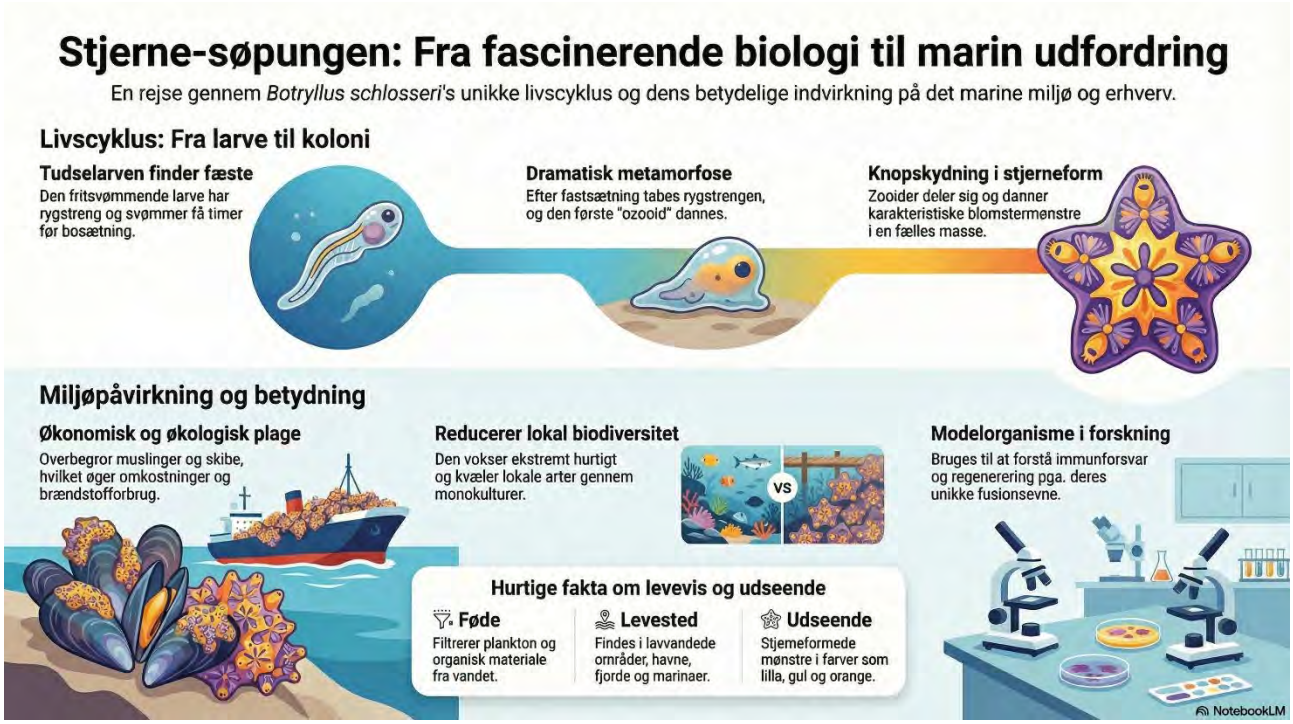
Stjernesøpung

AI Gemini redigeret af Carl Vedel Lauridsen



Indhold

Kort overblik 3

1. Livscyklus: Fra frisvømmende "haletudse" til fastsiddende voksen 3

2. Miljøpåvirkning og økologisk rolle 3

Positive påvirkninger 4

Potentielle negative påvirkninger (Biofouling) 4

Hurtige fakta 4

Omfattende analyse af den kolonidannende søpung Botryllus schlosseri: Biologi, livscyklus, globale invasionstendenser og økologisk-økonomiske konsekvenser i et dansk og globalt perspektiv 5

Taksonomisk systematik og det genetiske artskompleks 5

Morfologisk arkitektur og kolonial organisation 6

Zooidernes struktur og star-formationen 6

Det integrerede vaskulære system 7
Den komplekse livscyklus: Fra larve til ugentlig metamorfose 7
Den seksuelle fase: Embryogenese og larvedispersal 7
Den aseksuelle fase: Blastogenese og generationsturnover 7
Mekanismerne bag "Takeover" og vævsresorption 8
Regenerationsbiologi og stamcellernes plasticitet 9
Vaskulær knopskydning 9
Immunologi og fænomenet allorecognition 9
Fusion vs. Afstødning 9
Miljømæssige tolerancer og habitatpræferencer 10
Termiske grænser og klimapåvirkning 10
Salinitet og vandkvalitet 10
Substratvalg: Naturligt vs. Antropogent 10
Global udbredelse og spredningsveje 10
Vektorer for spredning 11
Økonomiske konsekvenser for akvakultur 11
Påvirkning af muslinge- og østersopdræt 11
Bekæmpelsesmetoder og begrænsninger 12
Miljømæssig indvirkning på marine økosystemer 12
Fortrængning af indfødte arter 13
Trussel mod søgræsbede 13
Rolle som byttedyr 13
Botryllus schlosseri i Danmark: Status og overvågning 13
Revision af den invasive status 2023-2024 13
Forekomst i Lillebælt og Region Syddanmark 14
Moderne forskningsperspektiver og genomisk indsigt 14
Genomsekventering og evolutionær biologi 14
Botryllin: Et naturligt antibiotikum 15
Model for neurodegeneration og regenerativ medicin 15
Forvaltningsstrategier og fremtidig overvågning 15

Biosikkerhed i akvakultur 15
Anvendelse af eDNA og moderne overvågning 15
Konkluderende bemærkninger 16
Citerede værker 17

Kort overblik

Søpungen *Dendrodoa grossularia* (på dansk ofte kaldet **stikkelsbærsøpung**) er en fascinerende lille sækformet organisme, der er vidt udbredt i danske farvande. Selvom den ligner en simpel geleagtig klump, er den faktisk et af de hvirvelløse dyr, der er tættest beslægtet med os hvirveldyr på grund af deres rygstreng i larvestadiet.

Her er et overblik over dens livscyklus og dens rolle i miljøet.

1. Livscyklus: Fra frisvømmende "haletudse" til fastsiddende voksen

Dendrodoa grossularia adskiller sig fra mange andre søpunge ved at være **ovovivipar** (den ruger sine æg ud internt).

- **Befrugtning:** Den er hermafrodit (både han og hun). Befrugtningen sker internt i dyrets atrium (kropshule), hvor æggene opbevares, indtil de klækker.
- **Larvestadiet:** Larven ligner en lille haletudse. Den har en primitiv rygstreng (*chorda*), hvilket placerer den i rækken Chordata. Larven svømmer kun frit i meget kort tid (ofte kun få timer), da dens eneste opgave er at finde et godt sted at sætte sig fast.
- **Metamorfose:** Når larven finder et egnet substrat (f.eks. en sten, en muslingeskal eller tang), sætter den sig fast med hovedet først ved hjælp af klæbeorganer. Her gennemgår den en drastisk forvandling: rygstrengen absorberes, og de voksne organer som gællesækken udvikles.
- **Voksenstadiet:** Som voksen er den fastsiddende og lever af at filtrere havvand for plankton og organiske partikler. Den når typisk en størrelse på 1–2 cm og har en karakteristisk rødlig eller læderagtig overflade.

2. Miljøpåvirkning og økologisk rolle

Søpungen spiller en vigtig rolle i det marine økosystem, både som "rensningsanlæg" og som levested.

Positive påvirkninger

- Vandfiltrering: En koloni af søpunge kan filtrere enorme mængder vand. De fjerner partikler og mikroalger, hvilket bidrager til at øge vandets klarhed.
- Biodiversitet: De skaber komplekse overflader på ellers glatte sten eller skrog, hvilket giver fæstne for andre små organismer (epifauna). De fungerer også som føde for visse snegle, fladfisk og krabber.
- Indikatorart: Forekomsten af *Dendrodoa* kan fortælle noget om vandkvaliteten, da de trives bedst i områder med god strøm og stabil saltholdighed.

Potentielle negative påvirkninger (Biofouling)

- Konkurrence: I områder med høj næringsbelastning (eutrofiering) kan søpunge formere sig eksplosivt. De kan udkonkurrere andre arter som blåmuslinger om plads og føde.
- Økonomisk impact: *Dendrodoa* er kendt for "biofouling", hvor de sætter sig fast på skibsskrog, havbrug (fiskeopdræt) og muslingeopdræt. Dette øger brændstofforbruget for skibe og kan kvæle muslinger i opdrætsanlæg.

Hurtige fakta

Egenskab	Beskrivelse
Type	Solitær (men sidder ofte tæt i grupper)
Føde	Suspension feeder (mikroskopisk plankton)
Levested	Fra tidevandszonen ned til ca. 100 meters dybde
Kendetegn	To åbninger (sifoner) øverst til ind- og udstrømningsvand

Omfattende analyse af den kolonidannende søpung Botryllus schlosseri: Biologi, livscyklus, globale invasionstendenser og økologisk-økonomiske konsekvenser i et dansk og globalt perspektiv

Den marine biologi og økologi står over for komplekse udfordringer i en tid præget af accelererende klimaforandringer og menneskeskabt spredning af arter. Blandt de organismer, der har formået at udnytte de globale handelsruter og ændrede miljøforhold mest effektivt, findes den kolonidannende søpung, *Botryllus schlosseri*, også kendt som guldstjernesøpung eller stjernesøpung.[1] Som medlem af underfylum Tunicata (urochordater) indtager denne art en unik position i det biologiske stamtræ som den nærmeste nulevende hvirvelløse slægtning til hvirveldyrene.[4] Denne evolutionære nærhed gør *B. schlosseri* til et uundværligt videnskabeligt instrument til at belyse fundamentale processer som immunologisk genkendelse, stamcelleregeneration og aldringsmekanismer, der deler dybe fælles træk med menneskelig fysiologi.[6]

Taksonomisk systematik og det genetiske artskompleks

Den taksonomiske klassificering af *Botryllus schlosseri* placerer den i klassen Ascidiacea, ordenen Stolidobranchia og familien Styelidae.[9] Selvom arten oprindeligt blev beskrevet af Pallas i 1766 som en enkelt globalt udbredt art, har moderne molekylærbiologiske analyser radikalt ændret denne opfattelse.[9] Genetiske undersøgelser baseret på mitokondrielt DNA og nukleære markører indikerer nu, at *B. schlosseri* i virkeligheden udgør et artskompleks bestående af mindst fem kryptiske arter, betegnet som kladerne A til E.[13]

Denne opdagelse har vidtrækkende implikationer for vores forståelse af artens udbredelsesbiologi og invasive potentiale. Klade A fremstår som den sande kosmopolit og er den mest udbredte i både det nordøstlige og nordvestlige Atlanterhav samt i det nordøstlige Stillehav.[12] De øvrige klader, B til E, har indtil videre vist sig at have mere restriktive udbredelsesmønstre, primært centreret omkring de europæiske kyster.[11] Eksistensen af disse klader forklarer de betydelige variationer i morfologi og temperaturtolerancer, som tidligere blev tilskrevet fænotypisk plasticitet inden for en enkelt art.[13] For forskere og miljøforvaltere betyder det, at identifikation udelukkende baseret på morfologiske træk kan være utilstrækkelig til at vurdere den specifikke risiko ved en introduceret population.[11]

Klade	Geografisk Udbredelse	Status
Klade A	Global (Europa, Nordamerika, Stillehavet)	Kosmopolitisk, stærkt invasiv i visse regioner
Klade B	Europa	Restriktiv udbredelse
Klade C	Europa	Restriktiv udbredelse
Klade D	Europa	Restriktiv udbredelse
Klade E	Europa (Middelhavet, Den Engelske Kanal, Spanien)	Delvis udbredt i europæiske farvande

Kilde: [11]

Morfologisk arkitektur og kolonial organisation

En koloni af *B. schlosseri* repræsenterer et højere niveau af biologisk organisation end det enkelte individ. Den grundlæggende enhed er zooiden, der typisk måler 1,5 til 5 mm i længden.[1] Disse zooider er ikke isolerede, men er integreret i en fælles tunica – en beskyttende matrix bestående af vand, proteiner og tunicin, et cellulari-lignende polysakkarid, der er unikt for tunicater.[17]

Zooidernes struktur og star-formationen

Zooiderne er arrangeret i karakteristiske star-formede eller blomsterlignende systemer, hvor 3 til 16 individer (typisk 5-12) er orienteret cirkulært omkring et centralt punkt.[1] Hver zooid besidder en individuel oral siphon (indstrømningsåbning) placeret perifert, mens deres modstående atrielle siphoner (udstrømningsåbninger) konvergerer i en fælles central kloak-cavitet.[8] Denne arkitektur optimerer det hydrodynamiske flow, da den fælles udstrømning minimerer recirkulation af allerede filtreret vand.[4]

Den visuelle fremtræden af en koloni er ekstremt variabel, hvilket ofte vanskeliggør feltidentifikation. Farvepaletten spænder fra hvidlig, gul og orange til rød, violet, grøn, brun og

sort.[1] Ofte er der en markant farveforskel mellem zooiderne og den omgivende tunica, og en karakteristisk mørk plet kan ofte ses i centrum af hver zooid.[3]

Det integrerede vaskulære system

Nøglen til koloniens overlevelse og synkroniserede adfærd er det ekstrakorporale vaskulære system. Et netværk af blodkar løber gennem tunicaen og forbinder alle zooider i en fælles cirkulation.[5] Ved koloniens kant ender disse kar i kolbeformede strukturer kaldet ampuller.[6] Ampullerne har flere funktioner:

- De fungerer som de primære organer for respiration.[20]
- De udskiller adhæsive substanser, der hæfter kolonien til substratet.[20]
- De er detektorer i koloniens allorecognition-system (vævskontrol), der afgør, om kontakt med en nabokoloni skal føre til fusion eller afstødning.[7]
- De fungerer som reservoirer for cirkulerende stamceller.[6]

Den komplekse livscyklus: Fra larve til ugentlig metamorfose

Livscyklussen for *Botryllus schlosseri* er præget af en unik kombination af seksuel og aseksuel reproduktion, hvilket giver arten enestående muligheder for både langdistancespredning og hurtig lokal ekspansion.[1]

Den seksuelle fase: Embryogenese og larvedispersal

B. schlosseri er en hermafrodit, der praktiserer sekventiel hermafroditisme (protogyni) for at undgå selvbefrugtning.[2] Æggene ovuleres og befrugtes internt i zooidernes peribranchiale hulrum af indkommende sæd fra andre kolonier.[4] Selvom arten kan tvinge selvbefrugtning, resulterer dette ofte i udviklingsmæssige defekter, hvilket understreger betydningen af genetisk udveksling for populationens sundhed.[2]

Embryonerne udvikles over ca. 6-7 dage ved $18^{\circ}C$, indtil de klækker som frit-svømmende larver.[21] Larven er en klassisk "tudse"-lignende figur, der i sin korte eksistens (ofte under 24-36 timer) bærer alle de fundamentale kendetegn for chordater, herunder en rygstreng (notochord), et hult dorsalt nerverør og gællespalter.[5] Larvens formål er udelukkende at finde et egnet substrat; den indtager ikke føde og bevæger sig typisk kun over korte afstande på 1-10 km.[1]

Når et egnet sted er fundet, hæfter larven sig fast via tre adhæsive organer og gennemgår en hurtig metamorfose, hvor halen resorberes, og chordate-strukturerne forsvinder for at give plads til oozooiden – den første filtrerende zooid i en ny koloni.[5]

Den aseksuelle fase: Blastogenese og generationsturnover

Straks efter etableringen begynder oozooiden en uendelig cyklus af aseksuel knopskydning kaldet blastogenese.[5] Dette fører til dannelsen af genetisk identiske blastozooider. En unik egenskab ved

B. schlosseri er, at en koloni til enhver tid huser tre generationer af individer i forskellige udviklingsstadier:

1. **Voksne zooider (Adults):** De fungerende individer, der filtrerer vand og producerer gameter.[6]
2. **Primære knopper (Primary buds/1Bs):** Knopper, der vokser ud fra de voksne zooider og er i gang med at danne deres egne organer.[6]
3. **Sekundære knopper (Secondary buds/2Bs):** Nye knopper, der dannes på de primære knopper.[6]

Udviklingsstadium	Varighed og Karakteristika ved 18∘C
Fase A (Dag 1-2)	Start på ny generation. Sekundære knopper dannes som epiteliale fortykkelser.
Fase B (Dag 3-4)	Organogenese intensiveres. Hjertet begynder at slå i primære knopper.
Fase C (Dag 5-6)	Zooiderne forbereder sig på turnover. Nye knopper færdiggør deres differentiering.
Fase D (Takeover)	De gamle voksne zooider undergår apoptose og resorberes. De primære knopper åbner siphonerne og bliver de nye voksne.

Kilde: [10]

Denne præcist synkroniserede proces kulminerer i begivenheden "takeover", hvor alle voksne zooider i kolonien dør samtidigt gennem programmeret celledød og erstattes af den næste generation.[6] Denne cyklus tager præcis en uge ved $18^{\circ}C$, men kan accelereres eller bremses afhængigt af vandtemperaturen.[21]

Mekanismerne bag "Takeover" og vævsresorption

Takeover-fasen er et af de mest dramatiske fænomener i det marine liv. I løbet af blot 24 timer forsvinder koloniens aktive voksne zooider fuldstændigt. Denne proces er ikke patologisk, men en

nøje reguleret fysiologisk udrensning. Studier har vist, at resorptionen medieres af en bølge af apoptose, der udløses af øget oxidativt stress og produktion af reaktive iltarter (ROS) i zooidens væv.[23]

Cirkulerende fagocytter spiller en afgørende rolle ved at "fortære" de cellulære rester af de døde zooider.[6] Denne genbrug af biomasse er ekstremt effektiv og tillader kolonien at overføre næringsstoffer og proteiner direkte til den nye generation af knopper.[23] Det er her værd at bemærke, at mens de somatiske celler i de voksne zooider dør, overlever stamcellerne og germline-cellerne ved at migrere gennem det vaskulære system til de nicher, hvor de kan bidrage til de næste generationer.[6] Denne ugentlige selvreparation og resorption af "ældet" væv menes at være grundlaget for koloniens potentielt meget lange levetid.[6]

Regenerationsbiologi og stamcellernes plasticitet

Botryllus schlosseri besidder en regenerativ formåen, der overgår de fleste andre hvirveldyrsslægtninge. Ud over den ugentlige blastogenese kan arten udføre "Whole Body Regeneration" (WBR). Hvis man eksperimentelt fjerner samtlige zooider og knopper fra en koloni, så kun det vaskulære system og tunicaen er tilbage, kan kolonien gendanne sig selv fuldstændigt.[6]

Vaskulær knopskydning

Denne ekstraordinære proces kaldes vaskulær knopskydning. Her begynder celler i vaskulærvæggen (blodkarrene) at samle sig og danne nye zooid-anlæg.[28] Forskning tyder på, at denne proces styres af pluripotente stamceller, der findes i specifikke nicher i kolonien, herunder de såkaldte ventrale celleøer (cell islands) nær endostylen.[6] Evnen til at regenerere et helt komplekst dyr fra et fragment af et blodkar giver unikke perspektiver på evolutionen af stamceller og regenerationspotentialet i chordat-linjen.[6]

Immunologi og fænomenet allorecognition

Et centralt aspekt af *B. schlosseri*'s biologi er dens evne til at skelne mellem "selv" og "ikke-selv" ved kontakt med andre individer af samme art. Dette allorecognition-system styres af et enkelt polymorft genlokus kaldet Fu/HC (fusion/histocompatibility).[4]

Fusion vs. Afstødning

Når to kolonier vokser mod hinanden og deres ampuller rører hinanden, opstår der to mulige udfald:

1. **Fusion:** Hvis kolonierne deler mindst ét allel ved Fu/HC-lokus, vil deres tunicaer smelte sammen, og deres vaskulære systemer vil etablere en fælles cirkulation.[4] Dette skaber en genetisk kimære – en koloni med zooider af forskellig genetisk oprindelse.[5]
2. **Afstødning (Rejection):** Hvis kolonierne ikke deler nogen alleler, iværksættes en inflammatorisk reaktion. Morula-celler migrerer til kontaktzonen og frigiver phenoloxidase, hvilket fører til dannelsen af mørkebrune, cytotoksiske læsioner kaldet "points of rejection"

(POR).[7]

Denne evne til naturlig allogen transplantation gør *B. schlosseri* til en uundværlig model for studiet af transplantationstolerance og immunologisk hukommelse, processer der i deres grundtræk minder om mekanismerne bag afstødning af organer hos mennesker.[7]

Miljømæssige tolerancer og habitatpræferencer

Succesen for *B. schlosseri* som global kolonisator skyldes dens betydelige miljømæssige plasticitet. Arten kan tolerere et ekstremt bredt spektrum af temperaturer og saliniteter, hvilket gør det muligt for den at etablere sig i alt fra beskyttede fjorde til eksponerede kystlinjer.[27]

Termiske grænser og klimapåvirkning

Arten trives ved temperaturer fra ca. -1^{0}C til over 30^{0}C .[3] Selvom kolonierne kan overleve ved lave temperaturer, kræver reproduktion og hurtig vækst typisk vandtemperaturer over 10^{0}C -15^{0}C .[1] Der er evidens for, at lokale populationer kan tilpasse deres termiske tolerance til deres specifikke habitat over relativt korte tidsperioder, hvilket tyder på en høj grad af evolutionær adaptabilitet.[3] Klimaforandringer og de dermed stigende havtemperaturer forventes at favorisere *B. schlosseri*, da det forlænger dens vækst- og reproduktionssæson, især i tempererede områder som Nordeuropa og Canada.[3]

Salinitet og vandkvalitet

B. schlosseri foretrækker fuld marin salinitet (30-40 PSU), men har vist sig i stand til at opretholde populationer i estuarier og indre farvande med variabel salinitet ned til ca. 14 PSU.[3] Arten er desuden kendt for at trives i moderat forurenede miljøer, hvilket forklarer dens hyppige forekomst i kommercielle havne og marinaer.[3]

Substratvalg: Naturligt vs. Antropogent

Arten er en generalist, når det kommer til overflader. I det naturlige miljø koloniserer den sten, klipper, tang (især kelp-stipes) og skaller fra bivalver.[1] Dog er dens præference for kunstige strukturer markant. Flydebroer, skibsskrog, net i fiskeopdræt og bøjer tilbyder ofte ideelle betingelser med reduceret prædation og gode strømforhold for filtrering.[1] Undersøgelser har vist, at *B. schlosseri* ofte vokser hurtigere på kunstige materialer som gummi og metal end på naturlige materialer som marmor eller skifer.[13]

Global udbredelse og spredningsveje

Oprindelsen af *B. schlosseri* er fortsat genstand for videnskabelig diskussion. Nogle kilder peger på europæiske farvande eller Middelhavet som artens vugge, mens andre foreslår en oprindelse i Stillehavet.[10] Uanset oprindelsen er arten i dag betragtet som kosmopolitisk og findes på alle kontinenter undtagen Antarktis.[1]

Vektorer for spredning

Den globale spredning er primært drevet af menneskelige aktiviteter:

- **Skibsfart:** Begroning på skibsskrog (biofouling) og transport af larver eller fragmenter i ballastvand er de vigtigste langdistancevektorer.[1]
- **Akvakultur:** Flytning af østers- og muslingeyngel mellem forskellige opdrætsområder har historisk set været en væsentlig årsag til introduktion af søpunge til nye regioner.[1]
- **Rafting:** Kolonier kan fæstne sig til drivende marint affald eller løsrevne tangplanter og derved spredes passivt med havstrømme.[1]

I Nordamerika har arten etableret sig som en dominerende del af det marine fouling-samfund langs både øst- og vestkysten, og den betragtes her som en af de mest udbredte invasive arter.[2]

Økonomiske konsekvenser for akvakultur

For den globale akvakultursektor repræsenterer *B. schlosseri* en betydelig udfordring. Dens hurtige vækst og evne til at overvokse andre organismer gør den til en "biofouling pest", der direkte påvirker produktionen af bivalver.[1]

Påvirkning af muslinge- og østersopdræt

Når kolonier etablerer sig på muslingestrømper eller østersbakker, har det flere negative konsekvenser:

- **Konkurrence om føde:** Som filtreringsorganisme konkurrerer *B. schlosseri* med de opdrættede dyr om fytoplankton og andre næringsstoffer i vandet.[1]
- **Vægt og mekanisk stress:** Tætte kolonier øger vægten af opdrætsudstyret markant, hvilket kan føre til brud på liner eller nødvendiggøre dyrere og tungere infrastruktur.[1]
- **Reduceret vandgennemstrømning:** Massive belægninger af søpunge på net kan blokere for det vandflow, der er nødvendigt for at tilføre ilt og fjerne affaldsstoffer fra de opdrættede dyr, hvilket kan føre til stress og øget dødelighed.[33]

Forarbejdningsomkostninger: Fjernelse af søpunge fra muslinger før salg kræver ekstra arbejdskraft og specialiseret udstyr, hvilket fordyrer det endelige produkt.[1]

Region	Specifik økonomisk påvirkning	Kilde
Chesapeake Bay, USA	Alvorlig skadegører på østersbakker; hæmmer vækst.	13
Nova Scotia, Canada	Udbredt fouling på muslingeopdræt; øger vedligeholdelse.	1
Middelhavet	Konkurrence om plads i integreret akvakultur (IMTA).	8
Martha's Vineyard, USA	Fouling på udstyr til bugtscallops (Argopecten irradians).	13

Bekæmpelsesmetoder og begrænsninger

Der findes ingen mirakelkur mod *B. schlosseri* i akvakultur, men flere strategier anvendes:

- **Højtryksspuling:** Brug af havvand under tryk kan fjerne store dele af kolonierne, men effekten er ofte kortvarig, da de resterende fragmenter hurtigt kan gendanne nye kolonier.[1]
- **Kemisk behandling:** Dypning af muslingestrømper i ca. 5% eddikesyre i mere end 15 sekunder har vist sig effektivt til at dræbe søpunge uden at skade muslingerne, men det er en logistisk tung proces.[32]
- **Eksponering for luft/ferskvand:** Da søpunge er mere følsomme over for udtørring og lav salinitet end mange bivalver, kan kontrolleret tørlægning eller ferskvandsbade anvendes som kontrolmiddel.[27]

Miljømæssig indvirkning på marine økosystemer

Ud over de økonomiske tab har *B. schlosseri* potentiale til at ændre de økologiske dynamikker i de områder, den koloniserer.

Fortrængning af indfødte arter

Som en hurtigvoksende kolonist af hård bund kan *B. schlosseri* udkonkurrere indfødte arter af søpunge, svampe og bryozoer om plads.[13] I visse områder har introduktionen af *B. schlosseri* ført til en homogenisering af fouling-samfundet, hvor denne art bliver den dominerende komponent på bekostning af den lokale biodiversitet.[3]

Trussel mod søgræsbede

En særlig bekymring knytter sig til artens evne til at vokse på blade af ålegræs (*Zostera marina*). Når kolonierne dækker bladene, reduceres den lysmængde, planten modtager til fotosyntese. Dette kan føre til nedsat produktivitet og øget dødelighed i søgræsbede, der fungerer som vigtige opvækstområder for mange fiskearter.[3]

Rolle som byttedyr

Interessant nok kan introducerede arter også blive en del af det lokale fødenet. I nordiske farvande, herunder Danmark, er det observeret, at visse nøgensnegle som *Ancula gibbosa* og *Pelagella castanea* har specialiseret sig i at leve af og på kolonidannende søpunge som *B. schlosseri*.[34] Disse prædatorer kan gnave sig ind i kolonien og fortære det bløde væv, hvilket i nogle tilfælde kan fungere som en naturlig begrænsning på søpungens udbredelse.[34]

Botryllus schlosseri i Danmark: Status og overvågning

I Danmark er *Botryllus schlosseri* en velkendt art, der har været til stede i de indre danske farvande i mange årtier. Dens udbredelse strækker sig fra Vadehavet i vest til de vestlige dele af Østersøen i øst.[18]

Revision af den invasive status 2023-2024

En markant udvikling i den danske forvaltning af arten skete i maj 2023. Miljøstyrelsen offentliggjorde en revideret liste over invasive arter, hvor antallet af arter blev reduceret drastisk.[37] Revisionen var baseret på en omfattende konsensusrapport fra DCE – Nationalt Center for Miljø og Energi ved Aarhus Universitet.[38]

I denne proces blev det vurderet, om ikke-hjemmehørende arter som *B. schlosseri* udgør en væsentlig trussel mod den danske natur og biodiversitet. For at en art kan betegnes som invasiv i Danmark, skal den opfylde strenge kriterier for negativ påvirkning af økosystemer, økonomi eller sundhed.[38] *Botryllus schlosseri* blev, i lighed med arter som fasan og karpe, ikke længere vurderet som værende en væsentlig trussel mod den danske biodiversitet i en grad, der berettiger dens placering på den nationale liste over de mest problematiske invasive arter.[37] Dette skyldes sandsynligvis, at arten i de danske farvande betragtes som værende i økologisk balance og ikke udviser den samme eksplosive, destruktive vækst, som man ser i for eksempel Canada.[37]

Forekomst i Lillebælt og Region Syddanmark

Området omkring Lillebælt og Assens er kendt for sit rige marine liv, og *B. schlosseri* er en fast bestanddel af de lokale begroningssamfund her.[34] I havneovervågningen i 2023, der omfattede havne som Esbjerg og Fredericia, blev der registeret flere ikke-hjemmehørende søpunge (NIS), herunder *Styela clava* (østasiatisk søpung) og *Botrylloides violaceus*.[42] Selvom *B. schlosseri* ikke altid figurerer som en invasiv art i disse rapporter, optræder den ofte i de generelle biologiske undersøgelser af områdets hårdbundsfauna.[34]

I Lillebælt observeres arten typisk på lavt vand (0-25 m) på hårdbund, hvor den ofte findes sammen med sin prædator, nøgensneglen *Ancula gibbosa*.[34] Den høje vandudskiftning i bæltet giver ideelle betingelser for denne filtreringsorganisme.[27]

Overvågningsområde (2023)	Registrerede Søpunge (NIS)	Status for B. schlosseri
Esbjerg Havn	Botrylloides violaceus, Didemnum vexillum, Styela clava	Forekommer lokalt, men ikke listet som primær NIS i 2023-rapporten.
Fredericia Havn	Molgula manhattensis, Styela clava	Findes i området; betragtes som etableret/hjemmehørende.
Aarhus Havn	Styela clava, Molgula manhattensis	Almindelig i havneområder.

Kilde: [38]

Moderne forskningsperspektiver og genomisk indsigt

Som tidligere nævnt er *B. schlosseri* langt mere end blot en økologisk udfordring; den er en hjørnesten i moderne biomedicinsk grundforskning.

Genomsekventering og evolutionær biologi

I 2013 blev genomet for *B. schlosseri* fuldstændigt sekventeret, hvilket åbnede nye døre for forståelsen af chordaternes evolution.[2] Genomet er på ca. 533-580 megabaser fordelt på 16 kromosomer og indeholder mellem 22.000 og 27.000 gener.[2] Analyser har vist, at ca. 55% af

generne indeholder introner, hvilket er et træk, der minder om den komplekse genstruktur hos hvirveldyr.[22] Sammenligninger med det menneskelige genom har afsløret slående ligheder i de genetiske programmer, der styrer dannelsen af blodceller og det vaskulære system.[7] Dette gør søpungen til en yderst relevant model for studiet af menneskelige sygdomme, herunder hæmatologiske lidelser og angiogenese (dannelsen af nye blodkar).[7]

Botryllin: Et naturligt antibiotikum

Nylig forskning har identificeret et specifikt gen hos *B. schlosseri* kaldet *botryllin*, der koder for et antimikrobielt peptid (AMP).[43] Dette peptid spiller en central rolle i koloniens medfødte immunforsvar ved at beskytte mod invaderende bakterier og patogener i det marine miljø.[43] Identifikationen af sådanne molekyler har ikke kun betydning for forståelsen af artens økologiske succes, men rummer også potentiale for udvikling af nye typer antibiotika til human brug.[43]

Model for neurodegeneration og regenerativ medicin

Takeover-fasen, hvor zooidernes hjerner og nervesystemer degenererer og gendannes hver uge, er blevet et vigtigt fokuspunkt for forskning i neurodegenerative sygdomme som Alzheimers og Parkinsons.[8] Ved at studere de molekylære signaler, der tillader *B. schlosseri* at genopbygge sit nervesystem uden ardannelse eller funktionstab, håber forskere at finde veje til at stimulere lignende processer i den menneskelige hjerne.[6]

Forvaltningsstrategier og fremtidig overvågning

Selvom *B. schlosseri* ikke længere topper listen over akutte invasive trusler i Danmark, kræver dens rolle i akvakultur og dens potentiale for hurtig spredning fortsat opmærksomhed.

Biosikkerhed i akvakultur

For at minimere de økonomiske tab i muslinge- og østersopdræt er det afgørende med strikse biosikkerhedsprotokoller:

- **Overvågning af yngeltransport:** Grundig kontrol af skaldyr, der flyttes mellem fjorde, for at undgå utilsigtet spredning af søpunge-fragmenter.[1]
- **Rengøring af udstyr:** Både og redskaber bør rengøres og tørres i mindst 7 dage, før de flyttes til nye vandområder.[1]
- **Strategisk høst:** Fjernelse af søpunge før deres årlige reproduktionstop (som i koldere farvande ofte ligger i sensommeren) kan reducere det lokale larvepres markant.[1]

Anvendelse af eDNA og moderne overvågning

Fremtidens overvågning af det marine miljø i Danmark vil i stigende grad basere sig på eDNA-teknologi. Miljøstyrelsen og forskningsinstitutioner har allerede udviklet specifikke primere og prober til detektion af mange ikke-hjemmehørende arter, herunder søpunge.[42] Denne metode tillader hurtig og billig screening af store vandmængder og kan afsløre tilstedeværelsen af *B.*

schlosseri og dens kryptiske klader, selv når de optræder i lave tætheder eller på svært tilgængelige steder.[42]

Konkluderende bemærkninger

Den kolonidannende søpung *Botryllus schlosseri* står som et pragteksempel på den biologiske kompleksitet, der findes i vores kystnære farvande. Dens unikke livscyklus, præget af en ugentlig cyklus af død og genfødsel, udfordrer vores forestillinger om individualitet og aldring. Som en global kolonisator har den demonstreret en enestående evne til at navigere i menneskeskabte miljøer, hvilket har gjort den til både en økonomisk belastning for akvakultur og en videnskabelig guldgrube for biomedicinsk forskning.

I en dansk kontekst afspejler revisionen af dens invasive status en moden tilgang til naturforvaltning, hvor fokus flyttes fra blot at registrere ikke-hjemmehørende arter til at vurdere deres faktiske økologiske indvirkning under lokale forhold. Mens *B. schlosseri* i Danmark i dag betragtes som en integreret del af vores marine fauna, kræver de igangværende klimaforandringer og den fortsatte globale skibsfart, at vi bevarer et vågent øje med denne "stjerne" i havet. Fortsat forskning i dens genom, immunbiologi og tilpasningsevne vil ikke blot hjælpe os med at beskytte vores marine ressourcer, men også fortsat give os dybere indsigt i vores egen evolutionære historie som chordater.

Citerede værker

1. Golden Star Tunicate, tilgået april 1, 2026, https://www.dfo-mpo.gc.ca/species-especes/profiles-profils/goldenstartunicate-botrylleetoile-eng.html
2. Botryllus schlosseri - Wikipedia, tilgået april 1, 2026, https://en.wikipedia.org/wiki/Botryllus_schlosseri
3. Star Ascidian - Non-native Species Secretariat, tilgået april 1, 2026, https://www.nonnativespecies.org/assets/FINAL_StarAscidian.pdf
4. Botryllus schlosseri (Pallas, 1766) - GBIF, tilgået april 1, 2026, https://www.gbif.org/fr/species/170488461
5. Ontology for the Asexual Development and Anatomy of the Colonial Chordate Botryllus schlosseri | PLOS One - Research journals, tilgået april 1, 2026, https://journals.plos.org/plosone/article?id=10.1371/journal.pone.0096434
6. Botryllus schlosseri, an emerging model for the study of aging, stem cells, and mechanisms of regeneration - PMC, tilgået april 1, 2026, https://pmc.ncbi.nlm.nih.gov/articles/PMC4464096/
7. Botryllus schlosseri as a Unique Colonial Chordate Model for the Study and Modulation of Innate Immune Activity - PMC, tilgået april 1, 2026, https://pmc.ncbi.nlm.nih.gov/articles/PMC8398012/
8. Botryllus schlosseri - Biodiversity Gateway, tilgået april 1, 2026, https://www.biodiversitygateway.it/wp-content/uploads/2026/02/ENG_SCHEDA_Botryllus_schlosseri.pdf
9. Belgian Register of Marine Species - Botryllus schlosseri (Pallas, 1766), tilgået april 1, 2026, http://www.marinespecies.org/berms/aphia.php?p=taxdetails&id=103862
10. 21 Botryllus schlosseri—A Model Colonial, tilgået april 1, 2026, https://www.vliz.be/imisdocs/publications/382326.pdf
11. Botryllus schlosseri (Pallas, 1766) - GBIF, tilgået april 1, 2026, https://www.gbif.org/species/5200757
12. Fixation, description and DNA barcode of a neotype for Botryllus schlosseri (Pallas, 1766) (Tunicata, Ascidiacea) - ResearchGate, tilgået april 1, 2026, https://www.researchgate.net/publication/321226963_Fixation_description_and_DNA_barcode_of_a_neotype_for_Botryllus_schlosseri_Pallas_1766_Tunicata_Ascidiacea
13. Botryllus schlosseri - Marine Invasions research at SERC, tilgået april 1, 2026, https://invasions.si.edu/nemesis/species_summary/159373
14. Botryllus schlosseri - Marine Invasions research at SERC, tilgået april 1, 2026, https://invasions.si.edu/nemesis/calnemo/species_summary/159373
15. Botryllus schlosseri - Marine Invasions research at SERC, tilgået april 1, 2026, https://invasions.si.edu/nemesis/chesreport/species_summary/botryllus%20schlosseri
16. Variation of thermal tolerance during northward range expansion in the invasive golden star tunicate, Botryllus schlosseri - PMC, tilgået april 1, 2026, https://pmc.ncbi.nlm.nih.gov/articles/PMC12042657/
17. description de Botryllus schlosseri - Star sea squirt - European Marine Life, tilgået april 1, 2026, https://www.european-marine-life.org/32/botryllus-schlosseri.php
18. Biological Synopsis of the colonial tunicates, Botryllus schlosseri and Botrylloides violaceus - Canada.ca, tilgået april 1, 2026, https://waves-vagues.dfo-mpo.gc.ca/library-

bibliotheque/325201.pdf
19. Botryllus schlosseri - Marine Life Encyclopedia - Habitas, tilgået april 1, 2026, https://www.habitas.org.uk/marinelife/species.asp?item=ZD2090
20. Species - Botryllus schlosseri - nimpis, tilgået april 1, 2026, https://nimpis.marinepests.gov.au/species/species/80
21. Yamanaka Factors in the Budding Tunicate Botryllus schlosseri Show a Shared Spatio-Temporal Expression Pattern in Chordates - Frontiers, tilgået april 1, 2026, https://www.frontiersin.org/journals/cell-and-developmental-biology/articles/10.3389/fcell.2022.782722/full
22. The genome sequence of the colonial chordate, Botryllus schlosseri | eLife, tilgået april 1, 2026, https://elifesciences.org/articles/00569
23. Proteome-Wide 4-Hydroxy-2-Nonenal Signature of Oxidative Stress in the Marine Invasive Tunicate Botryllus schlosseri - PMC, tilgået april 1, 2026, https://pmc.ncbi.nlm.nih.gov/articles/PMC12491926/
24. Botryllus schlosseri, tilgået april 1, 2026, https://www.crmc.ri.gov/invasives/invasives_refcards/B_schlosseri.pdf
25. Sexual and asexual development: two distinct programs producing ..., tilgået april 1, 2026, https://pmc.ncbi.nlm.nih.gov/articles/PMC7949349/
26. Analysis of the basal chordate Botryllus schlosseri reveals a set of genes associated with fertility - PMC, tilgået april 1, 2026, https://pmc.ncbi.nlm.nih.gov/articles/PMC4523013/
27. Star ascidian (Botryllus schlosseri) - MarLIN - The Marine Life Information Network, tilgået april 1, 2026, https://www.marlin.ac.uk/species/detail/1340
28. Botryllus schlosseri - Ascidian Biology Lab, tilgået april 1, 2026, https://sites.google.com/site/ascidianbiologylab/botryllus-schlosseri
29. The Onset of Whole-Body Regeneration in Botryllus schlosseri: Morphological and Molecular Characterization - Frontiers, tilgået april 1, 2026, https://www.frontiersin.org/journals/cell-and-developmental-biology/articles/10.3389/fcell.2022.843775/full
30. Botryllus schlosseri as a Unique Colonial Chordate Model for the Study and Modulation of Innate Immune Activity - PubMed, tilgået april 1, 2026, https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/34436293/
31. (PDF) Biological Synopsis of the colonial tunicates, Botryllus schlosseri and Botrylloides violaceus - ResearchGate, tilgået april 1, 2026, https://www.researchgate.net/publication/239864955_Biological_Synopsis_of_the_colonial_tunicates_Botryllus_schlosseri_and_Botrylloides_violaceus
32. Pressurized seawater as an antifouling treatment against the colonial tunicates Botrylloides violaceus and Botryllus schlosseri - Aquatic Invasions, tilgået april 1, 2026, http://www.aquaticinvasions.net/2011/AI_2011_6_4_Arens_etal2.pdf
33. Biofouling Role in Mariculture Environment Restoration: An Example in the Mar Grande of Taranto (Mediterranean Sea) - Frontiers, tilgået april 1, 2026, https://www.frontiersin.org/journals/marine-science/articles/10.3389/fmars.2022.842616/full
34. Ancula gibbosa – dorid nøgensnegl med pukkel og gule udvækster, tilgået april 1, 2026, https://www.nudibranchia.dk/ancula-gibbosa.html
35. Pelagella castanea – brun dorid nøgensnegl knyttet til kolonidannende søpunge, tilgået april 1, 2026, https://www.nudibranchia.dk/pelagella-castanea.html

36. (PDF) Naturforholdene i havet omkring Læsø: Pilotprojekt Marin Nationalpark Læsø, tilgået april 1, 2026, https://www.researchgate.net/publication/319254761_Naturforholdene_i_havet_omkring_Laeso_Pilotprojekt_Marin_Nationalpark_Laeso
37. Listen over invasive arter i Danmark er skrumpet - Miljøstyrelsen, tilgået april 1, 2026, https://mst.dk/nyheder/2023/maj/listen-over-invasive-arter-i-danmark-er-skrumpet
38. KONSENSUS OMKRING VURDERING AF IKKE ..., tilgået april 1, 2026, https://dce.au.dk/fileadmin/dce.au.dk/Udgivelser/Tekniske_rapporter_250-299/TR271.pdf
39. Invasive plantearter - NOVANA - Aarhus Universitet, tilgået april 1, 2026, https://novana.au.dk/naturtyper/kontrolovervaagning/indikatorer/artssammensaetning/invasive-arter
40. – dyr og planter i Danmark - projekter.au.dk, tilgået april 1, 2026, https://projekter.au.dk/fileadmin/projekter/havet/Vejledninger/60570_invasivearter_grundbog_21_09_net.pdf
41. De invasive arter - Styrelsen for Grøn Arealomlægning og Vandmiljø, tilgået april 1, 2026, https://sgavmst.dk/arter/artsforvaltning/invasive-arter/de-invasive-arter
42. HAVNEOVERVÅGNING AF IKKE- HJEMMEHØRENDE ARTER 2023, tilgået april 1, 2026, https://dce.au.dk/fileadmin/dce.au.dk/Udgivelser/Videnskabelige_rapporter_600-699/SR639.pdf
43. Botryllin, a Novel Antimicrobial Peptide from the Colonial Ascidian Botryllus schlosseri - PMC, tilgået april 1, 2026, https://pmc.ncbi.nlm.nih.gov/articles/PMC9966394/
44. (PDF) Steps toward nation-wide monitoring of non-indigenous species in Danish marine waters under the Marine Strategy Framework Directive - ResearchGate, tilgået april 1, 2026, https://www.researchgate.net/publication/301214836_Steps_toward_nation-wide_monitoring_of_non-indigenous_species_in_Danish_marine_waters_under_the_Marine_Strategy_Framework_Directive