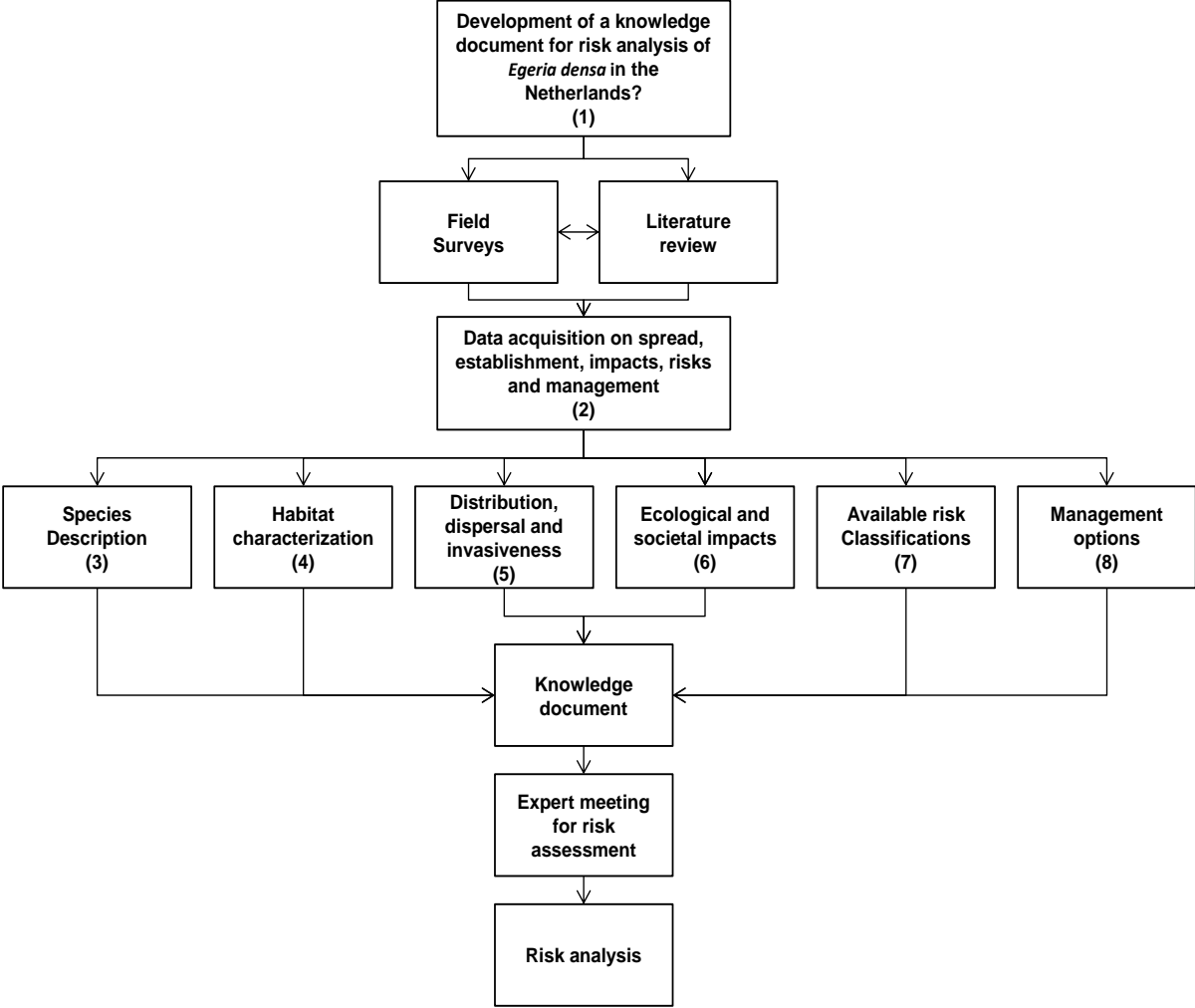


Figure 1.2: Flow chart visualising the coherence of various research activities in order to develop a knowledge document for risk analysis of Brazilian waterweed (*Egeria densa*) in the Netherlands. Chapter numbers are indicated in brackets.

2. Materials and methods

2.1. Literature review

A literature study was carried out to provide an overview of the current knowledge on the distribution and invasion biology of Brazilian waterweed (*Egeria densa*). Literature data were collected on physiological tolerances, substrate preference, colonization vectors, ecological and socio-economic impacts and potential measures for the management of this species. Our search was largely internet based, supported by the use of a university library. Academic and non-academic search engines and websites were systematically searched using the Web of Knowledge, Google Scholar and Google.nl. All search results from the Web of Knowledge were examined while the first 50 results from Google Scholar and Google.nl were examined due to the decreasing relevance of search results returned using this search engine. Search terms used to carry out the literature study were: *Egeria densa*, Brazilian waterweed and large flowered waterweed.

An analysis of search engine hits via Google.nl was performed in order to analyse the Dutch general public's perception of *E. densa* and to give an insight into its availability from retailers. The first 50 websites found were categorized according to their content. Google was searched using the terms '*Egeria densa*', '*Egeria densa* kopen', the Dutch common names 'Braziliaanse waterpest' or 'Argentijnse waterpest', and 'Braziliaanse waterpest kopen' or 'Argentijnse waterpest kopen'. Websites that contained names not referring directly to a species e.g. where only the genus *Egeria* was mentioned, were omitted. Attention was focussed on retailer's country of origin, as this was assumed to influence the buying behaviour of hobbyists. Search results relating to videos and pdf documents were analysed but images were not. Scientific articles were omitted from the perception study as the analysis was aimed at information accessible to the general public only. Websites were classified into four groups, 1) retail; 2) educational / regulatory, including the websites of universities, nature organisations, governments and water-boards; 3) hobbyists, including forums and websites containing information on ponds and aquaria; 4) organisations focussed specifically on invasive species, e.g. the Global Invasive Species Database. Websites were further subdivided into two categories, 1) no direct reference is made to the plants invasive nature and / or measures recommended to prevent introduction; 2) a direct reference is made to the plants invasive nature and / or measures recommended to prevent introduction. The total number of websites contained within each category was calculated. If the same website was found using two or three different search terms, it was included in the calculations of both or all three of these search terms. This gives an impression of the accessibility of the websites using different search terms which reflects the ease with which the public have access to them, and the potential level of impact of the information contained.

2.2. Data acquisition on current distribution

Distribution data used in this report are validated data that originate from the National Database Flora & Fauna (NDFF). This database includes data from the internet-portals waarneming.nl and telmee.nl. These data were supplemented with data of herbarium specimens in the Q-bank Invasive Plant database (<http://www.q-bank.eu/Plants/>) and older

records obtained from W. Holverda (Naturalis Biodiversity Center, National Herbarium of the Netherlands). To generate more insight into the consistency of the species occurrence, voluntary observers were asked, via the FLORON newsletter, to confirm the presence of *E. densa* in kilometre square grids where the species had been recorded in the past. (<http://www.verspreidingsatlas.nl/biodiversiteit/actualisering-vaatplanten.aspx?soort=5059>).

2.3. Additional field surveys

In August, 2014 several sites where *E. densa* had been earlier reported were visited to check its current presence. At a site near Hoogeveen, the Netherlands (Latitude 52 42.827, Longitude 6 29.658), population size was estimated and the vegetation was described with a Tansley survey method (appendix 1), using the following abundance / dafor codes: d: dominant; a: abundant; f: frequent; o: occasional; r: rare. Data collected were species, location, date of field search, coordinates, water depth (cm), transparency / Secchi depth (cm), width of water body (m), width of emergent zone (m), water flow, water type, surface area covered by *E. densa* (m²), surface area covered by all species (m²), number of individuals/shoots and phenology.

3. Species description

3.1. Nomenclature and taxonomical status

Brazilian waterweed (*Egeria densa*) belongs to a genus that is well described by Cook & Urmi-König (1984). The original, legal definition of the species is by Planchon (1849). Table 3.1 gives an overview of the nomenclature and taxonomical status of *E. densa*.

Table 3.1: Nomenclature and taxonomical status of Brazilian waterweed (*Egeria densa*).

Scientific name: <i>Egeria densa</i> Planchon	
Synonyms: <i>Anacharis densa</i> (Planch.) Vict. <i>Elodea densa</i> (Planch.) Casp. <i>Philotria densa</i> (Planch.) Small & St. John	
Taxonomic tree According to Cronquist (1981), CABI (2014):	According to Mabberley (2008), Naturalis Biodiversity Center (2014), Encyclopedia of Life (2014):
Domain: Eukaryota Kingdom: Plantae Phylum: Spermatophyta Subphylum: Angiospermae Class: Monocotyledonae / Liliidae Order: Hydrocharitales Family: Hydrocharitaceae Genus: <i>Egeria</i> Species: <i>Egeria densa</i>	Domain: Eukaryota Kingdom: Plantae Phylum: Tracheophyta Class: Spermatopsida / Liliopsida Order: Alismatales Family: Hydrocharitaceae Genus: <i>Egeria</i> Species: <i>Egeria densa</i>
Preferred Dutch name: Egeria (Leewis <i>et al.</i> , 2013)	
Preferred English name: Brazilian waterweed	
Other Dutch names: Argentijnse waterpest, Braziliaanse waterpest	
Other English names: Large-flowered waterweed (UK), Brazilian elodea, Brazilian-waterweed, dense waterweed (AUS), egeria, leafy elodea (CABI, AUS, NZ), common waterweed, South American waterweed	
Native range: Argentina, Brazil, Uruguay (CABI, 2014).	

3.2. Species characteristics

E. densa is a submerged perennial that can live either rooted or free floating (State of Indiana, undated). The plant can grow very rapidly under suitable conditions, stems are approximately 3 mm thick and can reach lengths of between 1.8 to 3 m but are commonly less than 1 m long (Dadds & Bell, undated; State of Indiana, undated; Qbank, 2014). Stems

are erect, cylindrical, sparsely branched, with short internodes and grow until they reach the water surface (Csurhes *et al.*, 2008; Darrin, 2009; Millane & Caffrey, 2014).



Figure 3.1: Brazilian waterweed (*Egeria densa*) showing the whorled leaf structure (Photo: Kristian Peters; Source: Wikimedia commons).

The green leaves are smooth and whorled, 10 to 30 mm long, in general 2 to 6 mm wide and 0.5 to 1 mm wide below the leaf tip. The leaf margins are very finely toothed which is only visible with a hand lens (State of Indiana, undated). Plants usually have four leaves per node but can also have up to five or six (Fig. 3.1) (Csurhes *et al.*, 2008; Millane & Caffrey, 2014; State of Indiana, undated; Dadds & Bell, undated). However, there can be as many as ten leaves at a fertile node (Darrin, 2009). Internode length ranges from 2.5 to 24 mm, depending on nutrients and light availability (Yarrow *et al.*, 2009). Short internodes tend to give the plant a 'leafy' appearance (Csurhes *et al.*, 2008).



Figure 3.2: Flower of Brazilian waterweed (*Egeria densa*) (Photo: David Liu; Source: Wikimedia commons).

Male flowers present in groups of two to four from one spathe, the perianth formed by a calyx consisting of three green sepals, and a corolla made up of three white petals 10 to 15 mm long and stamens 9 mm long (Fig. 3.2) (Millane & Caffrey, 2014). The flowers emerge above the water surface via long stalks (Fig. 3.3) (State of Indiana, undated; Csurhes *et al.*, 2008). Female flowers are carried by an individual spathe, the perianth is similar to that of the male flowers, is ovary unilocular and formed by three carpels. The androecium is only residual with three yellow staminodes. Fruits are berry-like, ovate, 7-8 mm long and 3 mm wide with a

membranaceous and transparent pericarp. Seeds are numerous, fusiform, 7-8 mm long, with a 2 mm filament present at the end (CABI, 2014).



Figure 3.3: Detail photo of Brazilian waterweed (*Egeria densa*) in flower (Photo: QBANK, 2014).

3.3. Differences with visually similar species

A number of species are visually similar to *E. densa* and it is therefore important to differentiate these species in order to prevent misidentification. *E. densa* is easily identified by its large flowers if they are present (corolla leaves 8 to 11 mm). Plants without flowers resemble other *Egeria* species, and *Elodea* species (Fig. 3.4), *Hydrilla* species and *Lagarosiphon* species. *E. densa* can be distinguished from the other genera by examining the leaf whorls. Commonly, *Elodea* features whorls of three leaves, *Egeria* four, *Hydrilla* commonly five leaves and *Lagarosiphon* alternate spirals or pseudo-whorls of three to four. *E. densa* features the longest leaves (15 – 40 mm) of the four genera. In contrast to *E. densa*, *Hydrilla* features rough teeth on the underside of the leaves visible with the naked eye, and stem turions and tuberlike turions that grow underground in the rooting zone. *E. densa* is generally larger than *Elodea* and may grow up to three times the size of these species'. Other species of *Egeria* are best distinguished by the shape and attributes of the leaves. For example, narrow leaf *Elodea* (*Egeria najas* Planchon) has a toothed leaf edge.

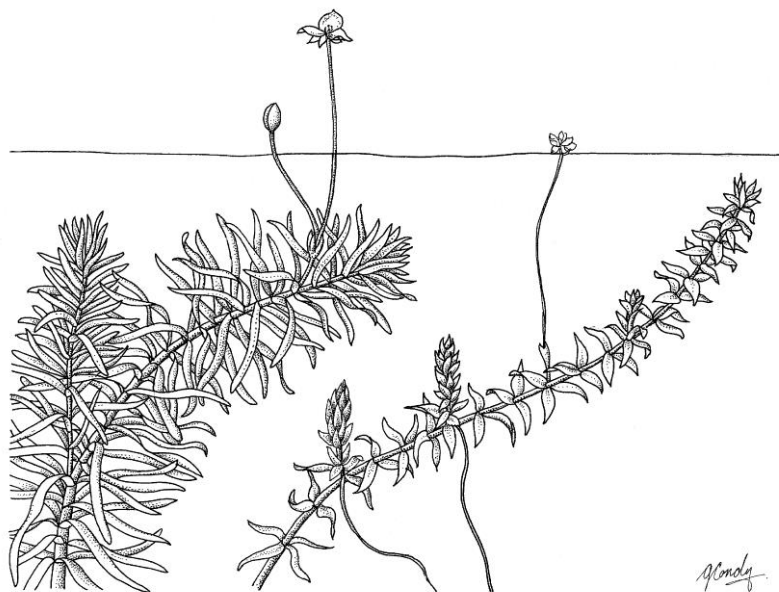


Figure 3.4: *Egeria densa* (left) and *Elodea canadensis* Michaux (right). Drawn by G. Condy, first published in Henderson (2001), ARC-Plant Protection Research Institute, Pretoria.

3.4. Reproduction

In Europe, only male *E. densa* are present in nature, because imported and cultivated plants are male (Haynes, 1988; Botanic Gardens, 2008; GB Non-native Species Secretariat, 2014; Washington State Department of Ecology, 2014). Female flowers are only found in the species' native range and in Chile (Washington State Department of Ecology, 2014; Haynes, 1988; GB Non-native Species Secretariat, 2014). Until now, seed formation has not been observed in *E. densa*'s European range (Lafontaine *et al.*, 2013). Potentially, female plants may also be imported in the Netherlands from countries where the species is native. Whether sexual reproduction and production of germinable seed may occur under environmental conditions in western Europe is unknown. However, it is not expected that successful sexual reproduction will significantly increase dispersal ability and invasibility of *E. densa* in the Netherlands because the plant's ability to spread vegetatively. In its native range as well as in areas where the species is introduced, the plant also reproduces and spreads through vegetative growth, branching and vegetative fragments only (Washington State Department of Ecology, 2001). This sole reproduction strategy leads to the genetically identical monocultures often seen in the United States, Canada, New Zealand and Europe which are genetically distinguishable from similar non-invasive species of aquatic plant (Darrin, 2009; Ghahramanzadeh *et al.*, 2013).

The root system and stems are not very strong and break easily, allowing plant fragments to be carried by currents to inhabit new areas (Yarrow *et al.*, 2009; Washington State Department of Ecology, 2014). Only stem fragments featuring double noded regions which produce lateral buds, branches, and adventitious roots can develop into new plants. These occur every six to 12 nodes along a stem and consist of two single nodes separated by a greatly shortened internode (Lafontaine *et al.*, 2013). *E. densa* has been shown to reproduce relatively well when compared to six other aquatic species that reproduce vegetatively. Of these species studied, *E. densa*, spiked milfoil (*Myriophyllum spicatum* L.) and clasped pondweed (*Potamogeton perfoliatus* L.) showed the best survival and rooting rates (survival rates: 95 %, 84 % and 84 %; rooting rates: 88 %, 45 % and 65 %, respectively) (Vari, 2013).

3.5. Life cycle

In Autumn, *E. densa* suffers a loss in biomass as a result of sloughing and decay of tips and branches. The remaining biomass overwinters at the bottom of the water body in an evergreen, dormant like state. Once a shoot sinks to the bottom, a new root crown may develop at a single or multiple double nodes along the shoot. *E. densa* survives winter by storing carbohydrate in stem tissues but lacks specialised storage organs such as tubers or rhizomes, and does not produce turions. Growth is initiated in spring once the water temperature reaches 10 °C (Washington State Department of Ecology, 2014; Center for Aquatic and Invasive Plants, 2014).

4. Habitat characteristics

4.1. Habitat description

Table 4.1 gives an overview of the physiological tolerances of Brazilian waterweed (*Egeria densa*).

Water type

E. densa thrives in various types of freshwater habitat (Fig. 4.1). Outside its native range, it is found in lakes, ponds, quarry pools and sluggish rivers, streams and canals. (Branquart, 2013; State of Indiana, undated; Dadds & Bell, undated).



Figure 4.1: Brazilian waterweed (*Egeria densa*) at Tilburg, the Netherlands. (Photo: J. van Valkenburg)

Temperature

Optimum conditions for *E. densa* occur between water temperatures of 16 and 28°C (Curt *et al.*, 2010; Yarrow *et al.*, 2009). *E. densa* grows at water temperatures ranging from 10 to 30°C (Getsinger & Dillon, 1984). Riis *et al.* (2012) demonstrated experimentally that growth rate and photosynthesis of *E. densa* are higher in water temperatures ranging from 25 to 30°C. Damage to the plant occurs above 30°C. Mortality occurs at 3°C and freezing is lethal (Washington State Department of Ecology, 2014; Yarrow *et al.*, 2009; Leslie, 1992). However, *E. densa* can survive winter conditions under ice (Haramoto & Ikusima, 1988). Moreover, in Hoogeveen, the Netherlands *E. densa* has been observed surviving under ice during the winter period (R. Pot & J. van Valkenburg, personal observation). The maximum time *E. densa* can survive at low water temperatures is unknown (Lafontaine *et al.*, 2013). The plant survives winter conditions by storing starch in its leaves and stem which it uses for

growth once temperatures rise above 10°C (Washington State Department of Ecology, 2014). *E. densa* requires water that is warmer than the other non-native waterweeds to flourish (GB Non-native Species Secretariat, 2014). In an outdoor competition experiment comparing *E. densa* with curly waterweed (*Lagarosiphon major* (Ridley) Moss), a non-native species recorded in the Netherlands, *E. densa* was found to be more competitive in water at 30°C than water at 20°C. *L. major* was found to be most competitive at a water temperature of 20°C. This suggests that *E. densa* may be more competitive in shallow warm water and *L. major* more competitive in deeper colder water given sufficient light availability (Riis *et al.*, 2012). It is expected that climate change may enable *E. densa* to widen its range to more northerly latitudes in the future (Dadds & Bell, undated).

Flow velocity

In its native range, *E. densa* is found in slow to moderate flowing (maximum 1 m s⁻¹), shallow waters and rarely is it present in fast flowing water sections (Hussner & Losch, 2005; Hussner *et al.*, 2010; Takahashi & Asaeda, 2014).

Depth

E. densa usually roots at depths between 0.15 to 3 m, but a 10 m rooting depth has also been observed (Mony *et al.*, 2007; Wells *et al.*, 1997; Tanner *et al.*, 1990; Hussner & Losch, 2005; Carrillo *et al.*, 2006; Csurhes *et al.*, 2008; Lafontaine *et al.*, 2013; Takahashi & Asaeda, 2014). In U.S. lakes and waterways colonised by *E. densa*, the near-shore areas with depths up to 7 m are most likely to be affected (Darrin, 2009).

Substrate

In the river Erft, Germany, *E. densa* dominated sections with muddy sediments, in largely sand or gravel sections the plants grew poorly (Hussner *et al.*, 2010). In a Japanese study, *E. densa* dominated cohesive soil or fine soil substrates, suggesting a high fertility and a tolerance to oxygen poor conditions (Matsui, 2014). *E. densa* biomass has been negatively correlated with sediment diameter suggesting it prefers fine grained substrates (Haga *et al.*, 2006).

Light

Light is an important factor for *E. densa* success (Hussner *et al.*, 2010). However, evidence from literature appears to be conflicting. According to Barko and Smart (1981), light availability had an overall stronger effect on *E. densa* growth rate and plant morphology than temperature. It cannot tolerate shade and displays the best growth rate at less than 75% cover (Barko & Smart, 1981). Suspended solids concentrations above 30 mg m⁻³, or a light attenuation coefficient (Kd) above two, are likely to prevent the establishment of *E. densa* in natural systems (Tanner *et al.*, 1993). However, other authors suggest that *E. densa* is not light demanding and is able to grow in turbid waters, appearing to compete best under conditions of low light attenuation (Bini & Thomaz, 2005; Yarrow *et al.*, 2009; Hussner *et al.*, 2010; Branquart, 2013). Experimentation suggests that *E. densa* has a low light compensation point, supporting this view (7.5–16.2 μmol m⁻² s⁻¹) (Rodrigues & Thomaz, 2010). These differences may be explained by the strong vertical growth displayed by the plant and the ability of detached shoots to float just below the surface allowing development in turbid water (Lafontaine *et al.*, 2013).

Table 4.1: Physiological conditions tolerated by Brazilian waterweed (*Egeria densa*).

Parameter	Medium	Data origin	Occurrence	References
pH	Water	Outside the Netherlands	5.5-8.3 Average 7.6	Bini <i>et al.</i> (1999); Hussner & Losch (2005); Mony <i>et al.</i> (2007)
pH optimum	Water	Outside the Netherlands	5.5-7.9 Average 7.6	Mony <i>et al.</i> (2007)
Temperature (°C)	Water	Outside the Netherlands	Survives under ice; mortality 3; growth: 10-30; optimum growth 16-28; 30 tissue damage; 35 maximum reported	Barko & Smart (1981); Getsinger & Dillon (1984); Haramoto & Ikusima (1988); Di Tomaso & Healy (2003); Yarrow <i>et al.</i> (2009); Hussner (2014)
Light compensation point ($\mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$)	Water	Laboratory based study	7.5-16.2	Rodrigues & Thomaz (2010)
Light attenuation coefficient	Water	New Zealand	>2	Tanner <i>et al.</i> (1993)
Suspended solids (mg l^{-1})	Water	Outside the Netherlands	40 max	Marin <i>et al.</i> (2014)
Suspended solids (mg m^{-3})	Water	New Zealand	30 max	Tanner <i>et al.</i> (1993)
Depth range (m)	Water	Outside the Netherlands	0.15-3 usual; 10 max	Wells <i>et al.</i> (1997); Tanner <i>et al.</i> (1990); Hussner & Losch (2005); Carrillo <i>et al.</i> (2006); Yarrow <i>et al.</i> (2009); Takahashi & Asaeda (2014); Lafontaine <i>et al.</i> (2013)
Water velocity (m s^{-1})	Water	Outside the Netherlands	0-1	Hussner & Losch (2005); Takahashi & Asaeda (2014)
Conductivity ($\mu\text{S cm}^{-1}$)	Water	Outside the Netherlands	34-802	Bini <i>et al.</i> (1999); Hussner & Losch (2005)
Salinity (ppt)	Water	Outside the Netherlands	5 max	Hauenstein & Ramirez (1986); Poirrier <i>et al.</i> (2010)
Total phosphorus (mg l^{-1})	Water	North Rhine-Westphalia, Germany	0.016-0.34	Bini <i>et al.</i> (1999); Roberts <i>et al.</i> (1999); Hussner & Losch (2005)
Nitrogen as nitrates (mg l^{-1})	Water	North Rhine-Westphalia, Germany	1.91-3.06	Hussner (2014)
Total organic carbon (mg l^{-1})	Water	North Rhine-Westphalia, Germany	2.88-5.62	Hussner & Losch (2005)
Ammonia-N (mg l^{-1})	Water	Laboratory based study	≥ 10 affects growth	Su <i>et al.</i> (2012)
Substrate	Sediment	North Rhine-Westphalia, Germany; the Netherlands	Organic; fine inorganic (Ge); sand (Ge, NL)	Hussner & Losch (2005), own data

Nutrients

Studies indicate that nutrients are not a major limiting factor for *E. densa* in most systems and that the plant is able to tolerate a wide range of nutrient levels, particularly in the case of phosphorus (Csurhes *et al.*, 2008; Yarrow *et al.*, 2009). Rooted submerged macrophytes like *E. densa* are less vulnerable to differing nutrient concentrations because they are able to absorb nutrients from both the sediment and the water column (Yarrow *et al.*, 2009). Authors have demonstrated that adding additional nutrients to sand substrate within stands of *E. densa* does not result in increased biomass (Mony *et al.*, 2007). Moreover, Bini *et al.* (1999) observed that *E. densa* growth was correlated with low total phosphorus (TP) levels in the sediment and low TP in the water column. However, others report that *E. densa* prefers nutrient rich substrates and is vulnerable to iron deficiency (DiTomaso & Kyser, 2013).

Feijoó *et al.* (2002) suggest that given phosphorus, not nitrogen, is related to increased growth, phosphorus may be more a limiting factor for *E. densa* than nitrogen. Results from a

Brazilian study suggest that in several habitats and during certain periods of the year, a shortage of inorganic carbon may limit the growth of *E. densa*. The authors state that inorganic carbon may be a more important limiting factor to *E. densa* than phosphorus and nitrogen because N and P are assimilated from sediment, where they are usually found in high concentrations (De Freitas & Magela Thomaz, 2011).

pH

E. densa is able to tolerate a wide range of pH (5,5 - 8,3), although it seems to prefer acid and humus rich conditions, it also grows in calcareous eutrophic water (Branquart, 2013; Lafontaine *et al.*, 2013; GB Non-native Species Secretariat, 2014). Optimal pH averages at 7.6, and ranges between 5.5 and 7.9 (Mony *et al.*, 2007).

Salinity, ammonia-N, conductivity total organic carbon

E. densa tolerates salinities to a maximum of 5 ppt (Poirrier *et al.*, 2010), and ammonia-N concentrations above 10 mg l⁻¹ affect growth (Su *et al.*, 2012). In a German river, *E. densa* was observed in waters with a conductivity of between 715 and 802 µS cm⁻¹, a total phosphorus concentration of between 0.11 and 0.34 mg l⁻¹, and a total organic carbon concentration of between 2.88 and 5.62 mg l⁻¹ (Hussner & Losch, 2005).

Metabolism

E. densa possesses adaptive physiological traits related to its metabolism that may contribute to its success as a non-native species (Yarrow *et al.*, 2009). Adaption to low CO₂ and high O₂ concentrations allows the species to continue to grow in difficult conditions (Yarrow *et al.*, 2009; Rascio *et al.*, 1991). *E. densa* shows leaf pH-polarity which generates a low pH at the leaf surface at high light intensities and low dissolved carbon concentration. Low pH shifts the equilibrium HCO₃⁻/CO₂ towards CO₂, which passively diffuses into the cell (Lara *et al.*, 2002). The efficiency in using bicarbonate HCO₃⁻ depends on its concentration in the surrounding water (Pierini & Thomaz, 2004).

4.2. Associations with other species

In the Netherlands *Egeria densa* is usually found in urban waters in association with hornwort (*Ceratophyllum demersum*) or Nuttall's waterweed (*Elodea nuttallii*) and various eutraphent emergent and floating species. In August, 2014 several sites with earlier records of *E. densa* were visited to check its current presence. At most of them the plants were not observed again (see section 5.2). At one site near Hoogeveen, known since 2012, the species was still abundant (appendix 1). This site harboured also four other introduced species (*Lemna minuta*, *Nymphaea alba*-hybrid, *Limnobium leavigatum*, unidentified).

In the river Erft, North-Rhine Westfalia, Germany, at points of moderate flow velocity and turbidity, *E. densa* is often associated with the fennel pondweed (*Potamogeton pectinatus*) and broad-leaved pondweed (*Potamogeton natans*) (Hussner & Losch, 2005). In a California river delta in the USA, *E. densa* was associated with hornwort (*Ceratophyllum demersum* L.) and Eurasian watermilfoil (*Myriophyllum spicatum* L.) (Santos *et al.*, 2011).

4.3. Climate match and bio-geographical comparison

A comparison of climate and biogeography was made between *E. densa*'s invasive, non-indigenous global range, native range and the Netherlands.

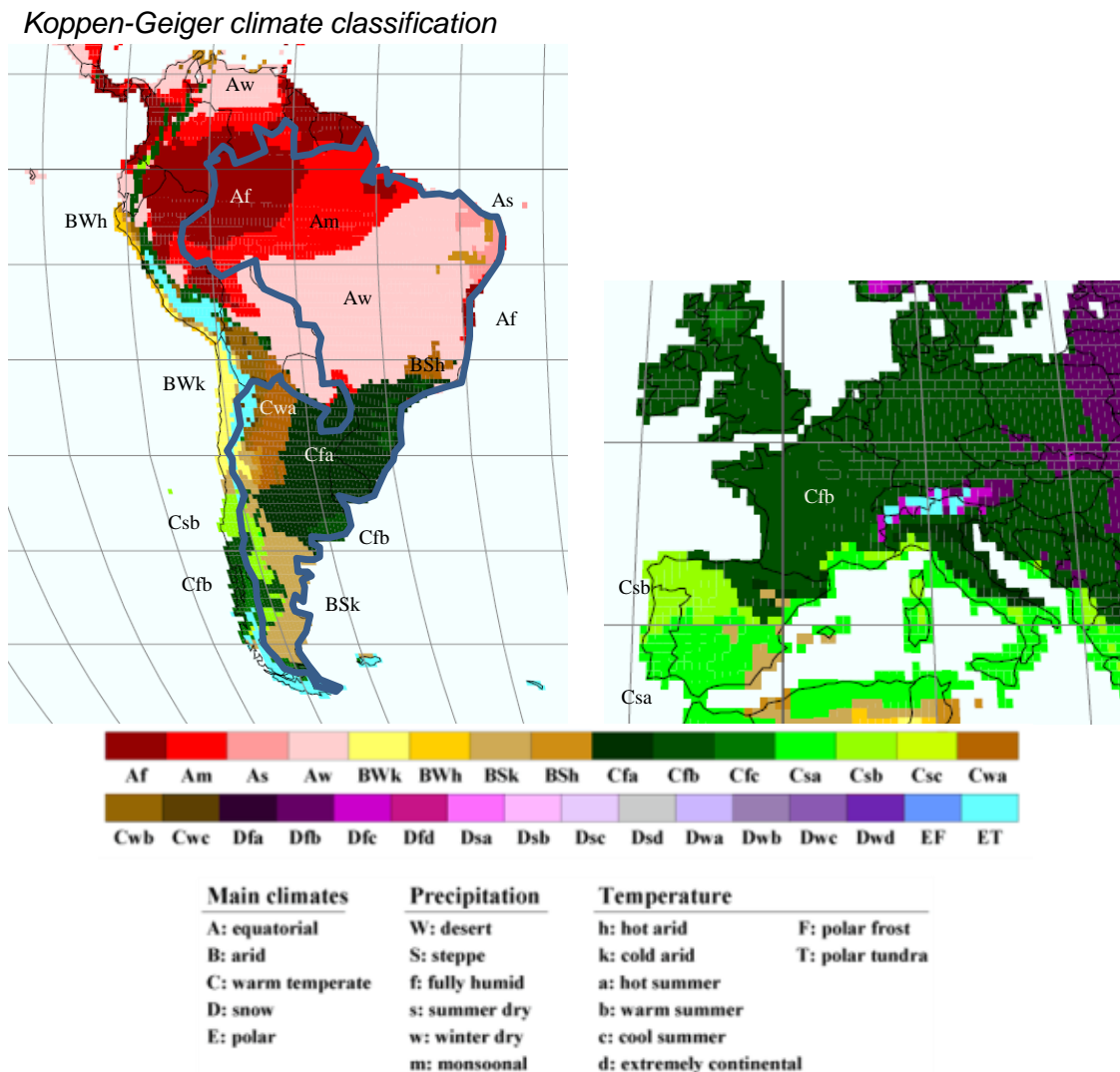


Figure 4.2: Brazilian waterweed (*Egeria densa*) native range climate (blue polygon) matched to the Netherlands (region Cfb). Adapted from Kottek *et al.* (2006).

The Koppen-Geiger climate classification bases its climate maps on recent data sets from the Global Precipitation Climatology Centre (GPCC) at the German Weather Service and the Climatic Research Unit (CRU) of the University of East Anglia in the United Kingdom (Rubel & Kottek, 2010). Climate regions are based on three elements: main climate, precipitation and air temperature. The Netherlands lies within region Cfb which is defined as warm temperate, fully humid, with a warm summer. This classification matches with some areas within the native range of *E. densa* in Brazil, Uruguay and Argentina (Rubel & Kottek, 2010; <http://koeppen-geiger.vu-wien.ac.at/>, figure 4.2). *E. densa* is recorded in Austria, Belgium, France, Germany, Italy, Southern Ireland, the United Kingdom (including Northern Ireland) and Switzerland, locations that are climatically matched with the Netherlands according to the Koppen-Geiger classification (Millane & Caffrey, 2014).

Larger areas within the *E. densa*'s native range are classified within region Cfa (warm temperate, fully humid, with a hot summer). Moreover, some locations where according to CABI (2014) *E. densa* has become invasive, feature a Cfa classification i.e. North and South Carolina, Virginia and Delaware in the USA.

However, *E. densa* may be capable of spreading beyond the limits of what is suggested by climate matching. According to Walsh *et al.* (2013), *E. densa*'s non-native range spreads wider than that warranted by its native distribution. This is thanks to its ability to store energy in its basal stems and root crown (Pennington & Sytsma, 2009) allowing recovery from winter senescence, and the rapid reinvasion of water bodies. Despite this, Lafontaine *et al.* (2013) state that *E. densa* is probably not well adapted to Belgium eco-climatic conditions as it can probably not survive the prolonged freezing temperatures in winter.

European eco-region match

The European Water Framework Directive, 2000/60/EC (European Union, 2000), defines a number of eco-regions that reflect similarities in aquatic species living in European river and lake systems (Figure 4.3). The Netherlands lies within eco-regions 13 and 14. The southernmost part of the Netherlands falls within eco-region 13 (the western plains) which is shared with France, Belgium and a small part of western Germany. The remaining area within the Netherlands to the north of eco-region 13, falls under eco-region 14 (the central plains). Eco-region 14 is shared with northern Germany, western Poland, Denmark and southern Sweden.

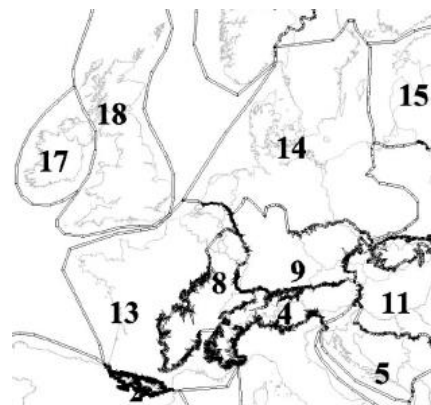


Figure 4.3: Eco-regions defined within the European Water Framework Directive (European Union, 2000). 4) Alps; 5) Dinaric western Balkan; 8) Western highlands; 9) Central highlands; 11) Hungarian lowlands; 13) Western plains; 14) Central plains; 15) Baltic province; 17) Ireland and Northern Ireland; 18) Great Britain.

E. densa has been recorded in countries that share eco-regions with the Netherlands: i.e., Belgium, France and Germany (section 5.1; Denys *et al.*, 2004; Lafontaine *et al.*, 2013). The presence in France and Belgium suggests that rivers and lakes within eco-region 13 may potentially provide suitable habitats for *E. densa*. Germany shares eco-region 14 with the Netherlands. However, the river Erft where *E. densa* has been recorded in Germany is thermally polluted (Hussner, 2014). Therefore, this German record cannot be considered representative of the eco-region 14.

Global climate niche modelling predicts that there will be a progressive increase in the suitable climatic range for *E. densa* outside its native range (Kelly *et al.*, 2014).

5. Distribution, dispersal and invasiveness

5.1. Global distribution

Brazilian waterweed (*Egeria densa*) has spread from its indigenous habitat in South America to several European locations. These include Austria, Denmark (possibly), France, Germany, Greece, Italy, the Netherlands, Portugal (Azores), Spain; Southern Ireland, Switzerland and the UK (including Northern Ireland) (Lafontaine *et al.*, 2013; Millane & Caffrey, 2014; Bracamonte *et al.*, 2014). Records also exist for Hungary, Russia, Georgia, and Turkey. *E. densa* has naturalized on all continents (except Antarctica) including Africa (Algeria, Kenya, South Africa, Swaziland), Asia (Japan; recently also Bangladesh (Alfasane *et al.* (2010), Indonesia, Nepal), North America (50 states in the USA, Canada, Mexico), part of South America (Bolivia, Chile, Colombia, Cuba, Nicaragua, Paraguay, Peru, Puerto Rica; Uruguay), and Oceania (Australia, Cook Islands, French Polynesia and New Zealand) (Mazzeo *et al.*, 2003; Darrin, 2009; Lafontaine *et al.*, 2013; Global Invasive Species Database, 2014; CABI, 2014; Millane & Caffrey, 2014). In its introduced range, *E. densa* has a wide potential distribution; it seems to grow in a wide array of ecological conditions (Yarrow *et al.*, 2009). Figure 5.1 gives an overview of its current world distribution. It should be noted that a single record of *E. densa* in free nature was enough to categorise a country as colonised.

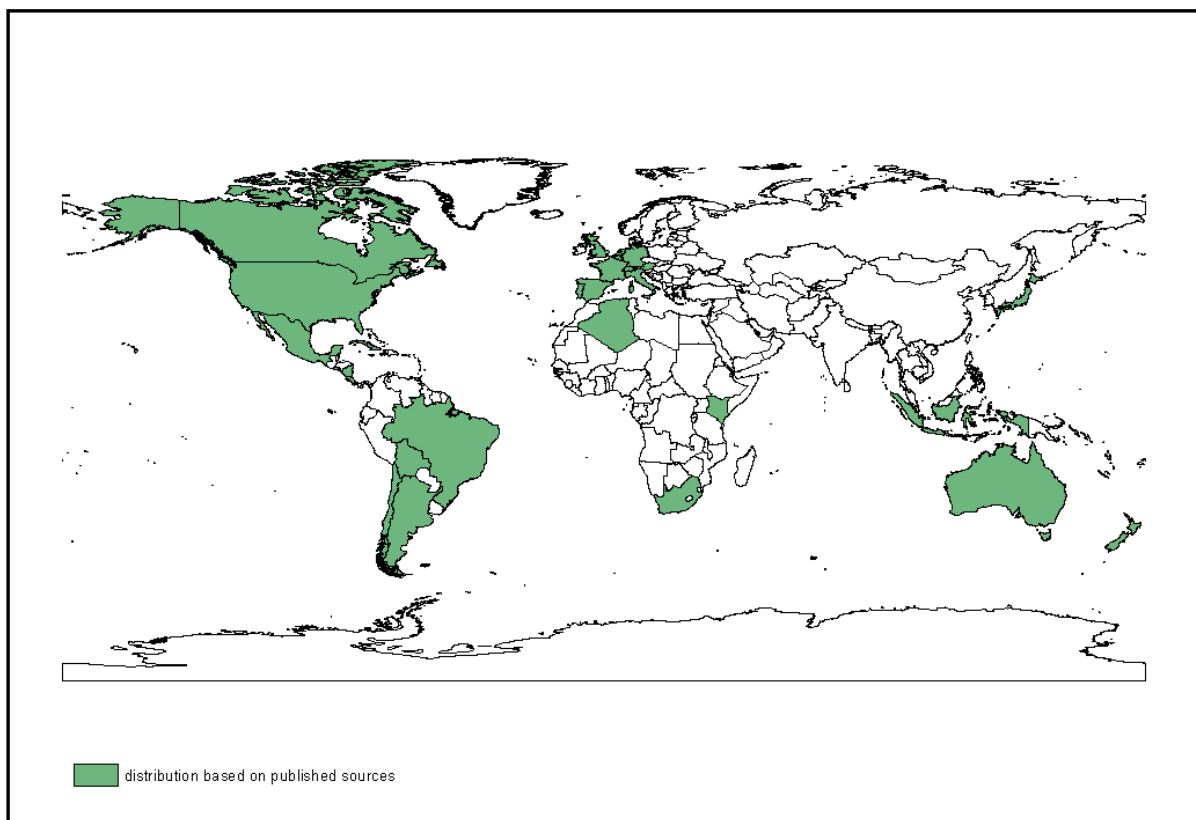


Figure 5.1: International distribution of Brazilian waterweed (*Egeria densa*) based on published sources (www.q-bank.eu).

5.2. Current distribution in the Netherlands

5.2.1 Geographical distribution and trends in range extension

The current recorded distribution of the species in the Netherlands is displayed in figure 5.2.

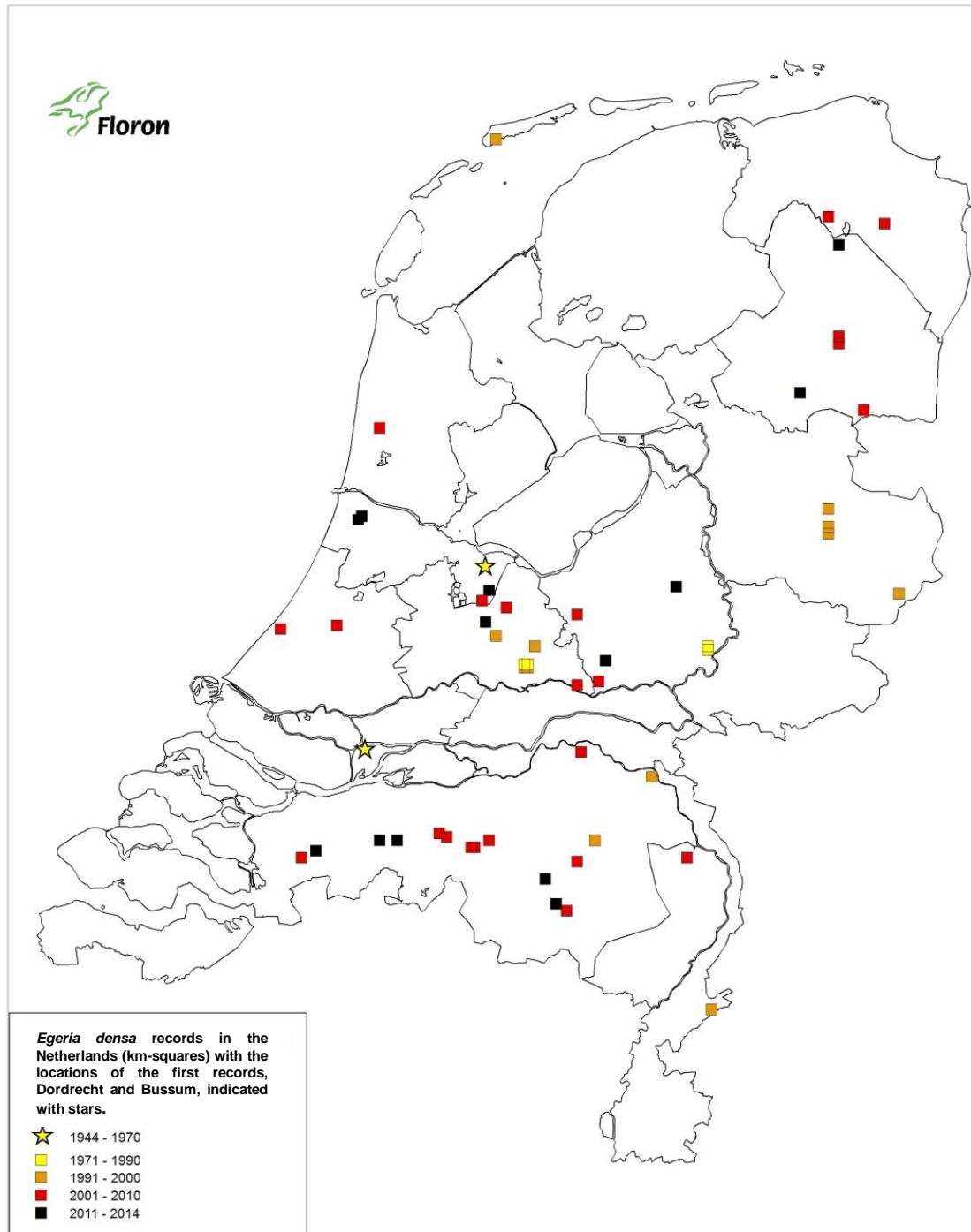


Figure 5.2: Distribution of Brazilian waterweed (*Egeria densa*) in the Netherlands (Data source: see chapter 2.2).

Egeria densa was first recorded in 1944 near Dordrecht. The species was discovered in a drainage ditch close to Groenedijk park during an excursion led by the Netherlands Youth Federation for the Study of Nature (NJN) (van Ooststroom *et al.*, 1964). In 1951, herbarium

samples were taken from a pond in Bussum. According to the label that accompanied the sample, the species had already been present for 10 years prior to the time of sampling and had flowered regularly during this time. This would seem to suggest that *E. densa* was present at Bussum before the official recording at Dordrecht. There are no later records of *E. densa* from either of these locations.

No *E. densa* records are available in the Netherlands for the 1960s, a period known for severe winters. The next record occurs in the summer of 1976 when *E. densa* was observed in a small canal in the municipality of Doorn. *E. densa* was present over an uninterrupted stretch extending for a few hundred metres and was noted for its large white flowers. The canal was dug in 1972, therefore, the plant must have been introduced to the canal only a short time after it was built. The plant blossomed again in 1977, and was also found at a second location close by in the Gooyerwetering area (Floristenclub Gelderse Vallei, 1978; Mennema & van Oostroom, 1977). Further records exist from the Doorn area till 1991 after which no further records were made at this location.

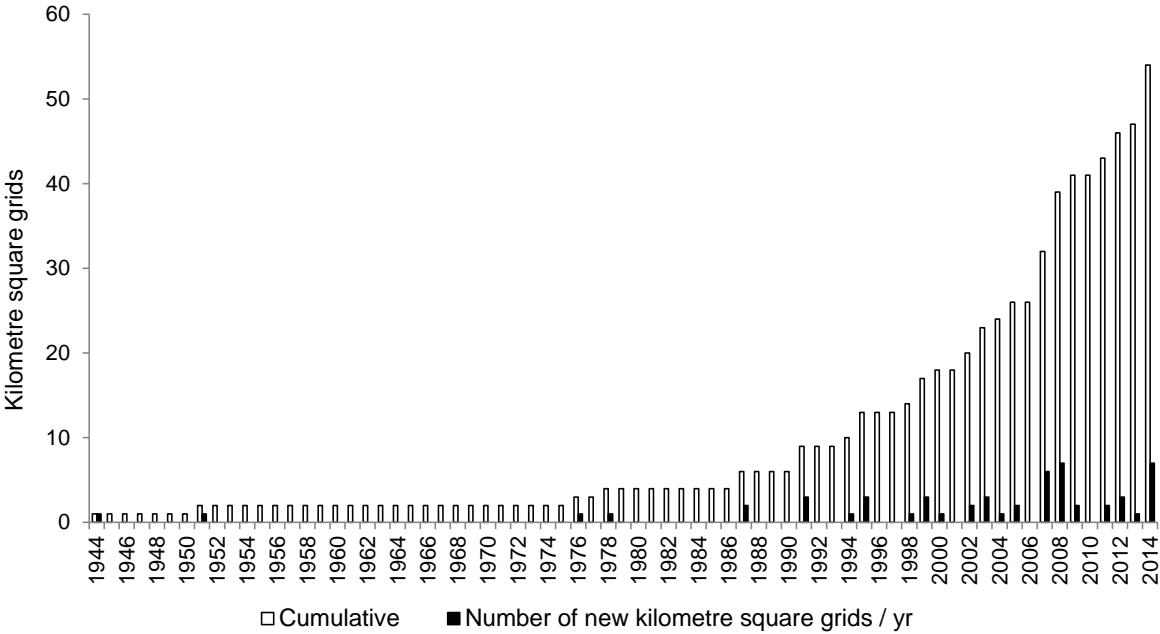


Figure 5.3: Yearly and cumulative records of Brazilian waterweed (*Egeria densa*) in the Netherlands.

After the year 2000, recordings of *E. densa* in the Netherlands have been made in nearly every year. The number of kilometre squares wherein the species is recorded per year varied from zero to eight, represented by the black columns in figure 5.3. In 2008 and 2014, seven *new* kilometre squares were recorded for *E. densa* where the plant had not been earlier observed. Since 1944, *E. densa* has been recorded in a total of 54 kilometre squares in the Netherlands (Figure 5.3). The cumulative total number of kilometre squares is represented by the white columns in figure 5.3 and is calculated by combining all new kilometre squares from the current and previous years. In some kilometre squares where *E. densa* was recorded in the past, more recent records have not been made, despite these areas being reasonably well surveyed. It can be assumed that the species no longer exists at these locations. The population recorded at Dodemanskisten on the island of Terschelling has definitely ceased to exist due to dredging and artificial drainage that occurred in 2013. Surveys of the area in 2014 found no evidence of the species. *E. densa* couldn't be found in

2014 at two other previously known locations, a ditch near Coevorden and a loam pit near Rhenen.

The number of new kilometre squares wherein *E. densa* was recorded per year is shown compared with the previous average winter temperature (December to February inclusive) in figure 5.4. The variation in the number of *E. densa* records per year is significantly correlated with the average temperature of the preceding winter ($R^2 = 0.080$; $P < 0.05$). The rank orders for severity of winters over the period 1901-2014 ($R^2 = 0.044$; $P > 0.05$) and the Hellmann values of winter periods (H; with $H = -\sum$ average daily temperature below zero degrees) ($R^2 = 0.041$; $P > 0.05$) are not significantly correlated with the yearly number of records. To date, records of population persistence during (very) cold or severe winters ($H > 100$) are scarce ($n=1$). However, many new *E. densa* records in the Netherlands ($n=25$) were made in the top ten hottest years since 1901. The records originating from the Doorn area occurred following period of mild winters (1971-1978). No *E. densa* records were made in the year following the severe winter of 1995 to 1996. In contrast, relatively many records were made in the year following the relatively mild winter of 2006 to 2007. Following the relatively hard winter at the end of 2009, the number of records reduced again.

E. densa tends to be recorded in urban and suburban areas in the Netherlands (Leewis *et al.*, 2013; Van Valkenburg, 2014), which agrees with literature that states that anthropogenic-mediated pathways are largely responsible for the introduction of *E. densa* to water bodies in its non-native range (Section 5.3.2). More than half of the recorded populations of *E. densa* in the Netherlands lie within urban and suburban areas, and at least 70% of recorded populations lie within 1 km of these areas. *E. densa* is mostly found in urban / suburban waters such as ponds and small canals. Additional records have been established in (amphibian) pools, drainage ditches, larger canals and clay pits.

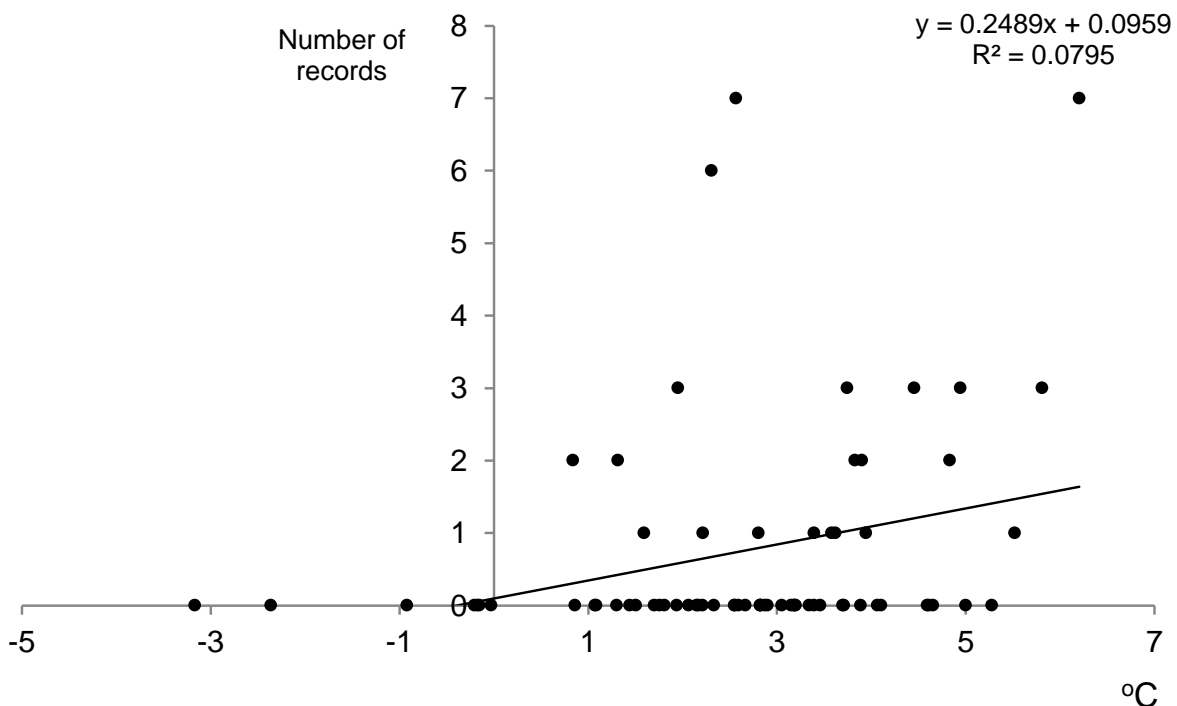


Figure 5.4: Number of new kilometre square grids featuring records of Brazilian waterweed (*Egeria densa*) in the Netherlands compared to the average previous winter temperature (1944-2014).

5.2.2. Colonisation of high conservation value habitats

To date, *E. densa* has been recorded in two kilometre squares within the Natura 2000 areas 'Meijendel & Berkheide' and 'Roerdal' in the Netherlands. However, during subsequent field visits to these kilometre squares, the species wasn't found, suggesting that the plants have since disappeared. Recently, a free floating stem was found in the marina at Nieuwkoop, just outside the Nieuwkoopse Plassen & De Haeck Natura 2000 area. It is as yet uncertain if there is a population of *E. densa* present at this location or where the stem originated from, or if the stem was purposely disposed of.

5.3. Pathways and vectors for dispersal

5.3.1. Dispersal potential by natural means

As *E. densa* reproduces vegetatively through branching, fragmentation and subsequent root production in the Netherlands, natural vectors that transport plant fragments are of utmost importance. Water current and certain animals may be partly responsible for the secondary spread of the plant (Table 5.2). Because of its poor root system that leads to easy detachment, *E. densa* is likely to naturally spread downstream, and is directed by the average wind direction (Mazzeo *et al.*, 2003). Plant fragments may be transported over long distances in flowing water, however, its North European range expansion appears to be limited (Lafontaine *et al.*, 2013).

5.3.2. Dispersal potential with human assistance

Overall, anthropogenic-mediated pathways are considered principally responsible for the establishment and spread of *E. densa* in its non-native range (Csurhes *et al.*, 2008; CABI, 2014). *E. densa* is a popular plant for hobbyists due to its hardiness, oxygenation capabilities and attractive bright green foliage and is introduced primarily via the aquarium trade, pet shops and water garden industry (State of Indiana, undated; Yarrow *et al.*, 2009; Lafontaine *et al.*, 2013). Moreover, it could be a contaminant in consignments of other aquatic plant and animal species (Coetzee *et al.*, 2011; CABI, 2014). For example, *E. densa* escaped from a pond close to Lake McLaren in the Bay of Plenty region, New Zealand after probable introduction as a contaminant on water lilies that were planted there (Howard-Williams *et al.*, 1987; De Winton *et al.*, 2009). *E. densa* is the preferred plant species for plant physiology studies, which may have also contributed to its spread (Coetzee *et al.*, 2011). Brunel (2009) undertook a survey examining the importation of non-native aquatic plants to 10 countries in Europe. The Netherlands imported circa 5 million units of aquatic plants in 2006 and was the largest importer, coming top of a list of countries constituting France, the Czech Republic, Germany, Hungary, Switzerland, Austria, Latvia, Turkey and Estonia. Almost 1.9 million units of *E. densa* plants (bundles of up to 10 stems) were imported to the countries studied per year, far exceeding any of the other plants examined. The Netherlands was the most prolific importer of *E. densa*, importing almost 1.7 million units in 2006, 90% of the total imports for all the countries studied. *E. densa* is mostly imported and sold in the Netherlands as *Elodea densa*, and sometimes as *Anacharis densa*, or *Philotria densa*.

The increase in e-commerce has exacerbated the problem of invasive plant sales, giving retailers the ability to advertise online and send plants in the post (Kay & Hoyle, 2001). E-

commerce has allowed importers direct access to customers and increasing access to plants sourced from other countries. Once bought, there is a risk that unwanted plants may be disposed of in the freshwater system. Internet sales and national advertising campaigns result in small quantities of plants being sent by mail to many tens of thousands of hobbyists distributed over wide areas. Moreover, the existence of dedicated websites results in the sharing and swapping of plants nationally and across international borders (Giltrap & Reed, 2009). A search of the Dutch marktplaats.nl in July 2014 using the term 'aquarium planten' (aquarium plants) produced more than 700 returns while a search for 'vijver planten' (garden pond plants) produced more than 300 returns. Marktplaats.nl is a website where both individuals and commercial enterprises list items for sale. National and international sales or sharing of water plants between individual consumers results in quarantine and regulation problems as small consignments sent by post are difficult to monitor and intercept (Giltrap & Reed, 2009).

A search of Google.nl using the search term '*Egeria densa*', uncovered two online plant retailer websites advertising plants for sale. However, one was located in the United States and the other in Romania. The addition of the Dutch word 'kopen' (buying) to the search term '*Egeria densa*' led to 11 websites of Dutch retailers selling the plant. The terms 'Braziliaanse waterpest' and 'Argentijnse waterpest' resulted in four and seven retailer's websites, respectively. All of these results were from retailers located in the Netherlands. The addition of the word 'kopen' to Braziliaanse waterpest resulted in 5 Dutch retailer websites offering the plant for sale. The search term 'Argentijnse waterpest kopen' produced 6 results of retailer's websites, of which 5 were Dutch and one was Belgian. None of the retailer's websites visited gave information regarding the invasive nature of *E. densa* or the importance of avoiding introductions of this species to the freshwater network on the retail page of any of the sites visited (Figure 5.5).

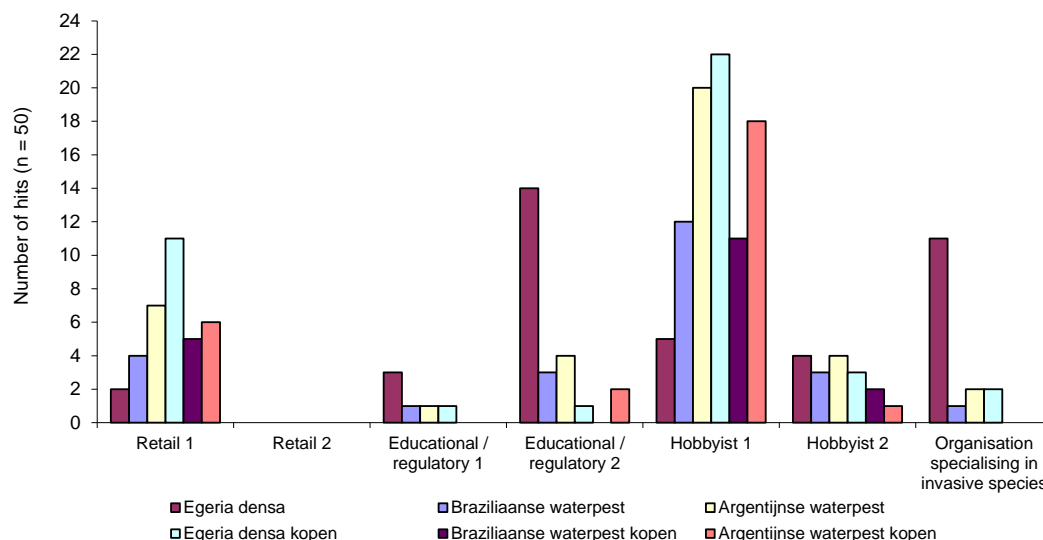


Figure 5.5: Type of websites (in Dutch and English) featuring Brazilian waterweed (*Egeria densa*) found via Google.nl using various search terms (search terms are visualised using different colours; 1: No direct reference is made to the plants invasive nature and / or measures recommended to prevent introduction; 2: A direct reference is made to the plants invasive nature and / or measures recommended to prevent introduction).

Less than 25% of the hobbyist websites referring to *E. densa* (kopen), Braziliaanse waterpest (kopen) or Argentijnse waterpest (kopen) also contained information on the invasive nature of this plant and its potential threat to native biodiversity. However, the number of hobbyist

websites and amount of content within hobbyist forums referring to Braziliaanse waterpest (kopen) and Argentijnse waterpest (kopen) suggest that this is a popular and frequently discussed aquarium plant in the Netherlands and Belgium.

Braziliaanse waterpest (kopen) and Argentijnse waterpest (kopen) were referred to in eleven educational or regulatory websites. These were all written in the Dutch language. Nine of the eleven websites contained information relating to the invasive nature of Braziliaanse waterpest and Argentijnse waterpest and the potential threat that they pose to biodiversity. This highlights a high level of awareness of the potential invasive nature of *E. densa* in these organisations and a wish to communicate this to the public. The high level of educational material present may be an indication of the effect of the Dutch code of conduct for aquatic plants, introduced in 2010, that stimulates government and water-boards to carry out educational campaigns to inform the public about the risks associated with invasive aquatic plants (Verbrugge *et al.*, 2013). In total, 19 educational or regulatory websites referred to *E. densa* (kopen) and of these, 15 contained information relating to the invasive nature of *E. densa* and the potential threat that it poses to biodiversity. The majority of these were English language websites, however.

Organisations focussing solely on invasive species were best represented when the search term '*Egeria densa*' was used. According to these results, information in the Dutch language relating to the invasive nature of the 'Braziliaanse waterpest' or 'Argentijnse waterpest' is moderately available on educational and regulatory websites via Google.nl. However, the number of online retailers selling the plant identified as either Braziliaanse waterpest, Argentijnse waterpest or *Egeria densa* shows that the plant is readily available in the Netherlands.

In 2012, a survey of aquatic plant retailers in the Netherlands was conducted to assess the effectiveness of the Dutch code of conduct for aquatic plants. The code of conduct was introduced in 2010 in the Netherlands and is a non-binding agreement between government and water-plant retailers that aims to limit the supply of potentially invasive water-plants and inform buyers of their correct disposal. *E. densa* is categorised in appendix 2 of the code of conduct meaning that it is not banned from sale, but should be supplied with information relating to its potential invasiveness and correct disposal. However, the results of a 2012 survey of retailers in the Netherlands supplying bunches of oxygenating plants containing *E. densa* showed that only 7 out of forty bunches examined were labelled correctly (Verbrugge *et al.*, 2014).

E. densa is often found near sites of human activity suggesting that humans are responsible for the initial stages of *E. densa* introduction in the Netherlands and elsewhere (section 5.2.1; Darrin, 2009; Compton *et al.*, 2012). If a plant is no longer wanted, owners are more likely to release plants to nearby water bodies than kill them (Kay & Hoyle, 2001; Lafontaine *et al.*, 2013). It is highly likely that most populations of *E. densa* in Western Europe (Belgium included) and in several Asian and Pacific countries are the result of separate successive disposal events of aquarium or pond plants into the wild (Lafontaine *et al.*, 2013). The results of a recent survey examining the behaviour of aquarium and water garden owners in the Netherlands showed that 2.9% (n = 7) of the 239 respondents had disposed of aquatic plants in open water (Verbrugge *et al.*, 2013). This number is virtually unchanged in comparison with a similar survey undertaken in 2011. Moreover, further proof of voluntary introductions is

provided by the occasional occurrence of common garden pond plants and animals in Dutch waters with examples of pumpkinseed sunfish (*Lepomis gibbosus* (L.)). This fish species was introduced to the Netherlands in 1902 as an aquarium and garden pond fish (Van Kleef *et al.*, 2008). Aquatic plants may be transported and released intentionally when they are used to buffer fish during illegal fish introductions or as packing for fish ova, or unintentionally if they accidentally accompany introduced fish (e.g., Johnstone *et al.*, 1985). In New Zealand, locations where *E. densa* was recorded were also colonised by other non-native macrophytes, consistent with introduction via the aquatic plant trade or plant disposal (Champion & Clayton, 2000). A Canadian study found that *E. densa* was among those species with the highest measured propagule pressure among thousands of non-indigenous plant propagules introduced to the St Lawrence Seaway each year as a result of the Montreal aquarium trade (Cohen *et al.*, 2007).

Explicit records on dispersal of *Egeria densa* by aquatic animals are not available. However, dispersal of seeds or plant fragments by water fowl is quite likely based on records of comparable species such as *Elodea Canadensis* (Brochet *et al.*, 2009).

Table 5.2: Potential dispersal vectors / mechanisms of Brazilian waterweed (*Egeria densa*).

Vector / mechanism	Mode of transport	Examples and relevant information	References
Trade	Overland (national / international)	E-commerce, plants transported in the post, bulk transport	Champion & Clayton (2000); De Winton <i>et al.</i> (2009); Brunel (2009); Meacham (2001); Yarrow <i>et al.</i> (2009); Lafontaine <i>et al.</i> (2013)
Hobbyists	Overland	Disposal of unwanted plants	Wilson <i>et al.</i> (2007); Lafontaine <i>et al.</i> (2013)
Boats / trailers (hull, anchor line, engine, other parts of a boat)	Upstream / downstream, overland	Occurs as a result of improper cleaning and movement from water body to water body	Westerdahl & Getsinger (1988); Meacham (2001); Department of Ecology Washington (2014); Lafontaine <i>et al.</i> (2013)
Flooding	Downstream, overland	Escape of plant fragments from the flooding of private ponds	Darrin (2009)
Weed harvesters	Upstream / downstream, overland	Machinery not properly cleaned and moved from water body to water body	De Winton <i>et al.</i> (2009); Lafontaine <i>et al.</i> (2013)
Water current	Downstream	Plant fragments transported in flowing water	De Winton <i>et al.</i> (2009); Csurhes <i>et al.</i> (2008)
Human clothes and footwear	Overland		Lafontaine <i>et al.</i> (2013)
Fishing equipment	Upstream / downstream, overland	Occurs as a result of improper cleaning and movement from water body to water body	Lafontaine <i>et al.</i> (2013)
Aquatic animals	Over land / via water	Seeds and plant fragments attached extremities or feathers of water fowl (e.g., ducks)*	Brochet <i>et al.</i> (2009)

* Explicit records for *Egeria densa* are not available, but records of comparable species (e.g., *Elodea canadensis*).

The potential for introduction of a species repeatedly and on a large scale into a new area is one of the most important factors that lead to invasiveness (Randall & Marinelli, 1996; Riis *et al.*, 2012). Therefore, the high level of imports, recent increase in e-commerce and consumer behaviour increase the likelihood that invasive species such as *E. densa* will establish or increase their distribution in the Dutch freshwater network.

Following the introduction of *E. densa* to the freshwater network, secondary spread may be facilitated by fragmentation and vegetative growth. Seeds only appear within *E. densa*'s native range of South America (Darrin, 2009). Therefore, vectors that transfer plant fragments are of great importance (Table 5.2). Vegetative fragments are transferred between water bodies by boats and trailers, fishing, on human clothes and footwear, weed harvesters and other maintenance equipment (Westerdahl & Getsinger, 1988; Washington State Department of Ecology, 2014; Meacham, 2001; De Winton *et al.*, 2009; Lafontaine *et al.*, 2013). *E. densa* can tolerate desiccation for a short period which may facilitate its overland dispersal. Barnes *et al.* (2013) observed that at 25°C one hour of drying reduced viability to approximately 40 % and 3 hours of drying to approximately 8 %. The flooding of private ponds and infected water bodies within floodplains may also result in the spread of fragments overland (Darrin, 2009; Lafontaine *et al.*, 2013).

5.4. Invasiveness

Egeria densa was first recorded in the Netherlands in 1944 near Dordrecht (Van Ooststroom *et al.*, 1964). In 1951, herbarium samples were taken from a pond in Bussum. According to the label that accompanied the sample, the species had already been present for 10 years prior to the time of sampling and had flowered regularly during this time. No *E. densa* records are available in the Netherlands for the 1960s. The next record occurred in the summer of 1976 when *E. densa* was observed in a small canal in the municipality of Doorn. In 1977 the plant was also found at a second location close by in the Gooyerwetering area (Floristenclub Gelderse vallei, 1978; Mennema & van Ooststroom, 1977). Further records exist from the Doorn area till 1991 after which no further records were made at this location. After the year 2000, recordings of *E. densa* in the Netherlands have been made nearly every year. The number of kilometre squares wherein the species is recorded varied from 0 to 8 per year. In 2008 and 2014, seven *new* kilometre squares were recorded for *E. densa* where the plant had not been earlier observed. Since 1944, *E. densa* has been recorded in 54 kilometre square grids in the Netherlands.

Although its non-native range is extensive there are conflicting reports regarding *E. densa*'s ability to colonise countries neighbouring the Netherlands. It was first recorded in the United Kingdom in Ashton Canal, Droylesden in 1953 but it has not become invasive and there is no evidence of spread from naturalised populations. Until recently it was only found in a few canals and mill-lodges, but has spread rapidly over the last few years (Dadds & Bell, undated). An increasing number of population complexes may have resulted from fragment spread. There are fewer than twenty 10 km squares recordings of *E. densa* in the United Kingdom (GB Non-native Species Secretariat, 2014). *E. densa* was first recorded on the island of Ireland in 1988 and to date only two records exist (Millane & Caffrey, 2014).

E. densa was first recorded in Belgium in 1999 in a small pond in Ezemaal (Robijns *et al.*, 2002). At present the species does not show very effective natural dispersal (Lafontaine *et al.*, 2013). The number of records has increased subsequently and the species is naturalised in a few locations in Flanders (Denys *et al.*, 2004), and could locally become invasive (Branquart, 2013). *E. densa* has been recorded in isolated populations (1 to 5 localities) in Kempen, Northern Belgium, bordering the Netherlands (Lafontaine *et al.*, 2013).

In Germany, *E. densa* was first recorded in 1910 in the Elster-Saale Canal near Leipzig. The plant was removed and has never since been recorded at this location. In 1914 it was recorded in the River Niers but did not survive. From 1932 until the 1950's *E. densa* grew in a thermally polluted canal at Karlsruhe. From 1974 to 1976 it was recorded in a pit at Birkenfeld, Pfalz. The species is now present in six Länder and established in the river Erft, North Rhine-Westphalia, bordering the Netherlands, and Baden-Württemberg (Hussner, 2010). However, since 2003, the abundance of *E. densa* in the river Erft has declined while the abundance of other non-native plants e.g. water lettuce (*Pistia stratiotes* L.) and tape grass (*Vallisneria spiralis* L.) have either remained stable or significantly increased in the river. Moreover, the river Erft is not representative of the German climate as it is a thermally polluted river whose temperature does not dip below 10°C in winter (Hussner, 2014).

A study of Wells & Clayton (1991) on Lake Rotorua, New Zealand, showed that *E. densa* was able to arrive and spread to 96% of sampled sites in less than six years. At the initial site of entry coverage increased from 10% to 100% in the near shore area (1.5-3 m) within two years. The plant was the most abundant aquatic plant in the 81 km² lake five years after its initial establishment (Wells & Clayton, 1991). Lake Rotorua is located in an area with geothermal activity. The lake is fed by thermally polluted river water and the water temperature fluctuates between 9 and 24 °C (Hamilton & McBride, 2013).

In the United States, *E. densa* was able to completely cover a 8.5 km² lake within two years in ideal growing conditions (Washington State Department of Ecology, 2014). However, according to the Koppen-Geiger climate classification, both these locations are dissimilar to the Netherlands climatologically (Rubel & Kottek, 2010).

According to CABI (2014), Brazilian waterweed (*E. densa*) has dispersed to 27 countries outside of its native range and is recorded as an invasive species in 12 (44%) of these countries. According to the Koppen-Geiger climate classification, parts of five countries climatically match with the Netherlands (France, Germany Italy, Switzerland and the United Kingdom).

6. Impacts

Impacts related to Brazilian waterweed (*Egeria densa*) are related to its abundance. To date in the Netherlands, no positive or negative impacts relating to *E. densa* have been reported. However, if the plant were to become abundant then impacts may be expected. *E. densa* has, to date, not become invasive in neighbouring countries despite being present for decades in a number of cases (Section 5.4). For example, in the United Kingdom no major negative ecological or socio-economic impacts have been observed since it was first recorded in 1953 (except in Cornwall in south-west England; Plantlife, 2010), and are unlikely to occur unless populations increase significantly (Lansdown, 2011). However, other closely related species such as curly waterweed (*Lagarosiphon major*) and nuttall's waterweed (*Elodea nuttallii* (Planchon) St. John) have caused ecological and socio-economic impacts in Ireland (Caffrey *et al.*, 2006; Caffrey *et al.*, 2011). Therefore, it is suggested that *E. densa* may have the potential to emulate this (Millane & Caffrey, 2014).

The following paragraphs describe impacts resulting from *E. densa* colonization seen in countries experiencing high abundances of this waterweed. Similar impacts will occur in the Netherlands only if the plant becomes at least locally abundant.

6.1. Ecological effects

6.1.1 Impacts on native species

Adverse effects

Macrophytes

The major adverse impacts of *E. densa* on native species are related to interference and exploitation competition. Under favourable conditions, *E. densa* can grow up to 0.4 cm per day and form a dense surface reaching canopy, even in low light, that can quickly out-compete native macrophyte species (De Winton & Clayton 1996; Champion & Clayton, 2000; Carrillo, 2006; Washington State Department of Ecology, 2014; Yarrow *et al.*, 2009; Branquart, 2013; Lafontaine *et al.*, 2013; GB Non-native Species Secretariat, 2014). *E. densa* possesses a canopy that is denser than other non-native species such as *L. major*, favouring mono-specific stands which often colonise entire water bodies (Hofstra *et al.*, 1999; Roberts *et al.*, 1999; Branquart, 2013). Moreover, a tolerance of low light may allow *E. densa* to establish in deeper water than some native species giving it an additional competitive advantage (Wells *et al.*, 1997). On the other hand, in clear waters *E. densa* forms a canopy sometimes 2-3 m below the surface avoiding the near-surface high-light habitat (Wells *et al.*, 1997). Therefore, other less light sensitive plants may be able to overgrow and eventually exclude *E. densa* in water bodies featuring high transparency (Hofstra *et al.*, 1999).

There are few examples of the competitiveness of *E. densa*. However, these cases are not representative for the temperature regime of water bodies in the Netherlands under current climatic circumstances (section 5.4). In the river Erft, North Rhine-Westphalia, Germany, *E. densa* suppressed the formerly widely distributed native broad leaved pondweed (*Potamogeton natans*) and fennel pondweed (*Potamogeton pectinatus*) and potentially displaced Canadian waterweed (*Elodea canadensis*) and *E. nuttallii* (Friedrich, 1973;

Diekjobst & Wolff, 1995; Hussner & Losch, 2005). Since 2003, the abundance of *E. densa* in the river Erft has declined while the abundance of other native and non-native plants has remained stable or significantly increased (Hussner, 2014). In New Zealand, *E. densa* became widespread and locally displaced assemblages of native macrophytes (Champion & Tanner, 2000). *E. densa* was able to grow deeper and denser than either *L. major* and *E. canadensis*, resulting in displacement of these species (Champion & Clayton, 2000). In Kotukutuku Bay, New Zealand, *E. densa* dominated to 10 m depth (Wells *et al.*, 1997). Moreover, seed number and seed species richness were significantly lower at sites where the macrophyte vegetation was dominated by *E. densa* and other adventive weeds, compared with a predominantly New Zealand native vegetation (De Winton & Clayton, 1996). *E. densa* is also stated to out-compete *E. canadensis* in North America (Mony *et al.*, 2007).

E. densa has no known natural pathogens and genetic effects are not expected as no European congeneric species exist (Darrin, 2009; Lafontaine *et al.*, 2013).

Macroinvertebrates and plankton

Changes in light and nutrients levels resulting from the establishment of dense *E. densa* beds may impact plankton communities (Darrin, 2009). A study comparing open water with *E. densa* beds in a lake in Uruguay showed that chlorophyll *a* was significantly lower and the zooplankton community significantly different in *E. densa* beds (Mazzeo *et al.*, 2003). Canopy forming aquatic plants such as *E. densa* tend to shade out phytoplankton lower in the water column (Yarrow *et al.*, 2009). *E. densa* may affect local ecosystem functioning for plankton species. Plant beds may act as a refuge, and also as a feeding zone for zooplankton, dependent on the abundance of planktivorous fish and density of macrophyte stands (Mazzeo *et al.*, 2003). Moreover, in New Zealand, greater rotifer abundances were generally found on *E. densa* beds compared with two other aquatic plant species, the tall spike rush (*Eleocharis sphacelata* R. Br.) and the spiked water milfoil (*Myriophyllum propinquum* A. Cunn.) (Duggan *et al.*, 2001). In an Argentinian study, *E. densa* was found to have a relatively low mean fractal dimension, a measurement of complexity, compared to other aquatic plants. This was related to a lower abundance of macro-invertebrates present on *E. densa* than other plant species. Fractal dimension increased in the following sequence: *E. densa* → broad leaf pondweed (*Stuckenia striata* (Ruiz & Pavon) Holub) → South American waterweed (*Elodea callitrichoides* (L.C. Richard) Caspary) → Hornwort (*Ceratophyllum demersum*). However, fractal dimension was not related to macroinvertebrate biomass, richness, and diversity (Ferreiro *et al.*, 2011).

Fish

The presence of invasive aquatic plant species impacts on fish populations. Heavy infestations confer no oxygen benefit to fish or other animals (Ramey, 2001). *E. densa* has been reported to negatively affect fish communities. Dense *E. densa* beds are a poor habitat for aquatic animals and are less palatable to fish species than other aquatic macrophytes (State of Indiana, undated; Branquart, 2013). As a result, selective herbivory of native macrophytes may occur (Lake *et al.*, 2002). When present in high abundance, *E. densa* can cause imbalances in the fish population (State of Indiana, undated). Growns *et al.* (2003) state that *E. densa* stands are likely to feature a different fish assemblage than those of native macrophytes. Moreover, large fish species could have more difficulty migrating through dense stands of *E. densa*, and dense beds of invasive exotic macrophytes have been linked with reduced foraging efficiency and success in fish (Engle, 1995; Johnson *et al.*,

2006). A Californian study reported higher catches of centrarchid fish due to the presence of *E. densa* in a river delta (Brown & Michniuk, 2007). The centrarchidae are all native to North America, however, pumpkinseed (*Lepomis gibbosus*) has been introduced to the Netherlands (Van Kleef *et al.*, 2008). Increases in *E. densa* abundance in the Netherlands may provide habitat and increase the spread of non-native fish species such as *L. gibbosus*.

Positive effects

Despite potentially altering community structure, *E. densa* appears to promote relatively diverse communities of phytoplankton, zooplankton and fish (Mazzeo *et al.*, 2003, Pelicice & Agostinho, 2006). In general, macrophytes can exercise a positive influence on epiphytic macroinvertebrates and many benthic macroinvertebrates (Yarrow *et al.*, 2009). Large *E. densa* beds provide protection and a feeding ground for various zooplankton species (Darrin, 2009)

Certain fish species benefit from the protection and extra food provided by *E. densa* beds. *E. densa* is eaten by a number of herbivorous species (Osborne & Sassic, 1981; Pelicice *et al.*, 2005). *E. densa* beds provide protection for juveniles as well some small adult fish (Darrin, 2009). In a study of *E. densa* in a Brazilian reservoir, macrophyte biomass, volume and proportional volume were strongly correlated with fish density and species richness (Pelicice *et al.*, 2008). The reservoir was colonized by smaller fish species that used the macrophyte beds as shelter against predators. However, open water species may become more vulnerable to predators due to reduced turbidity following *E. densa* invasion (Ferrari *et al.*, 2014).

Bird species that forage in dense macrophyte beds may benefit from the presence of *E. densa*. A study from Florida, USA, showed that native birds utilized *E. densa* mats primarily as foraging sites but comparisons with native macrophyte beds were not made (Bartodziej & Weymouth, 1995; Yarrow *et al.*, 2009).

E. densa has been demonstrated to have a species-specific inhibitory effect on three species of blue-green algae during laboratory experiments (Nakai *et al.*, 1999).

6.1.2. Alterations to ecosystem functioning

Adverse effects

Non-native *E. densa* affects light, nutrient availability and sedimentation, drastically altering native environments and in doing so, meeting the definition of an autogenic ecosystem engineer (Jones *et al.*, 1994). The mechanism by which *E. densa* works as an ecosystem engineer is illustrated in figure 6.2. A high density of *E. densa* decreases water turbulence, leading to a reduction in sediment re-suspension and an increase in sedimentation (Fig. 6.3). Reduced sediment re-suspension increases light penetration, maintaining the clear water ecosystem state. Nutrients are sequestered into the sediments reducing the standing stock of phytoplankton. Zooplankton abundance increases since *E. densa* stands act as a refuge from predation. However, in the long term these feedback mechanisms may generate adverse conditions for macrophyte development due to increases in sediment depth (Adapted from Jones *et al.*, 1994; Yarrow *et al.*, 2009; Lafontaine *et al.*, 2013).

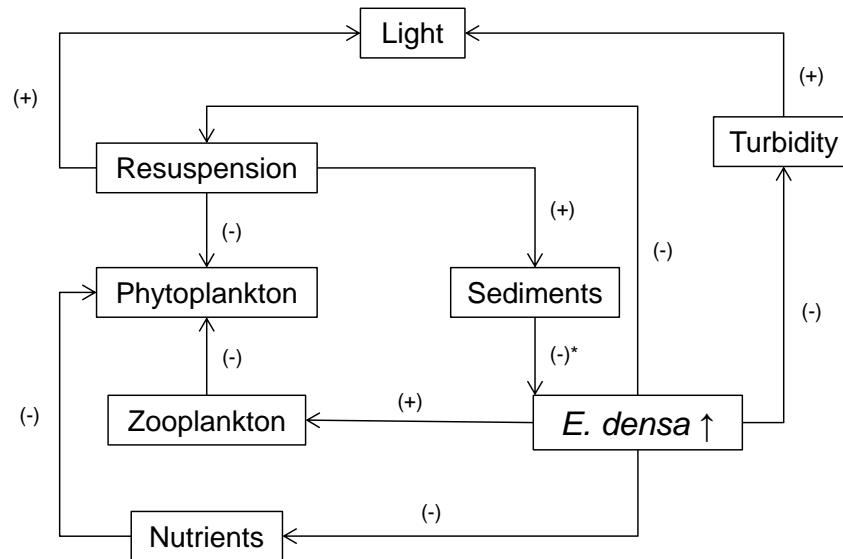


Figure 6.2: Brazilian waterweed (*Egeria densa*) as an ecosystem engineer (Adapted from Jones *et al.*, 1994; Yarrow *et al.*, 2009; Lafontaine *et al.*, 2013). -: decrease; +: increase.

In high densities, *E. densa* may cut off light, deplete oxygen, increase water temperature, alter nutrient cycles and alter the morphology and hydrology of rivers and lakes by restricting water movement and trapping sediments (Mazzeo *et al.*, 2003; Branquart, 2013; CABI, 2014; GB Non-native Species Secretariat, 2014). Moreover, in a New Zealand study, *E. densa* was the only aquatic plant in a group containing *E. canadensis*, *C. demersum*, *L. major* and curled pondweed (*Potamogeton crispus* L.) to be significantly correlated with lakes moving between a clear water state and turbid state (Schallenberg & Sorrel, 2009).

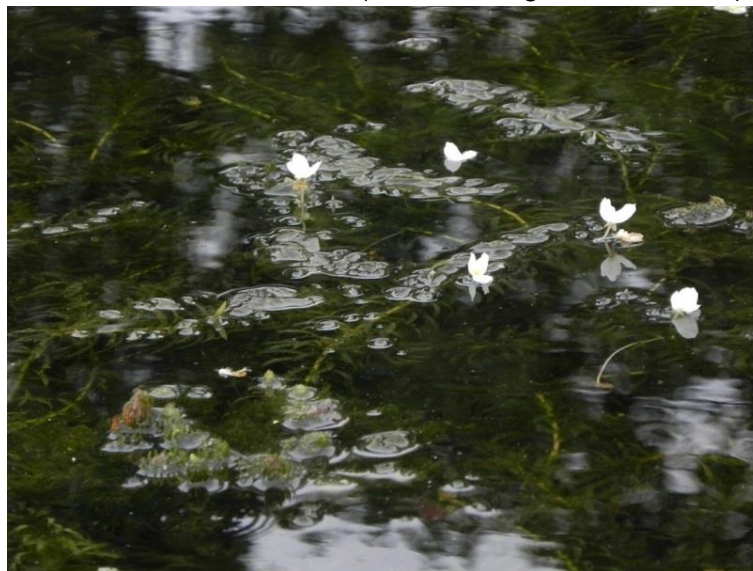


Figure 6.3: Dense vegetation of Brazilian waterweed (*Egeria densa*) at Hoogeveen, the Netherlands (Photo: J. van Valkenburg).

Sediments

In areas of significant infestation (such as the USA, Australia and New Zealand), *E. densa* traps suspended particles and nutrients, and prevents wind mixing (Darrin, 2009; GB Non-native Species Secretariat, 2014). Yarrow *et al.* (2009) states that the trapping of sediment and reduction in current velocity associated with dense *E. densa* beds increases light

attenuation and promotes plant growth. However, in New Zealand, *E. densa* has been implicated in contributing to the collapse and decline of vegetation as a result of modification to sediments in many Waikato shallow lakes (Champion & Clayton, 2000). Increased sedimentation due to changes in water velocity and anaerobic processes in the sediment layer may result from dense *E. densa* colonization (Yarrow *et al.*, 2009; G. van der Velde, pers. comm.).

Dissolved oxygen

The growth of aquatic macrophytes may lead to local changes in dissolved oxygen concentration. In a study of dissolved oxygen in *E. densa* beds in a lake in Uruguay, oxygen levels were significantly higher in the *E. densa* beds compared to the open water zone during April and May. In summer, higher dissolved oxygen levels were detected in open waters when the phytoplankton biomass increased (Mazzeo *et al.*, 2003). Changes in stratification may occur due to more dissolved oxygen near to the bottom of *E. densa* stands and less at the surface (Darrin, 2009).

Oxygen depletion results from plant decomposition following mass plant die-offs. Mass mortality of *E. densa* may lead to higher levels of decomposing material, which increases nutrient loads, decreases oxygen concentration and alters the redox potential particularly where there is little water flow (Rose & Crumpton, 1996; Washington State Department of Ecology, 2014; Yarrow *et al.*, 2009; Bianchini *et al.*, 2010; GB Non-native Species Secretariat, 2014).

Nutrients

E. densa efficiently absorbs nutrients such as ammonium, nitrate and phosphorus from the sediment and water column, thus changing the composition of the water as well as the sediment in macrophyte beds (Mazzeo *et al.*, 2003). Studies show that nitrogen and phosphorus levels in sediment are lower near *E. densa* beds than in areas without *E. densa* (Barko & James, 1998; Mazzeo *et al.*, 2003). As an example of the degree of nutrient sequestration, Søndergaard & Moss (1998) cite an instance where *Elodea* (originating from the same family as *E. densa*) contained over 60 % of nitrogen and phosphorus in a shallow lake system (excluding sediment). Strong competition for nutrients may be an additional reason why *E. densa* may be able to out-compete native plant species.

Changes in redox potential as a result of oxygen depletion due to *E. densa* increase the potential for phosphorus release from sediment. The presence of iron-bound and redox-sensitive phosphorus in the sediment increase the likelihood of this occurring (Søndergaard & Moss, 1998).

Mass plant mortality may result in changes in biogeochemical cycles, a reduction of plant diversity (Meyerson *et al.*, 2000), an increase in primary productivity (Jordan *et al.*, 1990) and changes to trophic relationships (Batzer, 1998).

Temperature

E. densa absorbs sunlight which may lead to an increase in local water temperature (GB Non-native Species Secretariat, 2014). The results of a Uruguayan study indicated that lake temperature was higher in *E. densa* beds compared to open water, but the difference was generally lower than 1°C (Mazzeo *et al.*, 2003).

pH

A study comparing open water and *E. densa* beds in a lake in Uruguay indicated that the photosynthetic activity of plants and microalgae influenced the spatial pattern of pH. Lake water was more alkaline within the zones with plants in spring, and more alkaline in the zone without plants during summer (Mazzeo *et al.*, 2003).

Positive effects

In a New Zealand study, *E. densa* played an important role in promoting habitat heterogeneity by inducing a greater variation in flow velocity, and providing large stable low flow areas (Champion & Tanner, 2000).

It is probable that structural changes to habitat resulting from mature *E. densa* stands will better suit cyprinid, perch and pike populations than salmonid species. Salmonids have a preference for open water conditions while the cyprinids, perch and pike commonly seek the cover provided by dense weed beds (Caffrey & Acavedo, 2007). Moreover, the height and complexity of the plant canopy in beds of non-native species result in a physical change in habitat that appears to provide more habitat for zoobenthic prey, more resting areas for benthic fish such as bullies, and greater refuge from top predators than in native beds (Gilinsky, 1984; Keast, 1984; Gotceitas, 1990; Schriver *et al.*, 1995; Valley & Bremigan, 2002).

6.2. Socio-economic effects

Adverse effects

In high densities, *E. densa* disrupts navigation and hinders water-sports, fishing, and swimming (GB Non-native Species Secretariat, 2014). It may also clog agricultural irrigation intakes, negatively affect the exploitation of commercial fish stocks, impede water flow increasing the risk of adjacent flooding, trap sediment, clog municipal water intakes and the unsightly mats may diminish property values (State of Indiana, undated; Branquart, 2013; GB Non-native Species Secretariat, 2014). In southeast Brazil and New Zealand, *E. densa* growth results in financial losses to hydroelectric companies due to interruptions to electricity generation and damage to grids and equipment (Barreto *et al.*, 2000; Csurhes *et al.*, 2008).

E. densa is very expensive to control when it reaches nuisance levels (State of Indiana, undated). The cost of removal of *E. densa* from lakes and reservoirs to some USA states is several million dollars per year (CABI, 2014). Between 1994 and 2000, 530,300 dollars (420,100 euros; Date of exchange rate 1 October 2014) was spent on the management of *E. densa* in various lakes in Washington, USA. This constituted over 15% of the total budget for the management of invasive water plants in the state (Washington State Department of Ecology, 2014). Large-scale management projects in the United States have cost up to three million dollars (2.38 million euros; Date of exchange rate 1 October 2014) (Johnson *et al.*, 2006).

The banning of *E. densa* from sale may have significant impact on the aquatic plant trade. *E. densa* is one of the most frequently imported aquatic plant species to the Netherlands and is a popular aquarium plant. Attempts at banning the plant may result in resistance from the

retail sector (Verbrugge *et al.*, 2013). However, resistance may be moderated by the provision of alternative aquatic plants that may be sold in place of *E. densa* (See section 8.1).

Positive effects

It has been reported that harvested *E. densa* could be used to feed broiler chicks. When dried the plant can constitute 5% of the diets of human bred waterfowl without any impact on health (Dillon *et al.*, 1988). Boyd & McGinty (1981) found that *E. densa* had the second highest percentage of digestible material and protein of eight submerged aquatic weed species. Investigations have been carried to assess the growth of the oyster mushroom (*Pleurotus ostreatus* (Jacq.) P. Kumm) on *E. densa* in order to evaluate the possible use of spent biomass and fruiting bodies in the production of human and animal foods (Martinez-Nieto *et al.*, 2014).

In studies examining biosorbents, *E. densa* was observed to have a good metal removal potential that could possibly be applied in effluent treatment systems (Juliana *et al.*, 2009).

Weeds may also be composted and the resulting fertilizer applied to land (Dorahy *et al.*, 2009).

6.3. Public health effects

Adverse effects

Dense mats of *E. densa* may have contributed to the drowning of a doctor who was trying to rescue a swimmer struggling in the water (Johnson *et al.*, 2006; Lansdown, 2011). Reports from the USA and Australia state that in high densities *E. densa* creates mosquito breeding areas (GB Non-native Species Secretariat, 2014).

Positive effects

No information regarding positive public health effects of *E. densa* was found in the literature.

7. Available risk classifications

7.1 Formal risk assessments

Risk classifications are available for a number of European countries and Australia (Table 7.1). Full formal risk assessments have been carried out in Belgium, Ireland and Australia.

Table 7.1: Overview of risk classifications previously performed for Brazilian waterweed (*Egeria densa*).

	Belgium	Luxembourg	Ireland	Switzerland	Europe	Australia	United States
Scope	Ecological risk assessment	Risk prioritisation method	Ecological risk assessment	Risk prioritisation method	Risk prioritisation method	Ecological risk assessment	Risk prioritisation method
Method	ISEIA	ISEIA	Non-native species application based risk analysis (NAPRA) tool (version 2.66) (2013)	Swiss risk assessment scheme	The Aquatic Weed Risk Assessment Model (AWRAM)	Australian aquatic weed risk assessment model (AWRAM)	Expert judgement method
Year	2007	2013	2013	2004	2010	2008	2002
Risk classification	High (12)	High (11)	Moderate	High risk (33)	Banned species (64)	High risk (82)	Lesser threat (Rank 3)
Source	http://ias.biodiversity.be/species/show/54 ; Lafontaine <i>et al.</i> (2013)	Ries <i>et al.</i> (2013)	Millane & Caffrey (2014)	Weber & Gut (2004)	Champion <i>et al.</i> (2010)	Csurhes <i>et al.</i> (2008)	Bowen <i>et al.</i> (2002)

In Belgium, Brazilian waterweed (*Egeria densa*) scored 12 out of a possible 12 using the ISEIA protocol. Following this, the Belgium Forum on Invasive Species (BFIS) categorised *E. densa* as an A1 species defining it as exhibiting isolated populations in Belgium and displaying high environmental hazard (Branquart *et al.*, 2013). As a result, *E. densa* was placed on a black list for exotic species present in Belgium including species that are highly detrimental to biodiversity. In Ireland, *E. densa* was judged to pose a moderate risk to Irish biodiversity. This result was allocated a medium confidence level and was based on knowledge of the negative impacts that similar non-native aquatic plant species have had in Ireland (Millane & Caffrey, 2014). In Australia, an assessment carried out in 2008 using the Australian aquatic weed risk assessment model scored *E. densa* 82 out of 130 for ecological risk (Csurhes *et al.*, 2008).

7.2 Other risk classifications

In Luxembourg, *E. densa* scored 11 out of a possible 12 using the ISEIA protocol. Following this, *E. densa* received an A0 classification, defining the species as absent from Luxembourg but displaying high environmental hazard (Ries *et al.*, 2013). In Switzerland, *E. densa* scored 33 out of a possible 39 (high risk) in a trial of the Swiss risk assessment scheme (Weber & Gut, 2004). In an assessment using the Aquatic Weed Risk Assessment Model (AWRAM) applied to a number of European and Mediterranean Plant Protection Organization (EPPO) quarantine list, alert list and priority species, *E. densa* was defined as a banned species. In

this assessment *E. densa* scores 64 out of a theoretical 100 (Champion *et al.*, 2010). Species scoring over 50 are managed either by banning their sale or by statutory control. Finally, a ranking method using expert judgement was applied in the state of Tennessee, the United States to risk prioritise a number of non-native plant species. *E. densa* was classified in a lesser threat group (Rank 3). Rank 3 species spread in or near disturbed areas, but are not, at the time of the assessment, considered a threat to native plant communities (Bowen *et al.*, 2002).

8. Management options

8.1. Prevention

Combating the introduction of invasive plant species involves a number of stages that should be applied in order. The first stage involves the prevention of spread of the species across international borders. The second stage involves the prevention of the release of plants to the freshwater system from isolated locations such as aquaria or garden ponds, by accident or deliberately. The third stage involves the prevention of dispersal through connected waterways and overland via vectors from the site of introduction. The main distribution channel or vector for plant spread is the trade in plants for aquaria and garden ponds.

In the Dutch code of conduct for aquatic plants (2010), Brazilian waterweed (*E. densa*) has been declared a list 2 species. This means that it should only be sold when accompanied with a warning about its invasiveness. This should help stop the release of plants into open water by hobbyists who are unaware of the plants invasive nature or how to properly dispose of it. The results of a survey of stakeholder groups including aquarists, water gardeners and plant retailers in 2012 into the effectiveness of the Dutch code of conduct revealed that *E. densa* was included in a group of species that were most often named by respondents as non-native (Verbrugge *et al.*, 2014). However, *E. densa* is often sold in bunches containing several species. In 2012, 40 out of a total of 44 Dutch retailer sites sampled were offering *E. densa* for sale as part of oxygenating plant bunches. Of these, around 18 percent were correctly labeled in line with the guidelines of the code of conduct (Verbrugge *et al.*, 2014).

In an assessment of a voluntary code of conduct in North America, Burt *et al.* (2007) found that factors such as awareness of invasive plants and involvement in trade associations significantly predict increased participation in preventive measures. Moreover, the authors identified incentives and obstacles to participating in preventive behaviours including concern for the environment and a lack of information.

The selling of alternative, similar aquatic plants in place of *E. densa* may also be considered. The following alternative aquatic plant species are suggested for use in cold water aquaria and garden ponds:

- Canadian pondweed (*Elodea canadensis*). This plant is easy to maintain and relatively cheap to produce. *E. canadensis* is a non-native species, but became established in the Netherlands long ago.
- Nuttall's waterweed (*Elodea nuttallii*). Similarly to *E. canadensis*, *E. nuttallii* is easy to maintain and relatively cheap to produce. *E. nuttallii* is also a non-native species, but has been established in the Netherlands for a long period.

Public awareness is an important component in a strategy aimed at controlling or removing an invasive species from a catchment area. This is especially true of species such as *E. densa* where people are a major vector of dispersal. Awareness leaflets, press releases, calendars, lakeside notifications and an information website, warning of the environmental, economic and social hazards posed by non-native plants will contribute to public awareness (Caffrey & O'Callaghan, 2007).

Education of anglers and boaters may be especially useful as they can assist in reporting sightings of the plant. Moreover, instruction on the cleaning of boating and angling equipment is necessary to prevent dispersal of *E. densa* facilitated by these vectors. In the Netherlands, a simple photographic aid to the identification of a number of invasive species was produced in conjunction with the 'Code of conduct for aquatic plants' by van Valkenburg (2014). Its aim is to create awareness and assist in the monitoring of non-native aquatic plants.

The early detection of non-native plants before they become widespread will contribute to their efficient eradication (European Commission, 2013). However, little attention is focused on submerged water plants in general, even by conservationists, and preventative methods may have to be actively applied (e.g. raking, diving and repeated observations) to detect less visible, low abundant species (Lafontaine *et al.*, 2013). Management in the United States is increasingly focused on surveying for early detection, associated with education of the public (Darrin, 2009).

8.2. Eradication and control measures

In infested water-bodies, the banning of propeller driven boats prior to management intervention may minimise fragment spread. However, this policy was applied at Loosdrecht in the Netherlands following invasion of another invasive plant, Fanwort (*Cabomba caroliniana* A. Gray), and was difficult to implement and regulate.

The removal of aquatic macrophytes from a lake system should be done under careful consideration. Removal of non-native macrophytes can lead to the proliferation of algae rather than re-colonisation by native macrophytes (Perrow *et al.*, 1997; Donabaum *et al.*, 1999). A number of management strategies that have been employed in an attempt to combat infestation are described in the following paragraphs.

8.2.1. Manual and mechanical control

Manual and mechanical management techniques involve the direct cutting and/or removal of unwanted plant material from the affected area (Wilson *et al.*, 2007). Interventions such as these will only be successful if the cutting of large populations on a large scale is followed by continued management intervention on a smaller scale. This has been widely demonstrated during the management of floating pennywort (*Hydrocotyle ranunculoides* L. fil.) in the Netherlands (R. Pot, unpublished).

Several machine types are available for cutting and collecting plant material, examples of these are as follows (Wade, 1990; Wijnhoven & Niemeijer, 1995):

- Active cutting boats. Boats with cutter bars coupled to a hydraulic control mechanism that adjusts the depth and angle of the cutter bar in the water (Figure 8.1). Plants are cut more efficiently than with cutting boats using a V-blade. However, there is a risk that plant biomass may be collected inefficiently leading to further spread of *E. densa* due to stem fragmentation.



Figure 8.1: A weed cutting boat with adjustable mowing gear used for aquatic weed control in the Netherlands (Photo: R. Pot).

- Harvesting boats. Small boats with a hydraulic controlled rack on the front that can collect floating plants and transport them to the banks (Figure 8.2). This method allows only partial collection of plant biomass and further spread is not prevented completely. Larger boats that cut and collect in one action are much more efficient but expensive and not practical in small water bodies.
- Mowing basket. A steel bucket with cutter bar attached to the hydraulic arm of a tractor or excavator that can be lowered into drainage channels, small rivers and ponds, and cut and collect plant material. Loss of plant material may be relatively low if the machinery is operated with care. Mowing baskets can therefore be effective in preventing the spread of unwanted plant species.



Figure 8.2: A harvesting boat with a hydraulically controlled rack for collecting floating plants, in use in the Netherlands (Photo: R. Pot).

Mechanical methods aimed at the control of established infestations such as mechanical harvesting, hydroraking and rotovation, may result in the breakup of branching plant stems resulting in the dispersal of plants to new areas (Bowmer *et al.*, 1995; Massachusetts Department of Conservation and Recreation, 2005; EPPO, 2007; Wilson *et al.*, 2007). Mechanical removal may only result in control over the short- to medium-term and will probably not achieve eradication (Millane & Caffrey, 2014). Experience in countries such as the U.S.A. and Australia shows mechanical removal of *E. densa* only exacerbates the problem due to the accidental dispersal of cut fragments, particularly in flowing river systems (Coetzee *et al.*, 2011). Moreover, the mechanical removal of *E. densa* from plots in the shallows of a Brazilian reservoir was ineffective as the plant regained its original biomass within approximately three months, even though removal was repeated five times during this period (Oliveira *et al.*, 2005). In France mechanical methods were applied to *E. densa* that had established in the river Vendée associated with retaining nets designed to catch drifting fragments. Monitoring indicated that there were significant reductions in plant biomass approximately a month following mowing interventions (Le Syndicat Mixte du Marais Poitevin, 2014). Management interventions of *E. densa* in La Rochelle Marans canal, France began as early as 2001 using weed cutting boats and chemical treatment. However, the plant recovered completely within 3 months after each intervention. Recently, dredging has been initiated in an attempt to control the plant (Conseil général de Charente-Maritime, 2014). Due to the possibility of further spread, mechanical methods should only be used when all available niches have been filled and attention should be paid to the fragmentation of plants when employing cutting machinery (Csurhes *et al.*, 2008; Lafontaine *et al.*, 2013). Cleaning of machinery prior to their movement between sites, isolating the sites with nets that trap floating fragments, and visual checks for new colonisations in the near surroundings a few weeks after cutting may prevent further spread resulting from the escape of cut fragments (DiTomaso & Kyser, 2013). Cuttings may be composted to prevent them from re-entering the freshwater system.

The eradication of low density infestations over a limited area can be achieved via careful manual removal that avoids plant fragmentation (Lansdown, 2011; Millane & Caffrey, 2014). Whole plants, including roots, can be gathered with a rake. The use of divers to manually remove plants is easy and straightforward, with minimal environmental impacts, however, it is also labour intensive and therefore generally only cost-effective for small, localized infestations (Wilson *et al.*, 2007).

8.2.2. Biological control

Management using herbicides, manual / mechanical removal and suction dredging have the disadvantages of being costly, ineffective over the long term and inflict potential environmental impacts (Tanner & Clayton, 1984; Haley, 2000). So far, no natural enemies of *E. densa* have been reported in the Netherlands. This makes the prevention of plant establishment by natural enemies unlikely (EPPO, 2007). Therefore biological control could be considered as an alternative control method.

An experimental bio-herbicide inoculum, based on *Fusarium graminearum* (Schwein.) Petch cultures, was studied with promising results when used as a co-adjuvant with herbicides against *E. densa* (Borges Neto & Pitelli, 2004). After exposure to the inoculum in the laboratory, *E. densa* developed progressive chlorosis, followed by necrosis and complete

tissue disintegration. No information is available on the effectivity of this bio-agent in the field or its possible suitability (including effects on native species), it has not yet been developed for commercial field use (Lafontaine *et al.*, 2013; Walsh *et al.*, 2013). However, *F. graminearum* is most effective as a biological agent at temperatures of 25 °C and above and therefore appears less suitable for conditions found in the Netherlands (Borges Neto *et al.*, 2005; Kempenaar *et al.*, 2009). The addition of adjuvants such as ground rice to the *F. graminearum* solution can increase its effectiveness (Borges Neto & Pitelli, 2004; Kempenaar *et al.*, 2009).

E. densa has relatively few native predators so possibilities for bio-control are fairly limited (Darrin, 2009). In studies on the ecology of *E. densa* and its associated fauna in its native range of Argentina, Walsh *et al.* (2013) found an abundant undescribed species of *Hydrellia* (Diptera: Ephydriidae) feeding on *E. densa*. This species was shown to be quite promising as a future biological control agent due to its specificity, high damage rates even in the native range, adaptability to adverse climatic and physical conditions, and a high level of specific mortality which suggests that larval densities could be higher in environments where specific natural enemies are absent (Diaz *et al.*, 2009; Walsh *et al.*, 2013). In the laboratory, a single female can produce enough offspring to cause the defoliation of a whole *E. densa* stem (Coetzee *et al.*, 2011). Climate matching and potential field impact studies have begun to further assess this species effectiveness against *E. densa* in its non-native range, but its distribution in Argentina suggests that it could adapt to the areas in the world most heavily infested by the plant (Diaz *et al.*, 2009; Walsh *et al.*, 2013). A Pakistani beetle species, *Bagous affinis* Hustache, has been shown to cause significant damage by feeding on *E. densa* and could possibly be used as a bio-agent against *E. densa* in Europe (Buckingham & Bennett, 1998; Kempenaar *et al.*, 2009).

In a small private pond in Spain, pekin ducks (*Anas platyrhynchos* L.) were observed to be very effective grazers on *E. densa*. The plants were not eradicated but kept at a reasonable growth level (Curt *et al.*, 2010).

Triploid grass carp (*Ctenopharyngodon idella* Valenciennes) find *E. densa* highly palatable and have been used to manage *E. densa* in Devil's Lake, Oregon and Silver Lake, Cowlitz County in the United States (Washington State Department of Ecology, 2014). However, due to their lack of feeding preference, *C. idella* can remove the entire submersed aquatic community, hence introduction should be undertaken with care (Mitchell, 1980; Lafontaine *et al.*, 2013). There is one example in literature of biological control using *C. idella* where native macrophyte species were first to return to a lake after stocking, *E. densa* did not return at all in the following growing season after removal (Tanner *et al.*, 1990).

The feeding preference of *C. idella* may be influenced by stock density. At low densities, *C. idella* has been observed to preferentially select species other than *E. densa* while at higher densities, all vegetation is removed (Mitchell, 1980). Moreover, fish size may influence the consumption of aquatic waterweeds by *C. idella*. In Florida, *C. idella* fed preferentially on hydrilla (*Hydrilla verticillata* (L. fil.) Royle) rather than other non-native species such as *E. densa* (Cuda *et al.*, 2008). In a second study, feeding experiments showed that *E. densa* was the least preferred species of small (200-300 g) grass carp compared to Eurasian watermilfoil (*Myriophyllum spicatum*) and hornwort (*Ceratophyllum demersum*). However, as

fish grew (up to 927 g) *E. densa* shifted from least preferred to most preferred species (Bonar *et al.*, 1993).

C. idella is already widespread in the Netherlands as a result of multiple introductions for the management of aquatic weeds, but the species is present in low density and not able to reproduce. *C. idella* may pose a high risk to ecosystem functions when present in high densities due to impacts relating to modification of nutrient cycling or resource pools, physical modifications of the habitat, modifications of natural succession and disruptions of food webs (Schiphouwer *et al.*, 2014).

In general the introduction of biological agents is a potential pest risk in itself and is only suitable after thorough testing.

8.2.3. Chemical control

Several sources (CABI, 2014; Global Invasive species database, 2014; Parsons *et al.*, 2007; Skogerboe *et al.*, 2006) state that diquat and fluridone are effective herbicides against *E. densa*. However, since the withdrawal of all herbicides for use in aquatic environments there is no appropriate chemical method for the control of *E. densa* in the Netherlands.

8.3. Ecosystem based management

Mechanical removal of *E. densa* carries the risk of further spread due to the possible dispersal of plant fragments. Therefore, alternative methods that prevent the breakup of plant stems should be considered.

Lake drawdown may facilitate the removal of *E. densa*. The plants shoots and leaf tissues are vulnerable to drying and freezing when left out of the water for a minimum of 1 to 5 hours, while prolonged drawdown readily kills roots (Hauenstein Barra, 2012; Darrin, 2009). Multiple drawdowns in colder temperatures have been most effective in promoting larger decreases in *E. densa* populations (Goldsby & Sanders, 1977). Drawdown may be an effective measure in areas of low ecological value such as artificial channels and reservoirs.

However, evidence relating to this management technique is conflicting. Lake drawdown was not very successful in an experiment by Dugdale *et al.* (2012). After 34 days, 12% of stems and 32% of crowns collected from the bottom of weed mounds were still viable. The authors concluded that regeneration from in situ stem fragments and crowns following refilling are an important potential source of re-establishment for *E. densa*. Draining for sufficient time is not always feasible, especially in larger canals (Bowmer *et al.*, 1995). Moreover, this control technique will destroy fish, aquatic organism populations, possibly reptiles and amphibians, and may alter downstream conditions (Commonwealth of Massachusetts, 2002).

Light-excluding benthic barriers, such as jute matting, may be an effective control in the event of localised *E. densa* colonisation (Millane & Caffrey, 2014). The use of jute matting, was effective against Curly waterweed (*Lagarosiphon major*) in Ireland (Caffrey *et al.*, 2010) and is likely to be similarly effective against *E. densa* as both species are morphologically similar and do not produce seeds (Millane & Caffrey, 2014).

E. densa prefers high nutrient habitats. High nutrient loading is thought to increase ecosystem invasibility and lend competitive advantage of invasive species relative to native species (Davis *et al.*, 2000; Daehler, 2003). In pond ecosystems, sediment dredging has been shown to be a successful restoration measure in reducing internal nutrient load (Søndergaard *et al.*, 2000).

Increasing water turbidity as a measure against *E. densa* provides no realistic basis for management (Marin, 2014; Schallenberg & Sorrell, 2009).

9. Conclusions and recommendations

9.1. Conclusions

Habitat description

- *E. densa* thrives in various types of freshwater habitats. In its native range, *E. densa* is found in slow flowing, shallow waters. Outside its native range it is also found in lakes, ponds, quarry pools and sluggish rivers, streams and canals.
- The species may be vulnerable to harsh winters found in the Netherlands and mortality occurs at water temperatures below 3°C, but it can survive under ice. Growth occurs between 10 and 30°C, however over 30°C tissue damage has been reported. *E. densa* may tolerate water temperatures up to a maximum of 35°C.
- *E. densa* tolerates pH from 5.5 to 7.9, low to moderate current velocities of 0 to 1 m s⁻¹, features a light compensation point of 7.5 to 16.2 mmol m⁻² s, and is usually found at a water depth between 0.15 and 3 m. *E. densa* has been recorded at a conductivity between 715 and 802 µs cm⁻¹. The species grows on saproplium and other organic, fine in-organic and sandy substrates.

Distribution, dispersal and invasiveness

- According to CABI (2014), Brazilian waterweed (*Egeria densa*) has dispersed to 27 countries outside of its native range and is recorded as an invasive species in 12 (44%) of these countries.
- In 2006, the Netherlands imported almost 1,7 million *E. densa* plants for use in aquaria and garden ponds (approximately 34% of all aquatic plant imports). The plant is sold freely at garden centres and aquarium shops.
- A google.nl search using the terms 'Braziliaanse waterpest' and 'Argentijnse waterpest' revealed 11 online retailers offering *E. densa* for sale in the Netherlands. The species is also sold under the Latin names *Egeria densa*, *Elodea densa*, *Anacharis densa* or *Philotria densa*. None of the retailer's websites visited gave information regarding the invasive nature of *E. densa* or the importance of avoiding introductions of this species to the freshwater network on the retail page of any of the sites visited.
- Information describing the invasive nature of *E. densa* is widely available from water-boards, nature organisations and hobbyist websites in the Dutch language.
- Global introductions of *E. densa* have been attributed to the discarding or deliberate planting of aquarium plants in natural waterways.
- Humans appear to be the main vector of secondary dispersal of *E. densa* away from initial points of introduction. Examples of vectors found in literature are: boats, fishing equipment, weed harvesters, clothes and footwear.

- *E. densa* was first recorded in Dutch nature near Dordrecht in 1944. Since then the species has been recorded in 54 kilometre square grids in the Netherlands. The plant was recorded in 1951, in a pond in Bussum, and in 1976 and 1977 in the municipality of Doorn. After the year 2000, recordings of *E. densa* have been made nearly every year.
- *E. densa* was first recorded in the United Kingdom in Ashton Canal, Droylesden in 1953 but there is no evidence of spread from naturalised populations. There are fewer than twenty recordings of *E. densa* at 10 km square grid scale in the United Kingdom. *E. densa* was first recorded in Belgium in 1999 in a small pond in Ezemaal. At present the species does not show very effective natural dispersal. However, the number of records has increased substantially and the plant is now naturalised in a few locations in Flanders. *E. densa* was first recorded in Germany in 1910 in the Elster-Saale Canal near Leipzig. the species is now present in six Länder and established in the river Erft, North Rhine-Westphalia, bordering the Netherlands, and Baden-Württemberg. However, since 2003, the abundance of *E. densa* in the river Erft has declined. Moreover, the river Erft is not representative of the German climate as it is a thermally polluted river whose temperature does not dip below 10°C in winter.

Ecological and socio-economic impacts

- To date, ecological or socio-economic impacts have not been reported for the Netherlands.
- Neighbouring countries have experienced few impacts relating to *E. densa*. The lack of major negative ecological or socio-economic impacts in the United Kingdom is attributed to *E. densa*'s low abundance there. In Ireland, other closely related species such as curly waterweed (*Lagarosiphon major*) and Nuttall's waterweed (*Elodea nuttallii*) have caused ecological and socio-economic impacts and it is suggested that *E. densa* might be able to emulate this if it becomes more abundant. In Germany, *E. densa* suppressed the formerly widely distributed native broad leaved pondweed (*Potamogeton natans*) and fennel pondweed (*Potamogeton pectinatus*) in the river Erft, North Rhine-Westphalia. In Belgium, despite *E. densa* becoming more abundant, it has not yet become invasive.
- In countries where *E. densa* has become highly abundant such as Australia, the United States and New Zealand, significant ecological and socio-economic impacts have resulted. At high abundances *E. densa* has been described as an ecosystem engineer whose presence leads to alterations in aquatic habitats and local species composition. Other impacts include restrictions to recreational activity, reduced visual amenity, increased potential for local flooding, obstruction of industrial water intakes and the high cost of remedial management.

Available risk classifications

- Out of five European risk classifications, three classified *E. densa* as a high risk species (Belgium, Luxembourg, Switzerland). In an assessment applied to EPPO quarantine list, alert list and priority species using the New Zealand AWRAM system, *E. densa* was defined as a banned species. In Ireland, *E. densa* was classified as a medium risk species. Out of the two classifications obtained from outside Europe, the Australian

assessment classified *E. densa* as a high risk species and the USA assessment classified *E. densa* as posing a lesser threat.

9.2. Effective management options

- The following alternative aquatic plant species are suggested for use in cold water aquaria and garden ponds: Canadian pondweed (*Elodea canadensis*) or Nuttall's waterweed (*Elodea nuttallii*). These plants are easy to maintain and relatively cheap to produce; both are alien species, but established in the Netherlands long ago.
- Improvements to labelling of (potential) invasive aquatic plants by garden centres, pet shops and online retailers and continuous dissemination of information about potential invasiveness of non-native species to create awareness of water gardeners and aquarium hobbyists may help prevent the disposal of *E. densa* to water bodies. Moreover, awareness campaigns for specific actors (e.g., fisherman, boat owners) may reduce human spread of invasive in the Netherlands.
- The literature review revealed that management interventions may not be very effective at removing *E. densa*. Standard management techniques often encourage the spread of *E. densa* through fragmentation. Once established, the plants are very hard to get rid of.
- Limiting standard management intervention appears to be the best method of limiting the spread of the species. A high level of fragment spread occurs when cutting machinery is used without the immediate collection of plant material.
- If control of *E. densa* is required, it is best to focus on the prevention of fragment spread. Mowing baskets or harvesting boats may be the best options for this, but only when the removal of all plant material from the water body is assured, preferably including the root system. Retaining nets stretched from bank to bank that catch fragments and stop them floating away during cutting may be required. Cuttings may be composted to prevent them from re-entering the freshwater system.
- Eradication of the plants can be achieved on a small scale by covering them with opaque material e.g. geo-textile. However, this method destroys not only the target plant population, but other plant and most animal life in the treatment area due to the creation of dark, anoxic conditions.

9.3. Recommendations for further research

The reasons given for the limited distribution and dispersal capacity of *E. densa* at the majority of locations in the Netherlands are based on expert knowledge. Further research is required to support or reject these expert opinions. Establishing the specific conditions that allow the plant to become invasive will allow nature managers to better predict the likelihood that *E. densa* will colonise and become invasive at locations in the Netherlands. This will also offer insight into key factors for cost effective management in the future.

Acknowledgements

We thank the Netherlands Food and Consumer Product Safety Authority (Invasive Alien Species Team) of the Dutch Ministry of Economic Affairs for financially supporting this study (order number: 60002627, d.d. June 23, 2014). Mw. Ir. J. Leferink of the Invasive Alien Species Team delivered constructive comments on an earlier draft of this report. The authors would also like to thank all volunteers that delivered their data to FLORON's and other national databases.

References

- Alfasane, M.A., Khondker, M., Islam, M.S. & Bhuiyan, M.A.H. (2010). *Egeria densa* Planchon (Hydrocharitaceae): A new angiospermic record for Bangladesh. *Bangladesh Journal of Plant Taxonomy* 17, 209-213.
- Barko, J.W. & James, W.F. (1998). *Effects of submerged aquatic macrophytes on nutrient dynamics, sedimentation, and resuspension*. In: Jeppesen, E., Søndergaard, Ma., Søndergaard, Mo. & Christoffersen, K. (Eds). *The Structuring Role of Submerged Macrophytes in Lakes*, Ecological Studies Vol. 131. Springer-Verlag, United States of America, pp. 197–214.
- Barko, J.W. & Smart, R.M. (1981). Comparative influences of light and temperature on the growth and metabolism of selected submersed fresh-water macrophytes. *Ecological Monographs* 51(2), 219-235. doi: Doi 10.2307/2937264
- Barnes, M.A., Jerde, C.L., Keller, D., Chadderton, W.L., Howeth, J.G., & Lodge, D.M. (2013). Viability of aquatic plant fragments following desiccation. *Invasive Plant Science and Management* 6, 320-325.
- Barreto, R., Charudattan, R., Pomella, A. & Hanada, R. (2000). Biological control of neotropical aquatic weeds with fungi. *Crop Protection* 19, 697-703.
- Bartodziej, W. & Weymouth, G. (1995). Waterbird abundance and activity on water-hyacinth and *Egeria* in the St-Marks river, Florida. *Journal of Aquatic Plant Management* 33, 19-22.
- Batzer, D.P. (1998). Trophic interactions among detritus, benthic midges, and predatory fish in a freshwater marsh. *Ecology* 79, 1688-1698.
- Bianchini, I., Cunha-Santino, M.B., Milan, J.A.M., Rodrigues, C.J. & Dias, J.H.P. (2010). Growth of *Hydrilla verticillata* (L.f.) Royle under controlled conditions. *Hydrobiologia* 644, 301-312.
- Bini, L.M. & Thomaz, S.M. (2005). Prediction of *Egeria najas* and *Egeria densa* occurrence in a large subtropical reservoir (Itaipu Reservoir, Brazil-Paraguay). *Aquatic Botany* 83, 227-238.
- Bini, L.M., Thomaz, S.M., Murphy, K.J. & Camargo, A.F.M. (1999). Aquatic macrophyte distribution in relation to water and sediment conditions in the Itaipu Reservoir, Brazil. *Hydrobiologia*, 415, 147-154. doi: Doi 10.1023/A:1003856629837
- Bonar, S.A., Thomas, G., Thiesfeld, S.L., Pauley, G.B. & Stables, T.B. (1993). Effect of triploid grass carp on the aquatic macrophyte community of Devils Lake, Oregon. *North American Journal of Fisheries Management* 13, 757-765.
- Borges Neto, C.R., Gorgati, C.Q. & Titelli, R.A. (2005). Influence of the photoperiod and the temperature on the intensity of disease caused by *Fusarium graminearum*, a potential control agent of *Egeria densa* and *Egeria najas*. *Planta Daninha* 23, 449-456.
- Borges Neto, C. & Pitelli, R. (2004). Adjuvants and herbicides and the infectivity of *Fusarium graminearum*, a potential biocontrol agent of *Egeria densa* and *Egeria najas*. *Planta Daninha* 22, 77-83.
- Botanic Gardens (2008). *Egeria densa*. <http://www.botanicgardens.ie/gspc/targets/news/egeria.htm>. Last accessed 1/08/2014.
- Bowen, B., Johnson, K., Franklin, S., Call, G. & Webber, M. (2002). Invasive aquatic plant pests in Tennessee. *Journal of the Tennessee Academy of Science* 77, 45-48.
- Bowmer, K.H., Jacobs, S.W. L. & Sainty, G.R. (1995). Identification, biology and management of *Elodea canadensis*, Hydrocharitaceae. *Journal of Aquatic Plant Management* 33, 13-19.
- Boyd, C.E. & Mcginty, P.S. (1981). Percentage digestible dry-matter and crude protein in dried aquatic weeds. *Economic Botany* 35, 296-299. doi: Doi 10.1007/Bf02859121
- Bracamonte, S.C., Meco Molina, A. & García Murillo, P. (2014). *Flora acuática española*. Real Jardín Botánico, CSIC, Madrid, Spain.
- Branquart, E., Stiers, I., Triest, L., Vanderhoeven, S., Van Landuyt, W., Van Rossum, F. & Verloove, F. (2013). *Egeria densa* - Brazilian waterweed. <http://ias.biodiversity.be/species/show/54>. Last accessed 01-08-2014.
- Brown, L.R. & Michniuk, D. (2007). Littoral fish assemblages of the alien-dominated Sacramento - San Joaquin Delta, California, 1980-1983 and 2001-2003. *Estuaries and Coasts* 30, 186-200.
- Brunel, S. (2009). Pathway analysis: aquatic plants imported in 10 EPPO countries. *OEPP/EPPO Bulletin*, 39, 201-213.
- Burt, J.W., Muir, A.A., Piovia-Scott, J., Veblen, K.E., Chang, A.L., Grossman, J.D. & Weiskel, H.W. (2007). Preventing horticultural introductions of invasive plants: potential efficacy of voluntary initiatives. *Biological Invasions* 9, 909-923.

- Buckingham, G.R. & Bennett, C.A. (1998). Host range studies with *Bagous affinis* (Coleoptera: Curculionidae), an Indian weevil that feeds on hydrilla tubers. *Environmental Entomology* 27, 469-476.
- CABI (2014). Invasive Species Compendium: *Egeria densa*. <http://www.cabi.org/isc/datasheet/20491>. Last accessed 24-07-2014.
- Caffrey, J.M., Acevedo, S. & Gallagher, K. (2006). *Nuttall's pondweed (Elodea nuttallii): an aggressive invasive species in the Carrigadrohid reservoir*. Internal report, Central Fisheries Board, Ireland.
- Caffrey, J.M. & Acevedo, S. (2007). *Status and management of Lagarosiphon major in Lough Corrib 2007*. Central Fisheries Board, Ireland.
- Caffrey, J., Millane, M., Evers, S. & Moran, H. (2011). Management of *Lagarosiphon major* (Ridley) Moss in Lough Corrib-a Review. *Biology and Environment-Proceedings of the Royal Irish Academy 111B*, 205-212. Doi 10.3318/Bioe.2011.16
- Caffrey, J.M., Millane, M., Evers, S., Moran, H. & Butler, M. (2010). A novel approach to aquatic weed control and habitat restoration using biodegradable jute matting. *Aquatic Invasions* 5, 123-129.
- Caffrey, J.M. & O'Callaghan, D. (2007). *A Guide to the Identification of Aquatic Invasive Species in Ireland*. Central Fisheries Board, Swords, Dublin.
- Carrillo, Y., Guarin, A. & Guillot, G. (2006). Biomass distribution, growth and decay of *Egeria densa* in a tropical high-mountain reservoir (NEUSA, Colombia). *Aquatic Botany* 85, 7-15.
- Center for Aquatic and Invasive Plants (2014). Brazilian waterweed (*Egeria densa*). <http://plants.ifas.ufl.edu/node/139>. Last accessed 29-08-2014.
- Champion, P.D. & Clayton, J.S. (2000). *Border control for potential aquatic weeds. Stage 1. Weed risk model. Science for conservation 141*. Department of Conservation, Wellington, New Zealand.
- Champion, P.D. & Clayton, J.S. & Hofstra, D.E. (2010). Nipping aquatic plant invasions in the bud: weed risk assessment and the trade. *Hydrobiologia* 656, 167-172.
- Champion, P.D. & Tanner, C.C. (2000). Seasonality of macrophytes and interaction with flow in a New Zealand lowland stream. *Hydrobiologia* 441, 1-12.
- Coetzee, J.A., Bownes, A. & Martin, G.D. (2011). Prospects for the biological control of submerged macrophytes in South Africa. *African Entomology* 19, 469-487.
- Cohen, J., Mirotnick, N. & Leung, B. (2007). Thousands introduced annually: the aquarium pathway for non-indigenous plants to the St Lawrence Seaway. *Frontiers in Ecology and Environment* 5, 528-532.
- Commonwealth of Massachusetts (2002). *Curly waterweed: an invasive aquatic plant. Lagarosiphon major*. Department of Conservation and Recreation, Office of Water Resources, Lakes and Ponds Program, USA. http://www.mass.gov/dcr/watersupply/lakepond/factsheet/Brazilian_waterweed.pdf. Last accessed 24-07-2014.
- Compton, T.J., De Winton, M., Leathwick, J.R. & Wadhwa, S. (2012). Predicting spread of invasive macrophytes in New Zealand lakes using indirect measures of human accessibility. *Freshwater Biology* 57, 938-948.
- Conseil Général de Charente-Maritime (2014). Gestion de l'Egérie dense (*Egeria densa*) dans le canal de Marans La Rochelle. http://www.gt-ibma.eu/wp-content/uploads/2012/05/160913_Egeria-CG17.pdf. Last accessed 28-08-2014.
- Cook, C.D.K. & Urmí-König, K. (1984). A revision of the Genus *Ottelia* (Hydrocharitaceae). 2. The Species of Eurasia, Australasia and America. *Aquatic Botany* 20, 131-177. Doi 10.1016/0304-3770(84)90033-0
- Csurhes, S., Hannan-Jones, M. & Dimmock, A. (2008). Pest plant risk assessment. Dense waterweed *Egeria densa*. Biosecurity Queensland, Department of Primary Industries and Fisheries, Queensland, Australia.
- Cuda, J.P., Charudattan, R., Grodowitz, M.J., Newman, R.M., Shearer, J.F., Tamayo, M.L. & Villegas, B. (2008). Recent advances in biological control of submersed aquatic weeds. *Journal of Aquatic Plant Management* 46, 15-32.
- Curt, M.D., Curt, G., Aguado, P.L. & Fernandez, J. (2010). Proposal for the biological control of *Egeria densa* in small reservoirs: a Spanish case study. *Journal of Aquatic Plant Management* 48, 124-127.
- Dadds, N. & Bell, S. (undated). *Invasive non-native plants associated with fresh waters: A guide to their identification*. Species action framework. <http://www.snh.org.uk/pdfs/species/B236924.pdf>. Last accessed 01-08-2014.
- Daehler, C.C. (2003). Performance comparisons of co-occurring native and alien invasive plants: Implications for conservation and restoration. *Annual Review of Ecology Evolution and Systematics* 34, 183-211.

- Darrin, H. (2009). *Invasive Species of the Pacific Northwest: Brazilian Elodea, Egeria densa, Anacharis, Philotria densa, Giant Elodea, Brazilian waterweed*. Washington Department of Ecology: Aquatic Weeds, United States of America.
- Davis, M.A., Grime, J.P. & Thompson, K. (2000). Fluctuating resources in plant communities: a general theory of invasibility. *Journal of Ecology* 88, 528-534.
- De Freitas, A. & Magela Thomaz, S. (2011). Inorganic carbon shortage may limit the development of submersed macrophytes in habitats of the Paraná River basin. *Acta Limnologica Brasiliensia* 23, 57-62.
- Denys, L., Packet, J. & Van Landuyt, W. (2004). Neofyten in het Vlaamse water: signalement van vaste waarden en rijzende sterren. *Natuur.focus* 3, 120-128.
- De Winton, M.D., Champion, P.D., Clayton, J.S. & Wells, R.D.S. (2009). Spread and status of seven submerged pest plants in New Zealand lakes. *New Zealand Journal of Marine and Freshwater Research* 43, 547-561.
- De Winton, M.D. & Clayton, J.S. (1996). The impact of invasive submerged weed species on seed banks in lake sediments. *Aquatic Botany* 53, 31-45.
- Diaz, N.B., Gallardo, F.E., Gaddi, A.L. & Walsh, G.C. (2009). Description of a new genus and species of Eucoilinae (Hymenoptera: Cynipoidea: Figitidae) parasitoid of Ephydriidae (Diptera). *Annals of the Entomological Society of America* 102, 603-607.
- Diekjobst, H. & Wolff, P. (1995). Das Mexikanische Eichenblatt (*Shinnersia rivularis*) und andere aquatische Neophyten in der unteren Erft. *Natur am Niederrhein* 10, 41-48.
- Dillon, C.R., Maurice, D.V. & Jones, J.E. (1988). Composition of *Egeria densa*. *Journal of Aquatic Plant Management* 26, 44-45.
- DiTomaso J.M. & Healy, E.A., (2003). *Aquatic and riparian weeds of the west*. Division of Agriculture and Natural Resources. University of California, Publication 3421, United States of America, pp. 96-105.
- DiTomaso, J.M. & Kyser, G.B. (2013). *Weed control in natural areas in the Western United States*. Weed Research and Information Center, University of California, United States of America.
- Donabaum, K., Schagerl, M. & Dokulil, M.T. (1999). Integrated management to restore macrophyte domination. *Hydrobiologia* 395, 87-97.
- Dorahy, C.G., Pirie, A.D., McMaster, I., Muirhead, L., Pengelly, P., Chan, K.Y. et al. (2009). Environmental risk assessment of compost prepared from *Salvinia*, *Egeria densa*, and Alligator Weed. *Journal of Environmental Quality* 38, 1483-1492.
- Dugdale, T.M., Clements, D., Hunt, T.D. & Butler, K.L. (2012). Survival of a submerged aquatic weed (*Egeria densa*) during lake drawdown within mounds of stranded vegetation. *Lake and Reservoir Management* 28, 153-157.
- Duggan, I.C., Green, J.D., Thompson, K. & Shiel, R.J. (2001). The influence of macrophytes on the spatial distribution of littoral rotifers. *Freshwater Biology* 46, 777-786.
- Encyclopedia of Life (2014). <http://eol.org/>. Last accessed 08-08-2014.
- Engle, S. (1995). Eurasian watermilfoil as a fisheries management tool. *Fisheries*, 20, 20-27.
- EPPO, European and Mediterranean Plant Protection Organization (2007). *Data sheets on invasive alien plants: Lagarosiphon major*. http://www.eppo.int/INVASIVE_PLANTS/ias_lists.htm. Last accessed 29-06-2014.
- European Commission (2013). *Proposal for a regulation of the European parliament and of the council on the prevention and management of the introduction and spread of invasive alien species*. European Commission, Belgium.
- European Union (2000). *Directive 2000/60/EC*. <http://eur-lex.europa.eu/LexUriServ/LexUriServ.do?uri=CELEX:32000L0060:EN:NOT>. Last accessed 29-06-2014.
- Feijoo, C., Garcia, M., Momo, F. & Toja, J. (2002). Nutrient absorption by the submerged macrophyte *Egeria densa* Planch.: effect of ammonium and phosphorus availability in the water column on growth and nutrient uptake. *Limnetica* 21, 93-104.
- Ferrari, M.C.O., Ranáker, L., Weinersmith, K.L., Young, M.J., Sih, A. & Conrad, J.L. (2014). Effects of turbidity and an invasive waterweed on predation by introduced largemouth bass. *Environmental Biology of Fishes* 97, 79-90.
- Ferreiro, N., Feijoo, C., Giorgi, A. & Leggeri, L. (2011). Effects of macrophyte heterogeneity and food availability on structural parameters of the macroinvertebrate community in a Pampean stream. *Hydrobiologia* 664, 199-211.
- Floristenclub Gelderse Vallei (1978). Enkele floristische waarnemingen in Midden-Nederland. *Gorteria* 9, 28-32.
- Friedrich, G. (1973). Ökologische Untersuchungen an einem thermisch anomalen Fließgewässer

- (Erft/Niederrhein). *Schriftenreihe der Landesanstalt für Gewässerkunde und Gewässerschutz des Landes Nordrhein-Westfalen* 33, pp. 126.
- GB non-native species secretariat (2014). Large-Flowered Waterweed, *Egeria densa*. <http://www.nonnativespecies.org/factsheet/factsheet.cfm?speciesId=1290>. Last accessed 01-08-2014.
- Getsinger, K.D. & Dillon, C.R. (1984). Quiescence, growth and senescence of *Egeria densa* in lake Marion. *Aquatic Botany* 20, 329-338.
- Ghahramanzadeh, R., Esselink, G., Kodde, L.P., Duistermaat, H., Van Valkenburg, J.L.C.H., Marashi, S.H., Smulders, M.J.M. & Van de Wiel, C.C.M. (2013). Efficient distinction of invasive aquatic plant species from non-invasive related species using DNA bar-coding. *Molecular Ecology Resources* 13, 21-31.
- Gilinsky, E. (1984). The role of fish predation and spatial heterogeneity in determining benthic community structure. *Ecology* 65, 455-468.
- Giltrap, N., Eyre, D. & Reed P. (2009). Internet sales of plants for planting – an increasing trend and threat? *OEPP/EPPO Bulletin* 39, 168-170.
- Global Invasive Species Database (2014). *Egeria densa*. <http://www.issg.org/database/species/ecology.asp?si=289>. Last accessed 24-07-2014.
- Goldsby, T.L. & Sanders, D. (1977). Effects of consecutive water fluctuations on the submersed vegetation of Black Lake, Louisiana. *Journal of Aquatic Plant Management* 15, 23-28.
- Gotceitas, V. (1990). Variation in plant stem density and its effects on foraging success of juvenile bluegill sunfish. *Environmental Biology of Fishes* 27, 63-70.
- Growns, I., Gehrke, P.C., Astles, K.L. & Pollard, D.A. (2003). A comparison of fish assemblages associated with different riparian vegetation types in the Hawkesbury-Nepean River system. *Fisheries Management and Ecology* 10, 209-220. doi: DOI 10.1046/j.1365-2400.2003.00337.x
- Haga, H., Ohtsuka, T., Matsuda, M. & Ashiya, M. (2006). Spatial distributions of biomass and species composition in submerged macrophytes in the southern basin of Lake Biwa in summer of 2002. *Japanese Journal of Limnology* 67, 69-79.
- Haley, N., (2000). *Weeds in New Zealand*. <http://www.boprc.govt.nz/www/green/weeds.htm> cited in: McGregor, P.G. & Gourlay, H. (2002). Assessing the prospects for biological control of *Lagarosiphon* (*Lagarosiphon major* (Hydrocharitaceae)). Department of Conservation, New Zealand.
- Hamilton, D. & McBride, C. (2013). *Monitoring and modelling to support management and policies for Lake Rotorua*. University of Waikato. <http://www.rotorualakes.co.nz/vdb/document/557>; Last assessed 6 October 2014.
- Haramoto, T. & Ikusima, I. (1988). Life-cycle of *Egeria densa* Planch, an aquatic plant naturalized in Japan. *Aquatic Botany* 30, 389-403.
- Hauenstein Barra, E. (2012). Antecedentes sobre *Egeria densa* (Luchecillo), Hidrófita importante en la alimentación del cisne de cuello negro. *Gestión Ambiental* 10, 89-95.
- Hauenstein, E. & Ramirez, C. (1986). The influence of salinity on the distribution of *Egeria densa* in the Valdivia river basin, Chile. *Archiv für Hydrobiologie* 107, 511-519.
- Haynes, R.R. (1988). Reproductive biology of selected aquatic plants. *Annals of the Missouri Botanical Garden*, 805-810.
- Henderson, L. (2001). *Alien Weeds and Invasive Plants: A Complete Guide to Declared Weeds and Invaders in South Africa*. Plant Protection Research Institute Handbook No. 12. Agricultural Research Council, Pretoria, South Africa.
- Hofstra, D.E., Clayton, J., Green, J.D. & Auger, M. (1999). Competitive performance of *Hydrilla verticillata* in New Zealand. *Aquatic Botany* 63, 305-324.
- Howard-Williams, C., Clayton, J.S., Coffey, B.T. & Johnstone, I.M. (1987). *Macrophyte invasions*. In: Viner A. B. (ed.). Inland waters of New Zealand DSIR Bulletin 241. Department of Scientific and Industrial Research Science Information Publishing Centre, Wellington, New Zealand. pp. 307-331.
- Hussner, A. (2010). Die aquatischen Neophyten in Deutschland – Eine Übersicht. *Egeria densa* Planchon., Dichte Wasserpest, Hydrocharitaceae. <http://www.aquatische-neophyten.de/Bilder/Verbreitungskarten%20deutsche%20Version/Deutschlandkarte%20Egeria%20densa.jpg>. Last accessed 01-08-2014.
- Hussner, A. (2014). Long-term macrophyte mapping documents a continuously shift from native to non-native aquatic plant dominance in the thermally abnormal River Erft (North Rhine-Westphalia, Germany). *Limnologica* 48, 39-45.
- Hussner, A., Hoelken, H.P. & Jahns, P. (2010). Low light acclimated submerged freshwater plants show a pronounced sensitivity to increasing irradiances. *Aquatic Botany* 93, 17-24.

- Hussner, A. & Losch, R. (2005). Alien aquatic plants in a thermally abnormal river and their assembly to neophyte-dominated macrophyte stands (River Erft, Northrhine-Westphalia). *Limnologia* 35, 18-30.
- Jones, C., Lawton, J. & Shachak, M. (1994). Organisms as ecosystem engineers. *Oikos* 69, 373-386.
- Johnson, D., Carlock, M. & Artz, T. (2006). *Egeria densa control program second addendum to 2001 environmental impact report with five year program review and future operations plan*. The state of California Department of boating and waterways, United States of America.
- Johnstone, I.M., Coffey, B. T. & Howard-Williams, C. (1985). The role of recreational boat traffic in interlake dispersal of macrophytes: a New Zealand case study. *Journal of Environmental Management* 20, 263-279.
- Jordan, T.E., Whigham, D.F. & Correll, D.L. (1990). Effect of nutrients and litter manipulations on the narrow-leaved cattail, *Typha angustifolia* L. *Aquatic Botany* 36, 179-191.
- Juliana, M.D.A., Módenes, A.N., Fagundes-Klen, M.R. & Espinoza-Quiñones, F.R. (2009). Cadmium, copper and zinc biosorption study by non-living *Egeria densa* biomass. *Water, Air, and Soil Pollution* 202, 385-392.
- Kay, S.H. & Hoyle, S.T. (2001). Mail order, the Internet, and invasive aquatic weeds. *Journal of Aquatic Plant Management* 39, 88-91.
- Keast, A. (1984). The introduced aquatic macrophyte, *Myriophyllum-spicatum*, as habitat for fish and their invertebrate prey. *Canadian Journal of Zoology-Revue Canadienne De Zoologie* 62, 1289-1303.
- Kelly, R., Leach, K., Cameron, A., Maggs, C.A. & Reid, N. (2014). Combining global climate and regional landscape models to improve prediction of invasion risk. *Diversity and Distributions* 20, 884-894.
- Kempenaar, A.C., Franke, A.C. & Lotz, L.A.P. (2009). Deskstudie biologische bestrijding van invasieve exotische oever- en wateronkruiden in Nederland. Plant Research International B.V., Wageningen, the Netherlands.
- Kottek, M., Grieser, J., Beck, C., Rudolf, B. & Rubel, F. (2006). World map of the Köppen-Geiger climate classification updated. *Meteorologische Zeitschrift* 15, 259-263.
- Lafontaine, R.M., Beudels-Jamar, R.C., Robert, R. & Delsinne, T. (2013). Risk analysis of the Brazilian Waterweed, *Egeria densa* Planch. Sciences for the Federal Public Service Health, Food chain safety and Environment, Belgium, pp. 36.
- Lansdown, R. (2011). *Egeria densa*. GB Non-natives Factsheet Editor. Biological Records Centre, Centre for Ecology and Hydrology. http://www.brc.ac.uk/gbnn_admin/index.php?q=node/169. Last accessed 18-07-2014.
- Lake, M.D., Hicks, B.J., Wells, R.D.S. & Dugdale, T.M. (2002). Consumption of submerged aquatic macrophytes by rudd (*Scardinius erythrophthalmus* L.) in New Zealand. *Hydrobiologia* 470, 13-22.
- Lara, M.V., Casati, P. & Andreo, C.S. (2002). CO₂-concentrating mechanisms in *Egeria densa*, a submersed aquatic plant. *Physiologia Plantarum* 115, 487-495.
- Le Syndicat Mixte du Marais Poitevin, (2014). Interventions de gestion et suivi scientifique de l'Egérie dense (*Egeria densa*) sur la rivière Vendée. http://www.gt-ibma.eu/wp-content/uploads/2012/05/130709_FDPPMA85-Egeria-densa.pdf. Last accessed 28-08-2014.
- Leewis, R., Duistermaat, L., Gittenberger, A., Van der Have, T., Soes, M. & Van Valkenburg, J. (2013). *Veldgids Exoten*. KNNV publishing, Zeist, the Netherlands.
- Leslie, A. (1992). *Copper herbicide use-patterns in Florida waters*. Florida Department of Natural Resources. Tallahassee, Florida, USA, pp. 9.
- Mabberley, D.J. (2008). *Mabberley's plant-book. A portable dictionary of plants, their classifications and uses*, third edition. Cambridge University Press, Cambridge, UK.
- Marin, V.H., Delgado, L.E., Vila, I., Tironi, A., Barrera, V. & Ibanez, C. (2014). Regime shifts of Cruces River wetland ecosystem: current conditions, future uncertainties. *Latin American Journal of Aquatic Research* 42, 160-171.
- Martinez-Nieto, P., Garcia-Gomez, G., Mora-Ortiz, L. & Robles-Camargo, G. (2014). Polluting macrophytes Colombian lake Fuquene used as substrate by edible fungus *Pleurotus ostreatus*. *World Journal of Microbiology & Biotechnology* 30, 225-236.
- Massachusetts Department of Conservation and Recreation, (2005). *Rapid response plan for curly waterweed (Lagarosiphon major) in Massachusetts*. ENSR International, Massachusetts, USA.
- Matsui, A. (2014). Relationship between distribution and bottom sediment of submerged macrophytes in the Seta River, Shiga Prefecture, Japan. *Landscape and Ecological Engineering* 10, 109-113.

- Mazzeo, N., Rodriguez-Gallego, L., Kruk, C., Meerhoff, M., Gorga, J., Lacerot, G. & Garcia-Rodriguez, F. (2003). Effects of *Egeria densa* Planch. beds on a shallow lake without piscivorous fish. *Hydrobiologia* 506, 591-602.
- Meacham, P. (2001). *Washington State aquatic nuisance species management plan*. The Washington aquatic nuisance species coordinating committee. Washington State Department of Fish and Wildlife, Washington, USA.
- Mennema, J. & Van Oostroom, S.J. (1977). Nieuwe vondsten van zeldzame planten in Nederland, hoofdzakelijk in 1976. *Gorteria* 8, 219-240.
- Meyerson, L.A., Saltonstall, K., Windham, L., Kiviat, E. & Findlay, S. (2000). A comparison of *Phragmites australis* in freshwater and brackish marsh environments in North America. *Wetlands Ecology and Management* 8, 89-103.
- Millane, M. & Caffrey, J. (2014). *Risk Assessment of Egeria densa*. Inland Fisheries Ireland and the National Biodiversity Data Centre, Ireland.
- Mitchell, C.P. (1980). Control of water weeds by grass carp in two small lakes. *New Zealand Journal of Marine and Freshwater Research* 14, 381-390.
- Mony, C., Koschnick, T.J., Haller, W.T. & Muller, S. (2007). Competition between two invasive Hydrocharitaceae (*Hydrilla verticillata* (L.f.) (Royle) and *Egeria densa* (Planch.) as influenced by sediment fertility and season. *Aquatic Botany* 86, 236-242.
- Nakai, S., Inoue, Y., Hosomi, M. & Murakami, A. (1999). Growth inhibition of blue-green algae by allelopathic effects of macrophyte. *Water Science and Technology* 39, 47-53.
- Naturalis Biodiversity Center (2014). Nederlands Soortenregister, *Egeria*. http://www.nederlandsesoorten.nl/linnaeus_ng/app/views/species/nsr_taxon.php?id=119533&cat=156. Last accessed 22-08-2014.
- Oliveira, N., Sampaio, E., Pereira, S. & Moura Junior, A. (2005). Regeneration capacity of *Egeria densa* in reservoirs in Paulo Afonso, Bahia. *Planta Daninha* 23, 263-369.
- Osborne, J.A. & Sassic, N.M. (1981). The size of grass carp as a factor in the control of hydrilla. *Aquatic Botany* 11, 129-136.
- Parsons, J.K., Hamel, K.S. & Wierenga, R. (2007). The impact of diquat on macrophytes and water quality in battle ground lake, Washington. *Journal of Aquatic Plant Management* 45, 35-39.
- Pelicice, F.M. & Agostinho, A.A. (2006). Feeding ecology of fishes associated with *Egeria* spp. patches in a tropical reservoir, Brazil. *Ecology of Freshwater Fish* 15, 10-19.
- Pelicice, F.M., Agostinho, A.A. & Thomaz, S.M. (2005). Fish assemblages associated with *Egeria* in a tropical reservoir: investigating the effects of plant biomass and diel period. *Acta Oecologica-International Journal of Ecology* 27, 9-16. doi: DOI 10.1016/j.actao.2004.08.004
- Pelicice, F.M., Thomaz, S.M. & Agostinho, A. A. (2008). Simple relationships to predict attributes of fish assemblages in patches of submerged macrophytes. *Neotropical Ichthyology* 6, 543-550.
- Pennington, T.G. & Sytsma, M. D. (2009). Seasonal changes in carbohydrate and nitrogen concentrations in Oregon and California populations of Brazilian egeria (*Egeria densa*). *Invasive Plant Science and Management* 2, 120-129.
- Perrow, M.R., Meijer, M.L., Dawidowicz, P. & Coops, H. (1997). Biomanipulation in the shallow lakes: State of the art. *Hydrobiologia* 342, 355-365.
- Pierini, S.A. & Thomaz, S.M. (2004). Effects of inorganic carbon source on photosynthetic rates of *Egeria najas* Planchon and *Egeria densa* Planchon (Hydrocharitaceae). *Aquatic Botany* 78, 135-146.
- Planchon, J.E. (1849). Sur L'*Anacharis alsinastrum*, plante anglaise supposée nouvelle avec un synopsis des espèces d'*Anacharis* en d'*Apalanthe* et des descriptions de quelques hydrocharidées nouvelles. *Annales des Sciences Naturelles; Botanique* 3, 80.
- Plantlife, (2010). Large-flowered waterweed (*Egeria densa* (aka *Elodia* [sic] *densa*)) http://www.plantlife.org.uk/wild_plants/plant_species/large-flowered_waterweed. Last accessed 01-08-2014.
- Poirrier, M.A., Burt-Utley, K., Utley, J. F. & Spalding, E. A. (2010). Submersed aquatic vegetation of the Jean Lafitte National Historical Park and Preserve. *Southeastern Naturalist* 9, 477-486.
- Q-bank invasive plants, (2014). <http://www.q-bank.eu/Plants/>. Last accessed 16-07-2014.
- Ramey, V. (2001). *Lagarosiphon major*. Center for Aquatic and Invasive Plants, University of Florida, <http://aquat1.ifas.ufl.edu/seagrant/lagmaj2.html> cited in: Department of primary Industries, (2011). *Impact Assessment Record – Lagarosiphon*. http://vro.dpi.vic.gov.au/dpi/vro/vrosite.nsf/pages/impact_Lagarosiphon. Last accessed 08-08-2014.

- Randall, J.M. & Marinelli, J. (1996). *Invasive plants: weeds of the global garden*. Brooklyn Botanic Garden, Brooklyn, New York, United States of America.
- Rascio, N., Mariani, P., Tommasini, E., Bodner, M. & Larcher, W. (1991). Photosynthetic strategies in leaves and stems of *Egeria densa*. *Planta* 185, 297-303.
- Ries, C., Krippel, Y., Pfeiffenschneider, M. & Schneider, S. (2013). Environmental impact assessment and black, watch and alert list classification after the ISEIA Protocol of non-native vascular plant species in Luxembourg. *Bulletin Mensuel. Société des Naturalistes Luxembourg* 114, 15-21.
- Riis, T., Olesen, B., Clayton, J.S., Lambertini, C., Brix, H. & Sorrell, B.K. (2012). Growth and morphology in relation to temperature and light availability during the establishment of three invasive aquatic plant species. *Aquatic Botany* 102, 56-64.
- Roberts, D., Church, A. & Cummins, S. (1999). Invasion of *Egeria* into the Hawkesbury-Nepean River, Australia. *Journal of Aquatic Plant Management* 37, 31-34.
- Robijns, J., Vanhecke, L. & Asperges, M. (2002). *Egeria densa*, een valse waterpest met grote bloemen, nieuw voor de Belgische flora. *Dumortiera* 79, 17-19.
- Rodrigues, R.B. & Thomaz, S.M. (2010). Photosynthetic and growth responses of *Egeria densa* to photosynthetic active radiation. *Aquatic Botany* 92, 281-284.
- Rose, C. & Crumpton, W. G. (1996). Effects of emergent macrophytes on dissolved oxygen dynamics in a prairie pothole wetland. *Wetlands* 16, 495-502.
- Rubel, F. & Kottek, M. (2010). Observed and projected climate shifts 1901-2100 depicted by world maps of the Köppen-Geiger climate classification. *Meteorologische Zeitschrift* 19, 135-141.
- Santos, M.J., Anderson, L.W. & Ustin, S. L. (2011). Effects of invasive species on plant communities: an example using submersed aquatic plants at the regional scale. *Biological Invasions* 13, 443-457.
- Schallenberg, M. & Sorrell, B. (2009). Regime shifts between clear and turbid water in New Zealand lakes: environmental correlates and implications for management and restoration. *New Zealand Journal of Marine and Freshwater Research*, 43(3), 701-712.
- Schiphouwer, M.E., Van Kessel, N., Matthews, J., Leuven, R.S.E.W., Van de Koppel, S., Kranenbarg, J., Haenen, O.L.M., Lenders, H.J.R., Nagelkerke, L.A.J., Van der Velde, G., Crombaghs, B. H.J.M. & Zollinger, R. (2014). *Risk analysis of exotic fish species included in the Dutch Fisheries Act and their hybrids*. RAVON report number: 2013.068, Nederlands Expertise Centrum Exoten (NEC-E), Nijmegen, the Netherlands.
- Schriver, P., Bogestrand, J., Jeppesen, E. & Søndergaard, M. (1995). Impact of submerged macrophytes on fish-zooplankton-phytoplankton interactions - large-scale enclosure experiments in a shallow eutrophic lake. *Freshwater Biology* 33, 255-270.
- Skogerboe, J.G., Getsinger, K.D. & Glomski, L.A.M. (2006). Efficacy of diquat on submersed plants treated under simulated flowing water conditions. *Journal of Aquatic Plant Management* 44, 122-125.
- Søndergaard, M., Jeppesen, E., Jensen, P.J. & Lauridsen, T. (2000). Lake restoration in Denmark. *Lake Reservoir Management* 5, 151-159.
- Søndergaard, M. & Moss, B. (1998). Impact of submerged macrophytes on phytoplankton in shallow freshwater lakes. In: Jeppesen, E., Søndergaard, M., & Christoffersen, K. (Eds). *The structuring role of submerged macrophytes in lakes*. Springer-Verlag, Berlin, Germany. pp. 115-132.
- State of Indiana, (undated). Aquatic Invasive Species: Brazilian Elodea. http://www.in.gov/dnr/files/BRAZILIAN_ELODEA.pdf. Last accessed 01-08-2014.
- Su, S.Q., Zhou, Y.M., Qin, J.G., Wang, W., Yao, W.Z. & Song, L. (2012). Physiological responses of *Egeria densa* to high ammonium concentration and nitrogen deficiency. *Chemosphere* 86, 538-545.
- Takahashi, K. & Asaeda, T. (2014). The effect of spring water on the growth of a submerged macrophyte *Egeria densa*. *Landscape and Ecological Engineering* 10, 99-107.
- Tanner, C.C. & Clayton, J.S. (1984). *Control of submerged weeds in flowing water using viscous gel diquat*. Proceedings of the 37th New Zealand Weed and Pest Control Conference cited in: McGregor, P.G. & Gourlay, H. (2002). Assessing the prospects for biological control of *Lagarosiphon* (*Lagarosiphon major* (Hydrocharitaceae)). Department of Conservation, New Zealand.
- Tanner, C.C., Clayton, J.S. & Coffey, B.T. (1990). Submerged-vegetation changes in Lake Rotoroa (Hamilton, New-Zealand) related to herbicide treatment and invasion by *Egeria densa*. *New Zealand Journal of Marine and Freshwater Research* 24, 45-57.
- Tanner, C.C., Clayton, J.S. & Wells, R.D.S. (1993). Effects of suspended-solids on the establishment

- and growth of *Egeria densa*. *Aquatic Botany* 45, 299-310.
- Valley, R.D. & Bremigan, M.T. (2002). Effects of macrophyte bed architecture on largemouth bass foraging: Implications of exotic macrophyte invasions. *Transactions of the American Fisheries Society* 131, 234-244.
- Van Kleef, H., Van der Velde, G., Leuven, R.S.E.W. & Esselink, H. (2008). Pumpkinseed sunfish (*Lepomis gibbosus*) invasions facilitated by introductions and nature management strongly reduce macroinvertebrate abundance in isolated water bodies. *Biological Invasions* 10, 1481-1490.
- Van Ooststroom, S.J., Reichgelt, T.J., Van der Veen, R., De Jongh, S.E., Stafleu, F.A. & Westhoff, V. (Eds), (1964). Flora neerlandica, Flora van Nederland, Deel I, aflevering 6, 1. Alismataceae - 15. Typhaceae:. Amsterdam, Koninklijke Nederlandse Botanische Vereniging. pp. 27-28.
- Van Valkenburg, J.L.C.H. (ed.), (2014). *Invasieve waterplanten in Nederland, 2^{de} Editie*. nVWA, Wageningen; Bureau Waardenburg, Culemborg; Communicatiebureau de Lynx, Wageningen, the Netherlands.
- Vari, A. (2013). Colonisation by fragments in six common aquatic macrophyte species. *Fundamental and Applied Limnology* 183, 15-26.
- Verbrugge, L.N.H., Leuven, R.S.E.W., Van Valkenburg, J.L.C.H. & Van den Born, R.J.G. (2014). Evaluating stakeholder awareness and involvement in risk prevention of aquatic invasive plant species by a national code of conduct. *Aquatic Invasions* 9, 369-381.
- Verbrugge, L.N.H., Van den Born, R.J.G. & Leuven, R.S.E.W. (2013). *Evaluatie convenant waterplanten 2010-2013*. Radboud University, Nijmegen, the Netherlands.
- Wade, P.M. (1990). *Physical control of aquatic weeds*. In: Pieterse, A.H. & Murphy, K.J. (Eds). *Aquatic Weeds - The ecology and management of nuisance aquatic vegetation*. Oxford University Press, Oxford, UK.
- Walsh, G.C., Dalto, Y.M., Mattioli, F.M., Carruthers, R.I. & Anderson, L.W. (2013). Biology and ecology of Brazilian elodea (*Egeria densa*) and its specific herbivore, *Hydrellia* sp., in Argentina. *Biocontrol* 58, 133-147.
- Washington State Department of Ecology (2014). Technical information about Brazilian elodea (*Egeria densa*). <http://www.ecy.wa.gov/Programs/wq/plants/weeds/aqua002.html>. Last accessed 24-07-2014.
- Webber, E. & Gut, D. (2004). Assessing the risk of potentially invasive plant species in central Europe. *Journal for Nature Conservation* 12, 171-179.
- Wells, R.D.S. & Clayton, J. S. (1991). Submerged Vegetation and Spread of *Egeria densa* Planchon in Lake Rotorua, Central North Island, New-Zealand. *New Zealand Journal of Marine and Freshwater Research* 25, 63-70.
- Wells, R.D.S., De Winton, M.D. & Clayton, J.S. (1997). Successive macrophyte invasions within the submerged flora of Lake Tarawera, Central North Island, New Zealand. *New Zealand Journal of Marine and Freshwater Research* 31, 449-459.
- Westerdahl, H.E. & Getsinger, K.D., (Eds) (1988). *Aquatic plant identification and herbicide use guide, volume II: Aquatic plants and susceptibility to herbicides*. Technical report A-88-9, Department of the Army, Waterways Experiment Station, Corps of Engineers, United States of America.
- Wijnhoven, A.L.J. & Niemeijer, C.M. (1995). *Natuurvriendelijke oevers*. In: Spijker, J. H., & Niemeijer, C. M. (Eds.). *Groenwerk, praktijkboek voor bos natuur en stedelijk groen*. Instituut voor Bos- en Natuuronderzoek (IBN-DLO), Misset Uitgeverij bv, Doetinchem, the Netherlands.
- Wilson, C.E., Darbyshire, S.J. & Jones, R. (2007). The biology of invasive alien plants in Canada. 7. *Cabomba caroliniana* A. Gray. *Canadian Journal of Plant Science* 87, 615-638.
- Yarrow, M., Marin, V.H., Finlayson, M., Tironi, A., Delgado, L.E. & Fischer, F. (2009). The ecology of *Egeria densa* Planchon (Liliopsida: Alismatales): A wetland ecosystem engineer? *Revista Chilena De Historia Natural* 82, 299-313.

Appendices

Appendix 1: Results of field survey 2014.

Location	Hoogeveen
Date of field search	26-08-2014
Latitude (dd mm,mmm)	52 42.827
Longitude (dd mm,mmm)	6 29.658
Amersfoort coordinates (RD, m)	229812 525728
Water depth (cm)	50 - 100
Transparency	>80
Width water (m)	20
Width emergent zone (m)	0 - 0.5
Water flow cm . s ⁻¹	0.5
Water type	Standing, urban pond in sandy soil
Surface area covered by <i>Egeria</i>	20%
Surface area covered by all submerged plants	40%
Surface area covered by all floating plants	2%
Surface area covered by all emerged plants	<1%
Number of individuals/shoots	>1000
Phenology	Vegetative
Tansley survey	
Water zone	
<i>Egeria densa</i> 1)	a
<i>Ceratophyllum demersum</i>	a
<i>Persicaria amphibia</i>	o
<i>Sparganium erectum</i>	o
<i>Lemna minor</i>	f
<i>Lemna minuta</i> 1)	r
<i>Nymphaea alba-hybrid</i> 1)	lo
unidentified, cf. <i>Ludwigia spec.</i> 1)	r
<i>Limnobium leavigatum</i> 1)	o
Emergent zone only	
<i>Glyceria maxima</i>	f
<i>Convolvulus sepium</i>	f
<i>Lotus pedunculatus</i>	o
<i>Vicia cracca</i>	o
<i>Sparganium erectum</i>	la
<i>Bidens frondosa</i>	o
<i>Persicaria amphibia</i>	o
<i>Holcus lanatus</i>	lf
<i>Juncus effusus</i>	la
<i>Poa trivialis</i>	o
<i>Alnus glutinosa</i>	lf
<i>Lysimachia vulgaris</i>	o
<i>Agrostis stolonifera</i>	lf
<i>Fraxinus excelsior</i>	r
<i>Iris pseudacorus</i>	o
<i>Plantago lanceolata</i>	f
<i>Carex pseudocyperus</i>	f
<i>Lycopus europaeus</i>	o
<i>Galium palustre</i>	o
<i>Ranunculus repens</i>	o
<i>Carex hirta</i>	lf
<i>Urtica dioica</i>	o
<i>Cerastium fontanum</i>	o

Tansley / DAFOR score a: abundant; d: dominant; f: frequent; o: occasional; r: rare (note: prefix l was used for local); 1) = non-native.