

Specificaties voor het elektrisch bedwelmen van de Noordzeekrab en Europese kreeft: een aanzet

Hans van de Vis, Henny Reimert, Luca Pettinau, Ragnhild Svalheim, Bjørn Roth en
Endre Grimsbø

Rapport 1490



WAGENINGEN
UNIVERSITY & RESEARCH

Specificaties voor het elektrisch bedwelmen van de Noordzeekrab en Europese kreeft: een aanzet

Hans van de Vis¹, Henny Reimert¹, Luca Pettinau¹, Ragnhild Svalheim², Bjørn Roth² en Endre Grimsbø³

¹ Wageningen Livestock Research

² Nofima

³ The Arctic University of Norway

Dit onderzoek is uitgevoerd door Wageningen Livestock Research (WLR), het instituut Nofima in Noorwegen en The Arctic University of Norway. Het deel dat is uitgevoerd door WLR is gesubsidieerd door het ministerie van Landbouw, Natuur en Voedselkwaliteit, in het kader van het Beleidsondersteunend onderzoek thema Natuurinclusieve Visserij (projectnummer BO-43-119.01-065-WMR).

Wageningen Livestock Research
Wageningen, juli 2024

Rapport 1490

Van de Vis, H., Reimert, H., Pettinau, L., Svalheim, R., Roth, B. en Grimsbø, E. 2024. *Specificaties voor het elektrisch bedwelmen van de Noordzeekrab en Europese kreeft: een aanzet*. Wageningen Livestock Research, Openbaar Rapport 1490.

Vanwege maatschappelijke ontwikkelingen is het van belang mogelijk ongerief te voorkomen tijdens het doden van de Noordzeekrab (*Cancer pagurus*) en Europese kreeft (*Homarus gammarus*). In Nederlandse restaurants worden deze dieren vaak levend gekookt.

Mogelijk ongerief tijdens het doden van deze dieren kan worden geminimaliseerd door deze dieren te bedwelmen en in bewusteloze staat te doden door ze bv. te koken.

Dit project is een aanzet om specificaties op te leveren voor het elektrisch bedwelmen van de Noordzeekrab en Europese kreeft. De experimenten en gegevensverwerking werden uitgevoerd in samenwerking met het instituut Nofima in Noorwegen en The Arctic Universiteit of Norway. We hebben ook samengewerkt met twee fabrikanten van bedwelmingsapparatuur in het project.

Due to societal developments, avoiding potential discomfort during killing of the North Sea crab (*Cancer pagurus*) and European lobster (*Homarus gammarus*) is important. In Dutch restaurants, these animals are often cooked alive.

Potential discomfort during the killing of these animals can be minimised by stunning these animals and killing them in an unconscious state by e.g. boiling them.

This project is the first step to establishing specifications for electrical stunning of electric North Sea crab and European lobster. The experiments and data processing were performed in collaboration with the institute Nofima in Norway and the Arctic University of Norway. We also collaborated with two equipment manufacturers in the project.

Dit rapport is gratis te downloaden op <https://doi.org/10.18174/661689> of op www.wur.nl/livestock-research (onder Wageningen Livestock Research publicaties).



Dit werk valt onder een Creative Commons Naamsvermelding-Niet Commercieel 4.0 Internationaal-licentie.

© Wageningen Livestock Research, onderdeel van Stichting Wageningen Research, 2024

De gebruiker mag het werk kopiëren, verspreiden en doorgeven en afgeleide werken maken. Materiaal van derden waarvan in het werk gebruik is gemaakt en waarop intellectuele eigendomsrechten berusten, mogen niet zonder voorafgaande toestemming van derden gebruikt worden. De gebruiker dient bij het werk de naam van de maker of de licentiegever aangegeven naam te vermelden, maar niet zodanig dat de indruk gewekt wordt dat zij daarmee instemmen met het werk van de gebruiker of het gebruik van het werk. De gebruiker mag het werk niet voor commerciële doeleinden gebruiken.

Wageningen Livestock Research aanvaardt geen aansprakelijkheid voor eventuele schade voortvloeiend uit het gebruik van de resultaten van dit onderzoek of de toepassing van de adviezen.

Wageningen Livestock Research is NEN-EN-ISO 9001:2015 gecertificeerd.

Op al onze onderzoeksopdrachten zijn de Algemene Voorwaarden van de Animal Sciences Group van toepassing. Deze zijn gedeponeerd bij de Arrondissementsrechtbank Zwolle.

Openbaar Wageningen Livestock Research Rapport 1490

Inhoud

Woord vooraf	5
Samenvatting	7
1 Inleiding	9
2 Kennisvragen	11
3.1 Dieren	12
3.2 Methoden	12
3.2.1 Meting van spanning en stroom	12
3.2.2 Gedragsobservaties	12
3.2.3 Meten van de elektrofysiologische activiteit in de Noordzeekrab en Europese kreeft	13
3.2.4 Elektrisch bedwelmen gevolgd door koken	13
3.2.5 Statistiek	15
3.2.6 Noorse wet op de Dierproeven	15
4 Resultaten en discussie	16
4.1 Aanzet tot specificaties voor elektrisch bedwelmen na ontwateren en in zeewater voor Noordzeekrab en Europese kreeft	16
4.2 Bedwelmen en doden van Noordzeekrab en Europese kreeft: gedragsobservaties	16
4.3 Bedwelmen en doden van Noordzeekrab en Europese kreeft: elektrofysiologische activiteit	17
4.3.1 Noordzeekrab	17
4.3.2 Europese kreeft	19
5 Conclusies en aanbevelingen	21
6 Dankwoord	23
7 Literatuur	24
8 Verklarende woordenlijst	26

Woord vooraf

In Nederland groeit de aandacht voor het welzijn van krabben en kreeften. Het gaat hierbij om het bedwelmen van deze dieren, zodat ze in een bewusteloze staat kunnen worden gedood. Deze maatschappelijke ontwikkeling heeft geleid tot het beleidsondersteunend onderzoek naar het elektrisch bedwelmen van de Noordzeekrab en Europese kreeft. Het in dit rapport beschreven project bestaat uit experimenteel onderzoek, dat is uitgevoerd in samenwerking met het onderzoeksinstituut Nofima in Noorwegen en The Arctic University of Norway. In de experimenten zijn de technische aspecten onderzocht van het elektrisch bedwelmen van de gekozen soorten. Het is belangrijk om te melden dat de interpretatie van de elektrofysiologische metingen aan het cerebrale ganglion (de zgn. hersenen) in beide soorten in ons onderzoek in de kinderschoenen staat, wat ook internationaal gezien het geval is. Het in dit rapport beschreven onderzoek vormt een aanzet tot het toetsen van het elektrisch bedwelmen en daarna doden van de bewusteloze Noordzeekrab en Europese kreeft met behulp van elektrofysiologische metingen. Het daadwerkelijk operationaliseren van het bedwelmen en doden van de gekozen soorten met behulp van praktijktesten kan pas worden uitgevoerd zodra de specificaties voor het bedwelmen en daarna doden beschikbaar zijn. De uitvoering van de praktijktesten viel buiten het bestek van het onderzoek. Om de leesbaarheid van het rapport te vergroten, staat achterin een verklarende woordenlijst.



Samenvatting

Aandacht voor het dierenwelzijn valt ook onder het thema duurzaamheid. De wetenschappelijke literatuur laat zien dat er aanwijzingen zijn dat krabben en kreeften mogelijk een bewustzijn hebben. Het is daarom van belang mogelijk ongerief te voorkomen door deze dieren eerst te bedwelmen en pas daarna te doden. Bedwelmen houdt in dat de bewusteloosheid wordt opgewekt zonder vermijdbaar ongerief en aanhoudt totdat het dier dood is. Door gebruik te maken van elektriciteit voor het bedwelmen kan de bewusteloosheid onmiddellijk worden opgewekt, mits de juiste condities worden gebruikt.

De huidige praktijk in Nederland is dat de Noordzeekrab (*Cancer pagurus*) en Europese kreeft (*Homarus gammarus*) worden gedood door de dieren in veel gevallen levend en bij bewustzijn te koken. Een recente ontwikkeling in het onderzoek is het elektrisch bedwelmen van deze dieren, waarbij de elektrofysiologische activiteit in het zenuwstelsel wordt geregistreerd.

Het doel van het onderzoek was een aanzet tot het vaststellen van de specificaties voor het elektrisch bedwelmen van beide soorten, zodat de dieren in een bewusteloze staat kunnen worden gedood door ze te koken. Het bedwelmen en koken werd geanalyseerd met behulp van gedragsobservaties en het meten van de elektrofysiologische activiteit.

De beantwoording van de onderstaande kennisvragen van het ministerie van LNV geeft de verkregen resultaten van het onderzoek weer.

1

Vraag

Wat zijn de specificaties om beide soorten onmiddellijk te bedwelmen met elektriciteit en welke dodingsmethode is geschikt zonder dat de dieren weer bij bewustzijn komen?

Antwoord

Het lijkt mogelijk om met elektrisch bedwelmen na ontwateren de bewusteloosheid bij de Noordzeekrab en de Europese kreeft onmiddellijk op te wekken. Wanneer de dieren gedurende 10 seconden werden blootgesteld aan $220 V_{rms}$ 50 Hz ac werd er door de deze dieren respectievelijk een elektrische stroom van $4.8 \pm 2.4 A_{rms}$ en $4.7 \pm 2.0 A_{rms}$ gevoerd. De metingen wezen erop dat de bewusteloze Noordzeekrab en Europese kreeft niet meer bijkwamen tijdens het koken. Ook voor het elektrisch bedwelmen in het zeewater werd hetzelfde resultaat verkregen. De resultaten wijzen erop dat een blootstelling gedurende 10 seconden aan een veldsterkte van $552 V_{rms}/m$ 100 Hz bipolar square wave 24% duty cycle, waarbij 200-230 A_{rms} door het zeewater werd gevoerd een effectieve methode is. Het leek erop dat onder deze condities alleen de Noordzeekrab onmiddellijk werd bedwelmd.

2

Vraag

Is de beschikbare apparatuur voor het elektrisch bedwelmen van beide soorten aan te passen, zodat wordt voldaan aan de vastgestelde specificaties?

Antwoord

Het toepassen van het elektrisch bedwelmen na ontwateren is mogelijk toepasbaar in de praktijk, maar de werking van de beschikbare apparatuur is nog niet of onvoldoende wetenschappelijk onderbouwd. Wat het elektrisch bedwelmen van de Noordzeekrab en Europese kreeft in het zeewater betreft, is het belangrijk om te constateren dat deze hoge elektrische stroom voor restaurants niet haalbaar is.

Voor de beantwoording van deze kennisvragen willen we opmerken dat hiervoor onderzoek nodig is, dat vier jaar duurt. Het in dit rapport beschreven onderzoek had een duur van 10 maanden en is daarom niet meer dan een aanzet tot de beantwoording van deze vragen.



1 Inleiding

Krabben en kreeftachtigen zijn schaaldieren en behoren tot de Orde van de Decapoda. Decapoden hebben veel gemeenschappelijke kenmerken. Een belangrijk kenmerk is hun tien poten, waarvan het eerste paar, vaak grote, scharen kunnen zijn. Ze hebben een exoskelet, segmentatie en scharnierende aanhangsels. Die aanhangsels gebruiken ze voor zintuiglijke waarneming, voeding, voortbeweging en verdediging (http://tolweb.org/treehouses/?treehouse_id=4455). Verreweg de meeste decapoden leven in het water. De krabben- en kreeftensoorten die in Nederland levend worden verhandeld, zijn met name de Noordzeekrab (*Cancer pagurus*), Canadese kreeft (*Homarus americanus*) en de Oosterschelde kreeft, dat is de Europese kreeft (*Homarus gammarus*) die wordt gevangen in de provincie Zeeland. De verkrijgbaarheid van de Oosterschelde kreeft is beperkt tot de periode die begint op de derde donderdag in maart en eindigt op 15 juli (oosterscheldekreeft.nl/de-oosterscheldekreeft/het-seizoen/). De Noordzeekrab en de Canadese kreeft zijn het hele jaar beschikbaar (zie bv. www.hanos.nl). De Europese kreeft is meestal beschikbaar als Oosterschelde kreeft. In Nederland is er namelijk nauwelijks sprake van een gerichte visserij buiten de Oosterschelde op de Europese kreeft (Hoekstra, 2021).

De verwerking van krabben en kreeften in Nederland vindt plaats in diverse restaurants, waar de dieren veelal levend worden gekookt. Ook bij consumenten kunnen deze dieren levend worden gekookt. Grootschalige verwerking op bedrijfsniveau van levende kreeften en of krabben vindt in Nederland nauwelijks plaats (Van de Vis *et al.*, 2015). Het bedwelmen van krabben en kreeften voordat ze worden gedood is geen vereiste in Verordening (EG) nr. 1099/2009 van de Raad van 24 september 2009 inzake de bescherming van dieren bij het doden (Council Regulation (EC) No 1099/2009); deze dieren vallen buiten de reikwijdte van deze verordening. Ook is er geen nationale wetgeving in Nederland, die het bedwelmen van krabben en kreeften verplicht stelt.

De relevante vraag is of deze dieren ongerief kunnen ervaren als ze niet eerst worden bedwelmd en pas daarna in een bewusteloze staat worden gedood. Met andere woorden; bezitten krabben en kreeften het vermogen tot cognitie en kunnen ze gevoelens hebben? Bij cognitie is een dier instaat zijn omgeving waar te nemen en is zich bewust van de veranderingen die zich daarin voordoen (Braithwaite *et al.*, 2013). Cognitie heeft te maken met waarnemen, leren en geheugen (Shettleworth, 1998). De welzijnsstatus bij dieren wordt gevormd door de balans tussen negatieve en positieve gevoelens (zie bv. Mellor, 2016).

Het aantal studies naar cognitie en gevoelens bij krabben en kreeften is zeer beperkt. Die beperking geldt ook voor het aantal soorten dat is onderzocht. Het is bekend dat de resultaten die zijn verkregen met een bepaalde soort niet zonder meer te projecteren zijn op een andere soort die niet is onderzocht (zie bv. Van de Vis *et al.*, 2019).

De studie van Davies *et al.* (2019) laat zien dat de strandkrab (*Carcinus maenas*) het vermogen heeft tot spatial learning en dat is een aanwijzing dat cognitie aanwezig is. Spatial learning verwijst naar het proces waarbij een organisme een mentale voorstelling van de omgeving verwerft (Brodeck, 2014). Ook Vargas-Vargas *et al.* (2023) lieten zien dat de Ecuadoraanse heremietkreeft (*Coenobita compressus*) in staat is tot spatial learning.

Elwood and Appel (2009) en Appel and Elwood (2009) gebruikten het motivational trade-off paradigma om onderzoek te doen naar de mogelijkheid of krabben en kreeften pijn kunnen ervaren. In hun onderzoek bestudeerden zij of de heremietkreeft (*Pagurus bernhardus*) twee concurrerende motivaties kan afwegen. Een motivatie is een drijfveer tot gedrag. In dit experiment ging het om de afweging die het dier moest maken tussen het gebruikmaken van een schelp als bescherming voor het zachte achterlijf of de schelp verlaten, omdat het dier in de schelp werd blootgesteld aan een elektrische schok. Hierbij bleek dat er een hogere elektrische schok nodig was om deze dieren de schelp van hun voorkeur te laten verlaten, dan de schelp die niet de voorkeur had. Deze uitkomst en ook die van andere experimenten wijzen erop dat de elektrische schok pijnlijk kan zijn voor een heremietkreeft (Elwood, 2019; Gibbons *et al.*, 2022). Deze beschrijving van de literatuur laat zien dat het mogelijk is dat krabben en kreeften ongerief ervaren wanneer ze levend worden gekookt.

Ongerief tijdens het doden van krabben en kreeften kan worden vermeden door deze dieren te bedwelmen, voordat ze worden gedood. Bedwelmen houdt in dat de bewusteloosheid wordt opgewekt zonder vermijdbaar ongerief en dat die aanhoudt totdat het dier dood is. Dit uitgangspunt is ontleend aan de EU regelgeving

rond het slachten van dieren, zoals beschreven in de EU Verordening Council Regulation 1099/2009 (2009). Bij gebruik van een elektrische stroom is het nodig dat de bewusteloosheid binnen 1 seconde wordt opgewekt; we noemen dit onmiddellijk bedwelmen.

Voor bv. vissen is aangetoond dat door gebruik te maken van elektriciteit de bewusteloosheid onmiddellijk kan worden opgewekt, mits de juiste condities worden gebruikt. De condities kunnen soortafhankelijk zijn. Vervolgens dient de bedwelmd vis met een effectieve methode te worden gedood om te voorkomen dat het dier weer bij bewustzijn komt; vissen kunnen namelijk niet worden gedood met elektriciteit en daarom dient na het bedwelmen een dodingsmethode te worden toegepast (zie bv. Van de Vis and Lambooy, 2016); electrocutie is niet mogelijk bij vissen.

Onderzoek naar het elektrisch bedwelmen van krabben en kreeften is een recente ontwikkeling (zie bv. Roth and Øines, 2010). Essentieel is dat specificaties voor het bedwelmen en doden zijn gebaseerd op elektrofysiologische metingen aan de hersenen (bij gewervelden is dit het eeg) of aan het deel van het zenuwstelsel dat fungeert als hersenen. Het vaststellen van die specificaties met behulp van de registraties van de elektrofysiologische activiteit in met name het cerebrale ganglion in krabben en kreeften is de eerste stap. De Europese Autoriteit voor voedselveiligheid (EFSA) beveelt het meten van de elektrofysiologische activiteit in de hersenen aan als eerste stap aan gevolgd door een tweede stap. In de tweede stap vinden praktijktesten plaats om het bedwelmen en doden te verifiëren (EFSA, 2018).

Ondanks het ontbreken van de specificaties voor het bedwelmen van decapoden, is er apparatuur, de Crusastun, te koop om in restaurants krabben en kreeften met een elektrische stroom te bedwelmen, maar elektrofysiologische gegevens ontbreken om te concluderen dat het gebruik van het apparaat de Noordzeekrab en Europese kreeft onmiddellijk bedwelmt en de dieren daarna in een bewusteloze staat kunnen worden gedood door ze te koken. Andere methoden die worden gebruikt zijn het doorsnijden van de kreeft over de lengte van het dier of door een priem door het cerebrale en thoracale ganglion (een zenuwknop in de buik) in krabben te steken (Birch *et al.*, 2021; Roth and Øines, 2010).

Het doorsnijden van een kreeft over de lengte van het dier is geen bruikbare methode voor de praktijk, omdat het cerebrale ganglion klein is. Er is namelijk een reële kans dit ganglion blijft functioneren.

Een nadeel van het gebruik van een priem bij een krab is dat met name het cerebrale ganglion mogelijk niet meteen wordt uitgeschakeld, zoals beschreven door (Roth and Øines, 2010). Voor zowel de Noordzeekrab als de Europese kreeft is aan de buitenkant van de dieren niet te zien waar het kleine cerebrale ganglion zich bevindt.

Het bovenstaande laat zien dat elektrofysiologische metingen aan het cerebrale ganglion, dat zich bij de ogen bevindt in krabben en kreeften, nodig zijn. Het is nodig om elektrofysiologische metingen te doen aan dit ganglion, omdat in dit deel van het zenuwstelsel bij decapoden een gecoördineerde verwerking van prikkels plaatsvindt (Hernández *et al.*, 1996; Sandeman *et al.*, 1992) en er is mogelijk sprake van een staat in het cerebrale ganglion die lijkt op slaap wanneer de zoetwaterkreeft *Procambarus clarkii* rust (Mendoza-Angeles *et al.*, 2007). De beperkte beschikbaarheid van elektrofysiologische data (zie bv. Albalat *et al.*, 2022; Fregin and Bickmeyer, 2016; Kells *et al.*, 2023; Neil *et al.*, 2022, 2024) laat zien dat het bedwelmen van krabben en kreeften nog in ontwikkeling is.

2 Kennisvragen

Centraal in dit onderzoek staan twee kennisvragen: 1) Wat zijn de specificaties om de Noordzeekrab en Europese kreeft onmiddellijk te bedwelmen met elektriciteit en welke dodingsmethode is geschikt zonder dat de dieren weer bij bewustzijn komen?; en 2) Is de beschikbare apparatuur voor het elektrisch bedwelmen van deze decapoden aan te passen, zodat wordt voldaan aan de vastgestelde specificaties?

Bij de beantwoording van deze kennisvragen willen we opmerken dat hiervoor onderzoek nodig is dat vier jaar duurt. Het in dit rapport beschreven onderzoek had een duur van 10 maanden en is daarom niet meer dan een aanzet tot de beantwoording van deze vragen.

3 Dieren en methoden

3.1 Dieren

We voerden het onderzoek uit met de Noordzeekrab ($n=10$) ($0,63 \pm 0,21$ kg) (*Cancer pagurus*) en de Europese kreeft ($n=19$) ($0,68 \pm 0,20$ kg) (*Homarus gammarus*) bij de onderzoeksfaciliteit Austevoll Research Station in Noorwegen. Beide soorten werden gescheiden van elkaar gehouden in een doorstroomsysteem, dat wil zeggen dat het zeewater door de tanks werd gepompt. Het zuurstofverzadigingsniveau in het zeewater van ca. 10 °C in de tanks was tenminste 80% en de geleidbaarheid 33 mS/cm. Een impressie van de tanks staat in figuur 1.



Figuur 1 Tanks waarin de Noordzeekrab en Europese kreeft gescheiden van elkaar werden gehouden.

3.2 Methoden

3.2.1 Meting van spanning en stroom

Voor het meten van de spanning, stroom en golfvorm van spanning en stroom, die werden afgegeven door de stroombronnen van beide bedwelmingsapparaten, gebruikten voor het bedwelmen na het ontwateren de PIXE-1090 oscilloscoop (National Instruments, Austin, USA) en voor het bedwelmen in het zeewater de Tektronix oscilloscoop (Tektronix, Berkshire, UK).

Bij de notatie van spanning (V) en stroom (A) gaven we de effectieve waarde voor beide grootheden weer, die werd aangeduid met het subscript rms (root mean square). De rms waarde gebruikten we voor de spanning en stroom, omdat zowel de spanning als stroom in dit onderzoek periodiek wisselende signalen waren, waardoor er gedurende een zeer korte tijd geen of nauwelijks spanning en elektrische stroom aanwezig waren.

3.2.2 Gedragsobservaties

Bij de uitvoering van de gedragsobservaties namen we reacties op toegediende prikkels waar van de i) ogen, antennes en antennula (kleine antennes), ii) aanhangsels van de bek, en iii) het eerste paar poten bij de kreeft. Zo wilden we nagaan welke sensorische en bewegingsreacties verband kunnen houden met het i) cerebrale ganglion, ii) subesofagale ganglion, en iii) het eerste thoracale ganglion. Meer informatie over het protocol is te vinden in het artikel van Roth and Øines (2010). Roth and Øines (2010) stelden het protocol zodanig op dat niet alleen het voorkomen van bepaalde reacties, maar ook de mate waarin de dieren reageren, worden gekwantificeerd op 3 niveaus: 0) geen respons; 1) een zwakke respons; en 2) een

normale respons. Al de waargenomen reacties werden vervolgens opgeteld, waarbij scores voor de Noordzeekrab op een schaal van 0-8 liggen en die voor de Europese kreeft op een schaal van 0-10.

3.2.3 Meten van de elektrofysiologische activiteit in de Noordzeekrab en Europese kreeft

Om na te gaan of een bedwelmsmethode voldoet aan het eerder genoemde uitgangspunt (zie hoofdstuk 1) registreerden we de elektrofysiologische activiteiten in drie delen van het zenuwstelsel van beide diersoorten.

Bij decapoden bevinden zich in het laddervormig zenuwstelsel een reeks ganglia, die door middel van zenuwstrengen met elkaar verbonden zijn (Sullivan and Herberholz, 2013). De metingen werden verricht aan: 1) het cerebrale ganglion voor beide soorten, 2) bij de kreeft tussen het subesofagale en het eerste thoracale ganglion dat het voorste paar poten aanstuurt en bij de krabben het thoracale ganglion, en 3) bij beide soorten het hart (dat door een daarbuiten gelegen ganglion wordt aangestuurd) (Sullivan and Herberholz, 2013). Deze elektrofysiologische activiteit werd voor en na het bedwelmen en tijdens het koken van de bedwelmden dieren gemeten.

Voordat de dieren aan de elektrische stroom werden blootgesteld, registreerden we de elektrofysiologische activiteit. Direct nadat de stroom was uitgeschakeld, kon de elektrofysiologische activiteit weer worden geregistreerd. Tijdens het bedwelmen is het namelijk niet mogelijk de elektrofysiologische activiteit te meten.

Door de registratie van de elektrofysiologische activiteit in de bovengenoemde ganglia en het hart wilden we nagaan welke veranderingen in de signalen optreden als gevolg van de blootstelling aan de elektrische stroom en tijdens het koken (na de blootstelling aan de elektrische stroom). Een verandering in het signaal dat wordt gemeten in het cerebrale ganglion kan erop wijzen dat de krab of kreeft bewusteloos is en mogelijk niet meer bij bewustzijn komt. Wanneer het elektrische signaal van het hart verandert, kan dit betekenen dat de zuurstofvoorziening van het cerebrale ganglion is onderbroken waardoor een bewusteloos dier niet meer bij bewustzijn kan komen. We registreerden ook de activiteit in het thoracale ganglion in de Noordzeekrab. De reden voor dit laatste is dat bij de Noordzeekrab de abdominale (ganglia in de buik) en thoracale ganglia (ganglia in de borstkas) zijn gefuseerd en daardoor de hoogste concentratie aan zenuwcellen in het dier vormt. Door deze fusie verzorgt dit thoracale ganglion in de Noordzeekrab functies als de respiratie, voedselinname, spijsvertering en voortbeweging (Sullivan and Herberholz, 2013). Daarom is besloten om ook hieraan metingen te verrichten bij de Noordzeekrab. Bij de Europese kreeft plaatsten we de elektroden voor de elektrofysiologische metingen ook tussen het subesofagale ganglion (het ganglion onder de slokdarm) en het eerste thoracale ganglion (het eerste ganglion in de borstkas). Het subesofagale ganglion speelt een rol bij de respiratie en voedselinname en het eerste thoracale ganglion stuurt onder meer de scharen aan bij de Europese kreeft (Sullivan and Herberholz, 2013).

3.2.4 Elektrisch bedwelmen gevolgd door koken

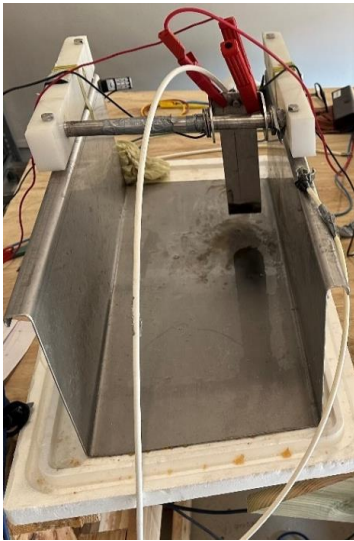
Voor het elektrisch bedwelmen gebruikten we twee methoden, te weten na het ontwateren (figuur 2) en het in het zeewater (figuur 3). Voor beide methoden werden individuele dieren gedurende 1 seconde en daarna 9 seconden aan de elektrische stroom blootgesteld (dus voor ieder dier 10 seconden in totaal). We pasten een bedwelming van 9 seconden toe om te vermijden dat individuele dieren bijkwamen, voordat ze in het kokend water werden geplaatst. De duur van de bewusteloosheid kan nl. worden verlengd door de dieren langer dan 1 seconde bloot te stellen aan de stroom. Het koken duurde ca. 10 min.

Het elektrisch bedwelmen en elektrisch bedwelmen gevolgd door koken werden als volgt geanalyseerd:

- 1 seconde bedwelmen: gedragsobservaties en registratie van de elektrofysiologische activiteit. De duur was kort om te voorkomen dat de dieren tijdens deze metingen bij bewustzijn kwamen.
- 9 seconde bedwelmen: na bovenstaande metingen werden dezelfde dieren 9 seconden blootgesteld aan de elektrische stroom. Middels gedragsobservaties en registratie van de elektrofysiologische activiteit toetsten we dit.
- koken: registratie van de elektrofysiologische activiteit. Tijdens het koken is het niet mogelijk om prikkels toe dienen om de reacties in het gedrag te kunnen waarnemen.

Een overzicht van de experimentele opzet staat in tabel 1. Het bleek niet mogelijk te zijn om voor alle groepen dezelfde aantallen dieren te gebruiken, omdat de Noorse onderzoekers ook hun eigen onderzoek hadden lopen. Een groter aantal dieren gebruiken dan in tabel 1 is vermeld, was niet mogelijk vanwege de Noorse wet op de Dierproeven (zie ook paragraaf 2.2.6). We wilden nagaan of bij de door Nofima eerder geschatte spanning bij de individuele Noordzeekrabben en Europese kreeften er voldoende stroom wordt doorgevoerd om de bewusteloosheid onmiddellijk op te wekken. Hiervoor stelden we de individuele dieren, die waren natgemaakt met zeewater, gedurende 1 seconde bloot aan 220 V_{rms} 50 Hz ac bij bedwelmen na het ontwateren en aan een veldsterkte van 552 V_{rms}/m 100 Hz bipolar square wave 24% duty cycle (2300 V_{piek}/m) over de bedwelmingselektroden in het zeewater.

Bij het bedwelmen na het ontwateren plaatsten we de dieren tussen elektroden buiten het water (figuur 2) en bij bedwelmen in water werden de individuele dieren tussen twee paar bedwelmingselektroden in het zeewater van het bedwelmingsapparaat geplaatst (zie figuur 3).



Figuur 2 Elektrisch bedwelmen na ontwateren.

De bak is de negatieve elektrode en de lepel die er boven hangt is de positieve elektrode. Een individueel schaaldier werd tussen de positieve en negatieve elektrode geplaatst.



Figuur 3 Elektrisch bedwelmen in zeewater.

Bovenaanzicht van de bedwelmingsstank met zeewater. Aan iedere lange zijde bevindt zich een paar staven die bedwelmingselektroden zijn. Een individueel schaaldier werd in het midden van de tank geplaatst. De afstand tussen de paren bedwelmingselektroden was 30 cm, zodat er voldoende ruimte was voor ieder individueel dier.

De Crustastun ([Crustastun - Humane Lobster Stunner | Commercial Kitchens \(mitchellcooper.co.uk\)](http://www.mitchellcooper.co.uk)) was in dit onderzoek niet getest, omdat het apparaat een blootstelling aan de elektrische stroom gedurende 1 seconde niet toelaat.

Tabel 1 Experimentele opzet bedwelmen en koken van Noordzeekrab en Europese kreeft.

Diersoort	Bedwelmingmethode** en aantal dieren	Aantal dieren gekookt	Aantal dieren voor gedragsobservaties	Aantal dieren voor elektrofysiologische metingen
Noordzeekrab*	na ontwateren: 5	5	5	5
	in zeewater: 5	0	5	5
Europese kreeft*	na ontwateren: 13	13	13	9
	in zeewater: 6	0	6	6

*Het totaal aantal dieren dat per diersoort was gebruikt, staat in de kolom *Bedwelmingmethode en aantal dieren*. In de kolommen rechts daarvan is vermeld of dit aantal na elektrisch bedwelmen al of niet is gekookt. In twee laatste kolommen is vermeld welke metingen zijn uitgevoerd.

**Elektrisch bedwelmen gedurende 1 seconde en daarna 9 seconden. In totaal werd ieder dier 10 seconden bedwelmd. Na 9 seconden bedwelmen werd een deel van dieren gekookt.

3.2.5 Statistiek

Het in dit rapport beschreven onderzoek naar elektrisch bedwelmen gevolgd door het koken van de Noordzeekrab en de Europese kreeft was oriënterend van aard. De reden is dat interpretatie van met name de elektrofysiologische activiteit in het cerebrale ganglion nog in de kinderschoenen staat. Hierdoor is het ook niet mogelijk om de reacties in het gedrag van beide soorten te correleren aan de aan- of afwezigheid van bewustzijn. In dit stadium van het onderzoek is een statistische verwerking van de elektrofysiologische data en die van de gedragsobservaties daarom niet zinvol.

Voor het elektrisch het bedwelmen na het ontwateren zijn de gemiddelde waarde en standaarddeviatie voor de elektrische stroom wel berekend. Voor de gedragsobservaties zijn voor de waarnemingen de medianen berekend.

3.2.6 Noorse wet op de Dierproeven

Voorafgaand aan de start van de experimenten met de levende Noordzeekrabben en Europese kreeften in Noorwegen zorgden we ervoor dat de hiervoor vereiste vergunning vooraf was verkregen. In Noorwegen verleende de Noorse Autoriteit voor de voedselveiligheid de vergunning (FOTS ID: 30346).

4 Resultaten en discussie

4.1 Aanzet tot specificaties voor elektrisch bedwelmen na ontwateren en in zeewater voor Noordzeekrab en Europese kreeft

Zoals eerder in dit rapport is beschreven, is het nog niet mogelijk om met voldoende zekerheid vast te stellen bij welke hoogte van de spanning en stroomsterkte de Noordzeekrab en Europese kreeft onmiddellijk zijn bedwelmd. De reden is dat de interpretatie van de elektrofysiologische activiteit nog in de kinderschoenen staat (zie hoofdstuk 1). We hebben daarom een schatting gemaakt van de hoogte van de spanning en de sterkte van de stroom om beide soorten onmiddellijk te bedwelmen. Ook is er een schatting gemaakt van de duur de blootstelling aan de stroom om er voor te zorgen dat beide soorten in een bewusteloze staat worden gedood tijdens het koken. We zijn hiervoor uitgegaan van een blootstelling aan de elektrische stroom van in totaal 10 seconden. Een overzicht van de gebruikte condities voor het elektrisch bedwelmen (na het ontwateren en in het zeewater) is weergegeven in tabel 2.

Tabel 2 Bedwelmen en koken van Noordzeekrab en Europese kreeft: specificaties.

Diersoort	Eén seconde bedwelmen* en aantal dieren	Aantal dieren in totaal 10 seconden bedwelmd en gekookt	Een seconde bedwelmen en hoogte stroom (A_{rms})**	Negen seconden bedwelmen en hoogte stroom (A_{rms})***
Noordzeekrab	na ontwateren: 5	5	$3.9 \pm 2.5 A_{rms}$	$4.8 \pm 2.4 A_{rms}$
	in zeewater: 5	0	200-230 A_{rms}	200-230 A_{rms}
Europese kreeft	na ontwateren: 13	13	$2.4 \pm 2.3 A_{rms}$	$4.7 \pm 2.0 A_{rms}$
	In zeewater: 6	0	200-230 A_{rms}	200-230 A_{rms}

*Elektrisch bedwelmen gedurende 1 seconde en daarna 9 seconden. Na 9 seconden werd een deel van dieren gekookt.

**Voor het elektrisch bedwelmen na ontwateren was de gebruikte spanning 220 V_{rms} 50 Hz ac.

***Voor het bedwelmen in het zeewater was de gebruikte veldsterkte 552 V_{rms}/m 100 Hz bipolar square wave 24% duty cycle.

Wat opvalt is dat de standaarddeviatie van de elektrische stroom in verhouding tot de gemiddelde waarde voor gedurende 1 seconde bedwelmen na het ontwateren bij de Europese kreeft hoger is dan de Noordzeekrab. Dit wijst erop dat de vorm van de positieve elektrode (zie figuur 2) mogelijk moet worden aangepast voor een beter contact met de Europese kreeft. Het is nodig te voorkomen dat door de hoge standaarddeviatie de kans bestaat dat de Europese niet onmiddellijk wordt bedwelmd. Door een storing in de stroomtang (de sensor) bleek het niet mogelijk te zijn om de sterkte van de elektrische stroom nauwkeuriger vast te stellen tijdens het bedwelmen in zeewater.

Voor wat het elektrisch bedwelmen in het zeewater betreft, is het belangrijk om te constateren dat deze hoge elektrische stroom voor restaurants niet haalbaar is.

4.2 Bedwelmen en doden van Noordzeekrab en Europese kreeft: gedragsobservaties

In tabel 3 staat een overzicht van de scores van de reacties in het gedrag van beide diersoorten na 1 seconde bedwelmen en in totaal 10 seconden bedwelmen met de elektrische stroom. Wat opvalt is de score van 2.6 voor Europese kreeft na 1 seconde bedwelmen in het zeewater. Dit kan erop wijzen dat de gebruikte veldsterkte te laag was om voldoende stroom door het dier te voeren. Mogelijk moet er voor de Europese kreeft een hogere veldsterkte worden gebruikt om de kreeft onmiddellijk te bedwelmen met de elektrische stroom, dan voor de Noordzeekrab. Ondanks het gegeven dat bij het elektrisch bedwelmen na het ontwateren het contact tussen de bedwelmingselektroden en de Europese kreeft mogelijk niet optimaal was

(zie paragraaf 3.10), lieten de gedragsobservaties zien dat de score 0 was. Gedragsobservaties na het koken zijn niet uitgevoerd, omdat beide diersoorten dan dood waren en dus geen reacties in gedrag konden vertonen.

Tabel 3 Bedwelmen van Noordzeekrab en Europese kreeft: scores van gedragsobservaties.

Diersoort	Eén seconde bedwelmen: score	Negen seconden bedwelmen: score		Eén seconde bedwelmen: score	Negen seconden bedwelmen: score
Noordzeekrab	na ontwateren: 0 (5)	na ontwateren: 0 (5)	Europese kreeft	na ontwateren: 0 (13)	na ontwateren: 0 (13)
	in zeewater: 0 (5)	in zeewater: 0 (5)		in zeewater: 2.6 (6)	in zeewater: 0 (6)
	controle: 8 (5)	controle: 8 (5)		controle: 10 (19)	controle: 10 (19)

De controlegroep was de dieren die waren geobserveerd voorafgaand aan het bedwelmen met de elektrische stroom. NB. voor 1 seconde bedwelmen en na in totaal 10 seconde bedwelmen was de controlegroep hetzelfde, nl. de dieren voordat de experimenten waren gestart. Voor de Noordzeekrab bedroeg de maximale score daarom 8 en voor de Europese kreeft was dit 10. De scores voor de bedwelnde dieren in deze tabel zijn de berekende medianen. De dieren zijn na 10 min koken niet geobserveerd.

De aantallen dieren staan tussen haakjes vermeld.

4.3 Bedwelmen en doden van Noordzeekrab en Europese kreeft: elektrofysiologische activiteit

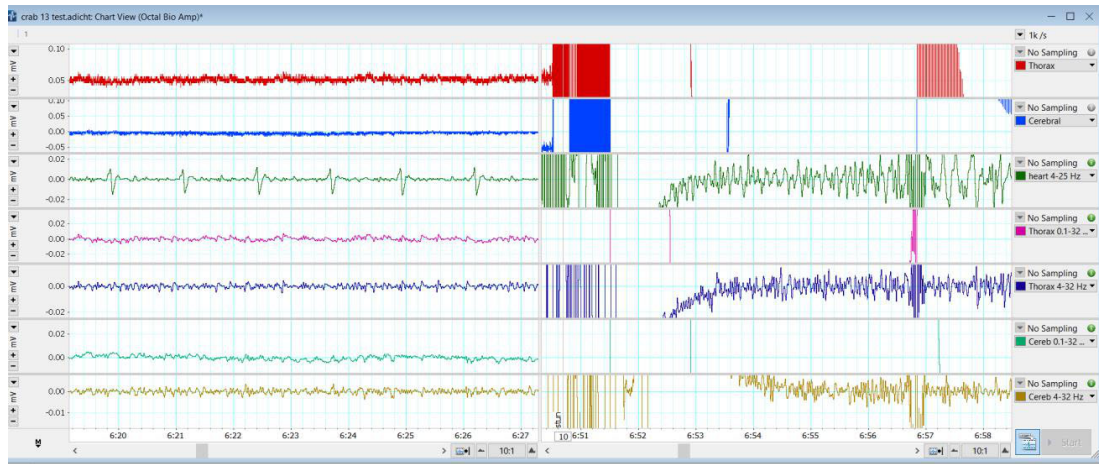
4.3.1 Noordzeekrab

Een voorbeeld van de elektrofysiologische activiteiten in een Noordzeekrab na het elektrisch bedwelmen na het ontwateren en het bedwelmen gevolgd door koken is weergegeven in figuur 4. In deze figuur vormen de linkerdelen de elektrofysiologische activiteiten in een dier dat bij bewustzijn was en de rechterdelen de elektrofysiologische activiteiten na het uitvoeren van de bedwelmingmethode of de bedwelmingmethode gevolgd door koken. De ruwe data die zijn verkregen door elektrofysiologische activiteiten in de Noordzeekrab na het bedwelmen in zeewater te meten, zijn niet verwerkt, omdat deze methode niet haalbaar is voor restaurants.

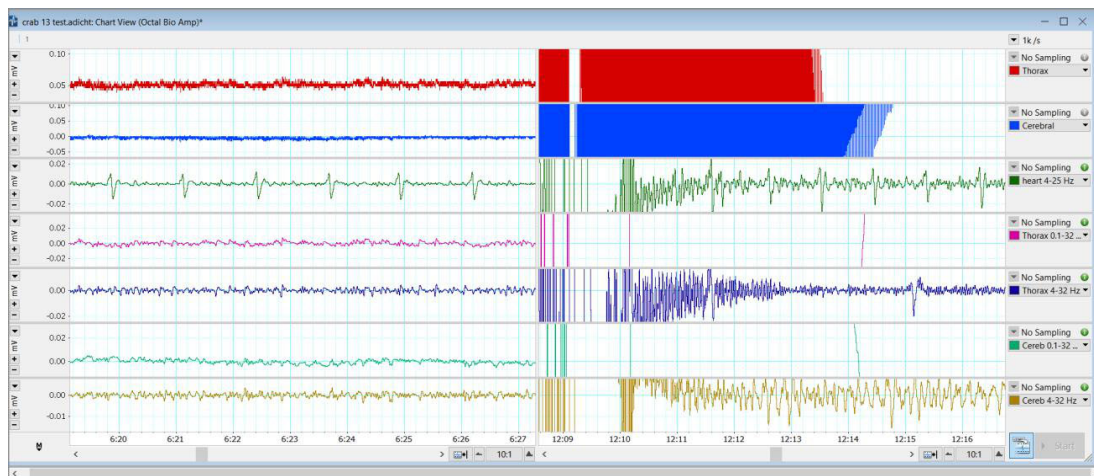
Tijdens de uitvoering van de elektrofysiologische metingen merkten we dat het plaatsen van de elektroden om de activiteit in het cerebrale ganglion van de Noordzeekrab niet optimaal was. Dit was ook het geval voor de Europese kreeft. Hieraan zal in een vervolgonderzoek aandacht aan moeten worden geschonken. Dit kan nl. de registratie van een signaal dat goed te interpreteren is, belemmeren.

In deze figuur stelt het signaal met de rode kleur het ruwe signaal van de activiteit in het thoracale ganglion voor, het signaal met de blauwe kleur de elektrofysiologische activiteit in het cerebrale ganglion en het groene signaal die in het hart na het gebruik van een bandpassfilter van 4-25 Hz. Het signaal met de paarse kleur, daaronder het signaal met blauwe kleur, daar weer onder het signaal met de groene kleur en ten slotte het signaal met de gele kleur vormen respectievelijk het signaal van het thoracale ganglion na gebruik van een bandpassfilter van 0,1-32 Hz, het thoracale ganglion na gebruik van een bandpassfilter van 4-32 Hz, het signaal van het cerebrale ganglion na gebruik van een bandpassfilter bij 0,1-32 Hz en het signaal van het cerebrale ganglion na gebruik van een bandpassfilter bij 4-32 Hz. We pasten deze filteringen toe, omdat die interpretatie van de data kunnen vergemakkelijken.

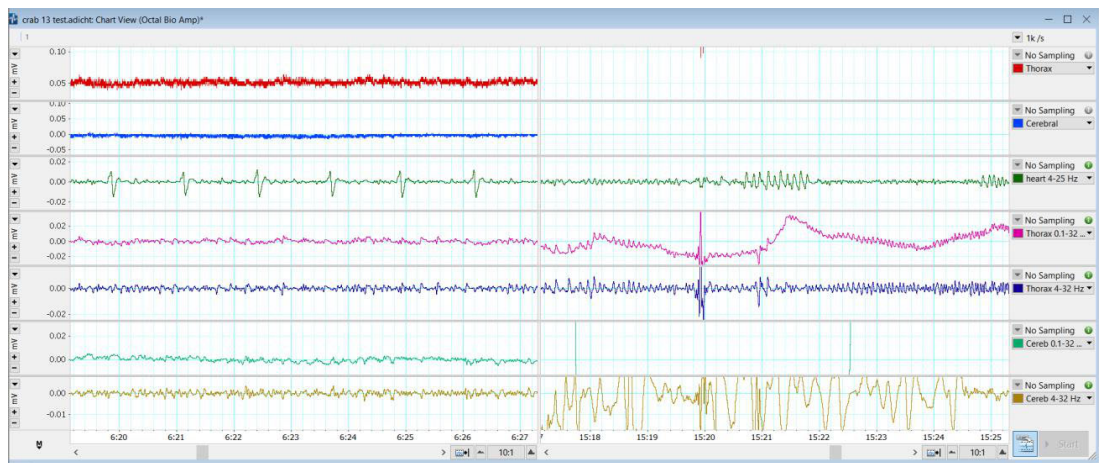
Figuur 4A laat zien dat de elektrofysiologische activiteiten van het cerebrale ganglion en het hart in de Noordzeekrab sterk veranderd waren na een blootstelling van 1 seconde aan de elektrische stroom na het ontwateren. Dit was ook geval wanneer de Noordzeekrab gedurende in totaal 10 seconden aan de elektrische stroom was blootgesteld na het ontwateren (figuur 4B). Mogelijk laten die veranderingen zien dat de bewusteloosheid in de Noordzeekrab was opgewekt. De veranderingen die we zien in figuur 4C wijzen erop dat het dier in bewusteloze staat werd gedood.



A: Noordzeekrab: 1 seconde elektrisch bedwelmen na ontwateren.



B: Noordzeekrab: in totaal 10 seconden elektrisch bedwelmen na ontwateren.



C: Noordzeekrab: in totaal 10 seconden elektrisch bedwelmen na ontwateren en na 20 seconden in kokend water.

Figuur 4 *Elektrofysiologische activiteiten in Noordzeekrab na elektrisch bedwelmen na ontwateren gevolgd door koken.*

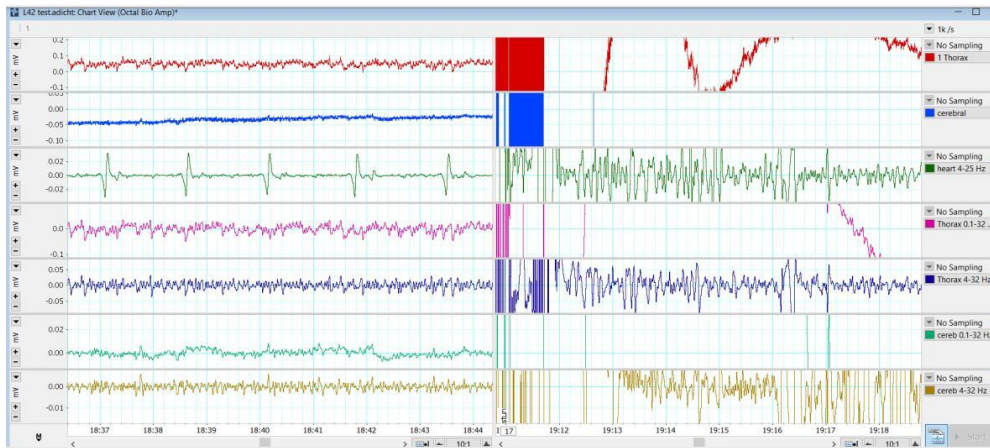
De elektrofyysiologische activiteit van het hart komt overeen met die van gewervelde dieren en is daarom goed te interpreteren. Na het elektrisch bedwelmen namen we het fibrilleren van het hart waar.

4.3.2 Europese kreeft

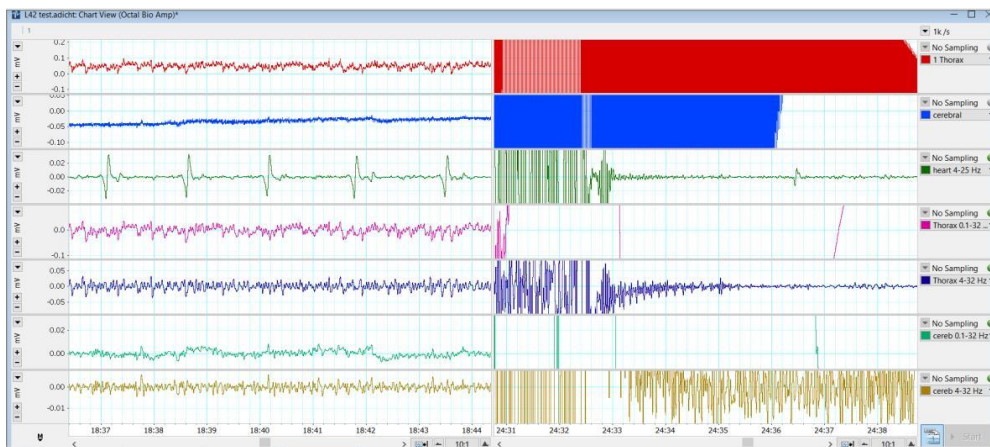
Figuur 5 is een voorbeeld van de registratie van de elektrofysiologische activiteiten in een Europese kreeft na het elektrisch bedwelmen na het ontwateren en het bedwelmen gevolgd door koken. De linkerdelen zijn de elektrofysiologische activiteiten in een dier dat bij bewustzijn is en de rechterdelen zijn de elektrofysiologische activiteiten na het uitvoeren van de bedwelmingsmethode of de bedwelmingsmethode gevolgd door het koken. De ruwe data van de elektrofysiologische activiteiten in de Europese kreeft na het bedwelmen in zeewater zijn niet verwerkt, omdat deze methode niet haalbaar is voor restaurants.

De veranderingen in het elektrofysiologische signaal van het cerebrale ganglion na 1 seconde bedwelmen en 10 seconden bedwelmen komen overeen met die van de Noordzeekrab en dat wijst erop dat de bewusteloosheid mogelijk is opgewekt. Wat opvalt in figuur 5C is dat de hartactiviteit korte tijd aanwezig leek te zijn na het plaatsen in het kokend water. De veranderingen in de elektrofysiologische activiteit van het cerebrale ganglion in figuur 5C lijken overeen te komen met die van de Noordzeekrab in figuur 4C. Het gebruik van de bandpassfilters is hetzelfde voor de Europese kreeft als beschreven in paragraaf 4.3.1 voor de Noordzeekrab. Wat in figuur 5 is aangeduid als thorax is voor de kreeft de elektrofysiologische activiteit die was gemeten tussen het subesofagale ganglion (het ganglion onder de slokdarm) en het eerste thoracale ganglion (het eerste ganglion in de borstkas).

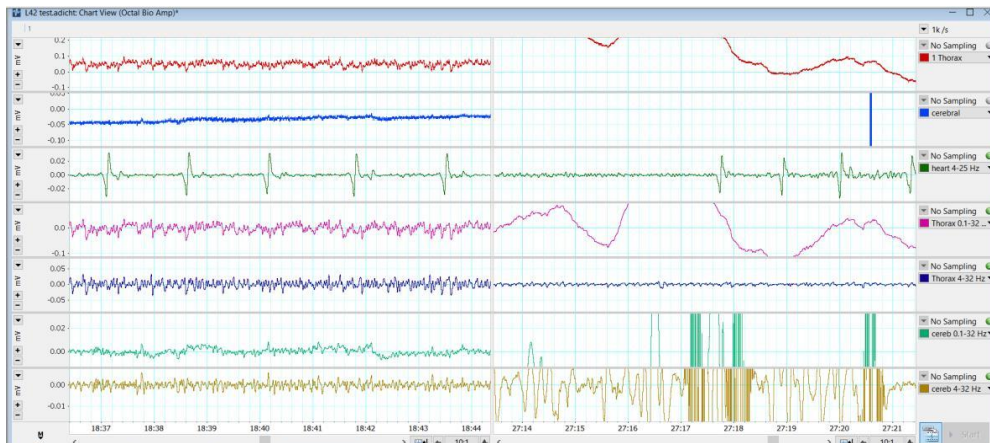
Ook voor de Europese kreeft komt de elektrofysiologische activiteit van het hart overeen met die van gewervelde dieren en is daarom goed te interpreteren. Na elektrisch bedwelmen namen we het fibrilleren van het hart waar.



A: Europese kreeft: 1 seconde elektrisch bedwelmen na ontwateren.



B: Europese kreeft: in totaal 10 seconden elektrisch bedwelmen na ontwateren.



C: Europese kreeft: in totaal 10 seconden elektrisch bedwelmen na ontwateren en na 10 seconden in kokend water.

Figuur 5 *Elektrofysiologische activiteiten in Europese kreeft na elektrisch bedwelmen na ontwateren gevolgd door koken.*

Thorax betekent hier dat de activiteit tussen het subesofagale en het eerst thoracale ganglion was gemeten (zie paragraaf 3.2.3).

5 Conclusies en aanbevelingen

Het onderzoek geeft aanwijzingen dat het mogelijk is om de Noordzeekrab en Europese kreeft onmiddellijk met elektriciteit te bedwelmen. Het lijkt mogelijk om de dieren vervolgens in bewusteloze staat te doden door ze te koken zonder dat de dieren weer bij bewustzijn komen. Vervolgonderzoek is nodig om met voldoende zekerheid de specificaties voor het elektrisch bedwelmen van beide soorten vast te kunnen stellen. Het in dit rapport beschreven onderzoek vormt hiervoor een aanzet.

De beantwoording van onderstaande kennisvragen van het ministerie van LNV geeft de verkregen resultaten van het onderzoek weer.

1

Vraag

Wat zijn de specificaties om beide soorten onmiddellijk te bedwelmen met elektriciteit en welke dodingsmethode is geschikt zonder dat de dieren weer bij bewustzijn komen?

Antwoord

Het lijkt mogelijk om met elektrisch bedwelmen na ontwateren de bewusteloosheid bij de Noordzeekrab en de Europese kreeft onmiddellijk op te wekken. Wanneer de dieren gedurende 10 seconden werden blootgesteld aan $220 V_{rms}$ 50 Hz ac werd er door de deze dieren respectievelijk een elektrische stroom van $4.8 \pm 2.4 A_{rms}$ en $4.7 \pm 2.0 A_{rms}$ gevoerd. De metingen wezen erop dat de bewusteloze Noordzeekrab en Europese kreeft niet meer bijkwamen tijdens het koken. Ook voor elektrisch bedwelmen in het zeewater werd hetzelfde resultaat verkregen. De resultaten wijzen erop dat een blootstelling gedurende 10 seconden aan een veldsterkte van $552 V_{rms}/m$ 100 Hz bipolar square wave 24% duty cycle, waarbij 200-230 A_{rms} door het zeewater werd gevoerd een effectieve methode is. Het leek erop dat onder deze condities alleen de Noordzeekrab onmiddellijk werd bedwelmd.

Wat het elektrisch bedwelmen van de Noordzeekrab en Europese kreeft in het zeewater betreft, is het belangrijk om te constateren dat deze hoge elektrische stroom voor restaurants niet haalbaar is.

2

Vraag

Is de beschikbare apparatuur voor het elektrisch bedwelmen van beide soorten aan te passen, zodat wordt voldaan aan de vastgestelde specificaties?

Antwoord

Het toepassen van het elektrisch bedwelmen na ontwateren is mogelijk toepasbaar in de praktijk, maar de apparatuur die te koop is, is nog niet of onvoldoende wetenschappelijk onderbouwd. Wat het elektrisch bedwelmen in het zeewater betreft is het belangrijk om te melden dat deze hoge elektrische stroom voor restaurants niet haalbaar is.

Voor de beantwoording van beide kennisvragen willen we opmerken dat hiervoor onderzoek nodig is dat vier jaar duurt. Het in dit rapport beschreven onderzoek had een duur van 10 maanden en is daarom niet meer dan een aanzet tot de beantwoording van deze vragen.

Om de kennisvragen van het ministerie van LNV duidelijker te kunnen beantwoorden, stellen we een vervolgonderzoek voor dat een looptijd heeft van drie jaar:

- Een verbetering van het meten van de elektrofysiologische activiteit in met name het cerebrale ganglion.
- Om de gemeten elektrofysiologische activiteit beter te kunnen interpreteren is het nodig om beide diersoorten op een gecontroleerde manier te anestheseren, zodat veranderingen in gedrag en de elektrofysiologische activiteit in met name het cerebrale ganglion met elkaar te vergelijken zijn.
- Voor de interpretatie van de elektrofysiologische activiteit in het cerebrale ganglion is het nodig om na te gaan of de bedwelmdde Noordzeekrab en Europese kreeft wel of niet instaat zijn om te reageren op een prikkel zoals het blootstellen van de poten aan eiwitten. Het is bekend dat deze diersoorten sterk

reageren op deze voedselprikkel. Als ze niet reageren dan levert dat een sterke aanwijzing op dat de staat van de bewusteloosheid in beide soorten zodanig is dat ze niet meer bijkomen als ze in het kokend water worden geplaatst.

- Het is nodig om de Crustastun aan te passen voor het onderzoek, zodat het apparaat niet langer dan 1 seconde stroom door krabben en kreeft voert. Zo kan met elektrofysiologische metingen en gedragsobservaties worden vastgesteld of dit apparaat de Noordzeekrab en Europese kreeft onmiddellijk kan bedwelmen. Ook is het nodig vast te stellen dat de dieren niet bij bewustzijn komen op het moment dat ze in kokend water worden geplaatst. Dergelijk onderzoek is nodig, omdat de Crustastun wordt verkocht voor gebruik in restaurants.

6 Dankwoord

Onze dank uit naar het personeel van de bedrijven Optimar en Askvik Aqua voor het beschikbaar stellen van de bedwelmingsapparatuur en de technische ondersteuning. Ook willen we het personeel van de onderzoeksfaciliteit in Austevoll Research in Noorwegen bedanken voor de technische ondersteuning.

7 Literatuur

- Albalat, A., Gornik, S. G., Muangnapoh, C., and Neil, D. M. 2022. Effectiveness and quality evaluation of electrical stunning versus chilling in Norway lobsters (*Nephrops norvegicus*). *Food Control* 138, 108930. doi: 10.1016/j.foodcont.2022.108930.
- Appel, M., and Elwood, R.W. 2009. Motivational trade-offs and potential pain experience in hermit crabs. *Appl. Anim. Behav. Sci.* 119: 120–124.
- Birch J., Burn, C., Schnell, A., Browning, H., and Crump, H. 2021. Review of the evidence of sentience in cephalopod molluscs and decapod crustaceans. Report by the London School of Economics and Political Science, 106 pp. <https://www.lse.ac.uk/business/consulting/reports/review-of-the-evidence-of-sentiences-in-cephalopod-molluscs-and-decapod-crustaceans>.
- Braithwaite, V., Huntingford, F. and Van den Bos, R. 2013. Variation in emotion and cognition among fishes. *J. Agric. Environ. Ethics*, 26, 7-23.
- Brodbeck, D.R. 2014. Spatial Learning in Animals. In *Encyclopedia of the Sciences of Learning* (ed. N.M. Seel). Springer, Boston, MA. P 3166-3168. https://doi.org/10.1007/978-1-4419-1428-6_7005.
- Council Regulation (EC) No 1099/2009 2009. On the protection of animals at the time of killing. *Official Journal of the European Communities*, L 303: 1-30.
- Davies, R., Gagen, M.H., Bull, J.C. and Pope, E.C. 2019. Maze learning and memory in a decapod crustacean. *Biol. Lett.* 15: 20190407. <http://dx.doi.org/10.1098/rsbl.2019.0407>.
- EFSA 2018. Guidance on the assessment criteria for applications for new or modified stunning methods regarding animal protection at the time of killing. *The EFSA Journal* 16(7):5343, 35 pp.
- Elwood, R.W. 2019. Discrimination between nociceptive reflexes and more complex responses consistent with pain in crustaceans. *Phil. Trans. R. Soc. B* 374: 20190368. <http://dx.doi.org/10.1098/rstb.2019.036>.
- Elwood, R.W., and Appel, M. (2009): Pain experience in hermit crabs? *Anim. Behav.* 77: 1243–1246.
- Fregin, T., and Bickmeyer, U. 2016. Electrophysiological investigation of different methods of anesthesia in lobster and crayfish. *PLoS ONE* 11(9): e0162894. doi:10.1371/journal.pone.0162894.
- Gibbons, M., Versace, E., Crump, A., Baran, B., and Chittka, L. 2022. Motivational trade-offs and modulation of nociception in bumblebees. *PNAS*, 119: <https://doi.org/10.1073/pnas.2205821119>.
- Hernández, O.H., Serrato, J., and Ramón F. 1996. Chronic recording of electrical activity from the brain of unrestrained crayfish: the basal, unstimulated activity. *Comp Biochem Physiol.*, 114A, 219–226.
- Hoekstra, G. 2021. Marktkansen voor Noordzeekrab en Europese kreeft uit windparken op de Noordzee; Win-Wind project: 'making offshore wind farms winning for society'. Wageningen Economic Research Rapport 2021-100, 32 pp.
- Kells, N.J., Perrott, M., and Johnson, C.B. 2023. The efficacy of electrical stunning of New Zealand rock lobster (*Jasus edwardsii*) and freshwater crayfish (*Paranephrops zealandicus*) using the Crustastun™. *Animal Welfare*, 32, e57, 1–9 <https://doi.org/10.1017/awf.2023.76>.

-
- Mellor, D.J. 2016. Moving beyond the “five freedoms” by updating the “five provisions” and introducing aligned “animal welfare aims”. *Animals* 2016, 6, 59; doi:10.3390/ani6100059, 7 pp.
- Mendoza-Angeles, K., Cabrera, A., Hernández-Falcón, J., and Ramón, F. 2007. Slow waves during sleep in crayfish: a time-frequency analysis. *J. Neurosci. Methods* 162, 264-271.
- Neil, D.M., Albalat, A., and Thompson, J. 2022. The effects of electrical stunning on the nervous activity and physiological stress response of a commercially important decapod crustacean, the brown crab *Cancer pagurus* L.. *PLoS ONE* 17(7): e0270960. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0270960>.
- Neil, D.M., Putyora, E., and Albalat, A. 2024. Towards the humane slaughter of decapod crustaceans: identifying the most effective indicators of insensibility following electrical stunning. *Front. Anim. Sci.* 5:1378350. doi: 10.3389/fanim.2024.1378350.
- Roth, B., and Øines, S. 2010. Stunning and killing of edible crabs (*Cancer pagurus*). *Animal Welfare*, 19, 287-294.
- Shettleworth, S. J. 1998. *Cognition evolution and behaviour*. Oxford University Press, New York, USA, 720 pp.
- Sandeman, D., Sandeman, E., Derby C., and Schmidt, M. 1992. Morphology of the brain of crayfish, crabs, and spiny lobsters: a common nomenclature for homologous structures. *Biol Bull*, 183, 304-326.
- Sullivan, J.M., and Herberholz, J. 2013. Structure of the nervous system: general design and gross anatomy. In *Functional morphology and diversity* (eds L. Watling and M. Thiel). Oxford University Press, New York, USA. 451-484.
- Van de Vis, H., Bokma-Bakker, M., en Schram, E. 2019. Risico-evaluatie dierenwelzijn in ketens van vissen, schaal- en schelpdieren; Deskstudie en expertopinie. Wageningen Livestock Research, Rapport 1167, 126 pp.
- Van de Vis, H., Gerritzen, M., Flik, G. en Goudswaard, K. 2015. Welzijn en bedwelmen van krabben en kreeften: een literatuurstudie, IMARES Rapport C068/15, 21 pp.
- Van de Vis, H., and Lambooj, B. 2016. Fish stunning and killing. In: *Animal Welfare at Slaughter* (eds. A. Velarde and M. Raj). 5M Publishing, Sheffield, UK, p. 152-176.
- Vargas-Vargas, I.L., Pérez-Hernández, E., González, D., Rosetti, M.F., Contreras-Galindo, J., and Roldán-Roldán, G. 2023. Evidence of long-term allocentric spatial memory in the Terrestrial Hermit Crab *Coenobita compressus*. *PLoS ONE* 18(10):e0293358. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0293358>.

8 Verklarende woordenlijst

Abdominaal

De buik betreffende.

ac

De afkorting ac staat voor alternating current en dit geeft dit de regelmatig wisselende richting weer van de elektrische stroom.

Antennula

De eerste antenne bij decapoden. Het is een paar kleine antennes.

Bedwelmen

Bedwelmen houdt in dat de bewusteloosheid wordt geïnduceerd, zonder vermijdbaar ongerief, en die houdt aan totdat het dier dood is. De gevoelloosheid is ook nodig, omdat een dier dan niet in staat is te reageren op toegediende prikkels. Als het dier dat nl. wel kan dan komt het weer bij.

Bipolar square wave

Wanneer de stroom bestaat uit elektrische pulsen waarbij de richting van de stroom binnen 1 cyclus verandert, dan spreken we van een bipolar square wave. Binnen een 1 seconde kan een cyclus een aantal malen worden herhaald.

Cerebraal ganglion

Het cerebrale ganglion is een zenuwknoop bij de ogen in decapoden, waar een gecoördineerde verwerking van prikkels plaatsvindt.

Cognitie

Cognitie heeft te maken met het vermogen tot waarnemen, leren en geheugen door levende wezens.

Decapoden

Krabben en kreeftachtigen zijn schaaldieren en behoren tot de Orde van de Decapoda. Decapoden hebben veel gemeenschappelijke kenmerken. Een belangrijk kenmerk is hun tien poten, waarvan het eerste paar, vaak grote, scharen kunnen zijn.

Doorstroomsysteem

Bij een doorstroomsysteem stroomt vers water bv. een tank in. Het water wordt niet hergebruikt en de afvoer van het water zorgt ervoor dat de uitwerpselen, afvalstoffen en het niet opgegeten voer worden verwijderd.

Duty cycle

Een duty cycle is de verhouding tussen de perioden waarbij de spanning aan- en uitstaat. Deze verhouding wordt in procenten uitgedrukt. Bij een bipolar square wave is het nodig om de duty cycle te vermelden.

Elektrocutie

Electrocutie is bedwelmen en doden met behulp van elektriciteit. Tot nu toe is gebleken dat vissen niet kunnen worden geëlektrocuteerd; bedwelmen is wel mogelijk. Dit betekent elektrisch bedwelmen gevolgd moet worden door een dodingsmethode zonder dat het dier weer bij bewustzijn komt.

Elektrofysiologische activiteit

We spreken in dit rapport over onder meer de elektrofysiologische activiteit in het cerebrale ganglion en niet over een eeg bij decapoden. De reden is nl. dat het cerebrale ganglion in krabben en kreeften in geen

hersenen zijn. Bovendien is er weinig bekend over de registratie van de elektrofysiologische activiteit als maat voor het bewustzijn en de bewusteloosheid en gevoelloosheid bij deze dieren. Opmerkelijk is dat het cerebrale ganglion van krabben en kreeften in een aantal publicaties ten onrechte is aangeduid als hersenen.

Elektro-encefalogram (eeg)

Een eeg is de registratie van de elektrische activiteit van de hersenen. Zo wordt informatie verkregen over het functioneren van de hersenen in een dier dat bij bewustzijn is en tijdens de bewusteloosheid en gevoelloosheid. Omdat het cerebrale ganglion in decapoden geen hersenen zijn, spreken we niet van een eeg bij deze dieren.

Elektrocardiogram (ecg)

Met een elektrocardiogram wordt de elektrische activiteit van het hart geregistreerd. Zo wordt informatie verkregen over het functioneren van het hart.

Ganglion

Een zenuwknoop of ganglion is een groep zenuwcellen of neuronen. Ganglia is het meervoud van ganglion.

Hz

Hz staat voor Herz en dit is de frequentie van een repeterende signaal van de spanning of stroom. De frequentie wordt uitgedrukt in het aantal repeterende signalen per seconde. Een signaal van 100 Hz betekent 100 maal een repeterend signaal per seconde.

Mediaan

De mediaan is de waarde die zich precies in het midden van een dataset bevindt als je de waarden van laag naar hoog rangschikt.

Neuron

Een neuron is een cel, die een onderdeel is van het zenuwstelsel.

Ongerief

Ongerief is een rechtsgeldige term voor elke aantasting van het welzijn, zoals pijn, honger, stress, verveling of eenzaamheid van dieren.

rms

De afkorting rms staat voor root mean square. De rms is de effectieve waarde van een spanning of een stroom. Wanneer bv. de wisselstroom en gelijkstroom dezelfde rms waarden hebben, dan zijn de effectieve waarden gelijk. Bij gelijke rms waarden van de wisselspanning en gelijkspanning zijn de effectieve waarden gelijk.

Spanning of elektrische spanning

Wanneer er sprake is van een overschot aan elektronen (dit zijn elektrisch geladen deeltjes) aan de ene (bedwelmings)elektrode en een tekort bij de andere (bedwelmings)elektrode dan is er sprake van een spanning. Het gevolg hiervan is dat er stroom gaat lopen wanneer er tussen beide elektroden een geleidende verbinding wordt gemaakt.

Stroom of elektrische stroom

Een elektrische stroom is de beweging van elektrisch geladen deeltjes.

Subesofagaal

Onder de slokdarm.

Thoracaal

De borstkas betreffende.

Veldsterkte

De veldsterkte wordt berekend door de effectieve elektrische spanning te delen door de afstand tussen de bedwelmingselektroden in het zeewater. De gebruikte eenheid voor de afstand is bv. meter (m).

In het geval van het elektrisch bedwelmen na het ontwateren, gebruiken we de effectieve spanning.

V_{piek}

Met V_{piek} bedoelen we in dit rapport de piekspanning (of maximale spanning) in een volledige cyclus van de repeterende wisselende spanning. De rms-waarde van de spanning is dus lager dan de piekspanning in een cyclus.

Zenuwknoop

Zie ganglion.

To explore
the potential
of nature to
improve the
quality of life



Wageningen Livestock Research
Postbus 338
6700 AH Wageningen
T 0317 48 39 53
E info.livestockresearch@wur.nl
www.wur.nl/livestock-research

Wageningen Livestock Research ontwikkelt kennis voor een zorgvuldige en renderende veehouderij, vertaalt deze naar praktijkgerichte oplossingen en innovaties, en zorgt voor doorstroming van deze kennis. Onze wetenschappelijke kennis op het gebied van veehouderijsystemen en van voeding, genetica, welzijn en milieu-impact van landbouwhuisdieren integreren we, samen met onze klanten, tot veehouderijconcepten voor de 21e eeuw.

De missie van Wageningen University & Research is 'To explore the potential of nature to improve the quality of life'. Binnen Wageningen University & Research bundelen 9 gespecialiseerde onderzoeksinstituten van Stichting Wageningen Research en Wageningen University hun krachten om bij te dragen aan de oplossing van belangrijke vragen in het domein van gezonde voeding en leefomgeving. Met ongeveer 30 vestigingen, 6.500 medewerkers en 10.000 studenten behoort Wageningen University & Research wereldwijd tot de aansprekende kennisinstellingen binnen haar domein. De integrale benadering van de vraagstukken en de samenwerking tussen verschillende disciplines vormen het hart van de unieke Wageningen aanpak.

