



# 'n Vergelykende ondersoek na die akkumulering van metale in die mosselkrewel (*Tetraclita serrata*) en die swartmossel (*Choromytilis meridionalis*) in Valsbaai, Suid-Afrika

## Authors:

Adriaan J. Reinecke<sup>1</sup>  
Sophia A. Reinecke<sup>1</sup>  
Naomi P. Mdzeke<sup>1</sup>

## Affiliation:

<sup>1</sup>Department of Botany and Zoology, Stellenbosch University, South Africa

## Correspondence to:

Adriaan Reinecke

## Email:

ajr@sun.ac.za

## Postal address:

Private Bag X1, Matieland 7602, South Africa

## Dates:

Received: 09 June 2014  
Accepted: 01 Sept. 2014  
Published: 13 Nov. 2014

## How to cite this article:

Reinecke, A.J., Reinecke, S.A. & Mdzeke, N.P., 2014, 'n Vergelykende ondersoek na die akkumulering van metale in die mosselkrewel (*Tetraclita serrata*) en die swartmossel (*Choromytilis meridionalis*) in Valsbaai, Suid-Afrika', *Suid-Afrikaanse Tydskrif vir Natuurwetenskap en Tegnologie* 33(1), Art. #1181, 9 pages. <http://dx.doi.org/10.4102/satnt.v33i1.1181>

## Copyright:

© 2014. The Authors.  
Licensee: AOSIS  
OpenJournals. This work is licensed under the Creative Commons Attribution License.

## Read online:



Scan this QR code with your smart phone or mobile device to read online.

Die ontwikkeling van metodes om die Suid-Afrikaanse kuswaters te monitor, bied geweldig uitdagings. Kennis en die beskikbaarheid van geskikte spesies wat as biomonteerders kan optree, kan nuttig wees om inligting te bekom wat goeie besluitneming kan bevorder. Dit is gevolglik van nut om plaaslike spesies te identifiseer wat as biomonteerders gebruik kan word. Die doel van hierdie studie was om as deel van 'n seisoenale veldstudie van metale in die tussengetygebied van Valsbaai, Suid-Afrika, 'n vergelyking te tref tussen die liggaamsladings van koper (Cu), nikkel (Ni), lood (Pb), kadmium (Cd) en sink (Zn) in die swartmossel (*Choromytilis meridionalis*) en die mosselkrewel (*Tetraclita serrata*), en om dit met omgewingskonsentrasies te vergelyk. Die oogmerk is om afleidings te maak oor die diere se relatiewe vermoëns om die prioriteitsmetale te akkumuleer. Eksemplare van beide spesies is oor verskeie seisoene gedurende 2000 en 2001 by verskillende punte langs die kus versamel en chemies ontleed. Die gemiddelde liggaamsladings (skulp en sagte weefsel) van metale in die swartmossel was vir alle metale hoër as dié van die mosselkrewel gedurende alle seisoene. Vergelykings tussen die liggaamsladings en omgewingskonsentrasies in water en sediment het getoon dat die prioriteitsmetale Cd, Pb en Ni sterk deur beide *C. meridionalis* en *T. serrata* uit die omgewing geakkumuleer word. Die gemiddelde liggaamsladings van Cd vir die verskillende seisoene het gevarieer tussen 6.43 µg/g en 14.73 µg/g maar geen statisties betekenisvolle verskille is gevind nie. In die meeste gevalle was die metaalkonsentrasies in alle seisoene die hoogste gedurende die winter. Die konsep van biomonitoring het meriete omdat dit langtermyn-tendense uitwys, maar dit bied nie 'n absolute maatstaf van oombliklike, wisselende besoedelingvlakke nie. Dit kan as bykomende bestuurshulpmiddel in 'n nasionale mariene program dien vir die beskerming van die biodiversiteit van die tussengetygebied.

**A comparative study of the accumulation of metals in the barnacle (*Tetraclita serrata*) and the black mussel (*Choromytilis meridionalis*) in False Bay, South Africa.** The development of methods to monitor the South African coastal waters offer major challenges. Knowledge and availability of suitable species that may serve as biomonitors will be valuable to obtain information to support good management decisions. It is therefore important to identify local species that show the basic characteristics required for biomonitoring. The aim of this study was to compare, as part of a wider seasonal field study of metals in the intertidal zone of False Bay, South Africa, the body loads of copper (Cu), nickel (Ni), lead (Pb), cadmium (Cd) and zinc (Zn) in the black mussel (*C. meridionalis*) and the barnacle (*T. serrata*), and to compare these with environmental concentrations. Also to draw conclusions about the animals' relative abilities to accumulate priority metals. Specimens of both species were collected over several seasons at different points in False Bay and analysed chemically. The mean body load (soft tissue and shell) of metals was higher in the black mussel than in the barnacle during all seasons. A comparison between the body loads and environmental concentrations in water and sediment showed that the priority metals Cd, Ni and Pb are accumulated strongly by both *C. meridionalis* and *T. serrata*. The mean Cd body loads varied between 6.43 µg/g and 14.73 µg/g for the various seasons but was not statistically significantly different between seasons. Metal concentrations were in most cases highest during winter. Multiple regression analysis showed a strong correlation between body load of metals in the black mussel and the environmental concentration for most seasons, which indicates that the black mussel can be useful as an active rather than a passive biomonitor. The concept of biomonitoring has merit because it may show long-term tendencies, but it does not offer an absolute measure of immediate, varying pollution levels. It could serve as an additional management tool in a national marine programme for the protection of the intertidal zone's biodiversity.



## Inleiding

Die Suid-Afrikaanse mariene omgewing beskik oor 'n ryk biodiversiteit en hoewel verstedeliking en industrialisering langs kuslyne toeneem (Greenfield *et al.* 2011; Goble *et al.* 2014), is daar sover bekend geen biomonitoringsprogram in plek om die antropogeniese impak te evalueer nie, of is sodanige inligting nie gepubliseer nie (Wepener & Degger 2012). Wetgewing is lank reeds in plek om die bestuur van kusgebiede te reguleer en die meer onlangse *Integrated Coastal Management Act* (Wet 24 van 2008) bepaal dat die staat as trustee van kusgebiede, onder andere, moet toesien dat niemand die kusomgewing benadeel nie. Doeltreffende implementering van hierdie meer omvattende wetgewing is egter steeds problematies (Goble *et al.* 2014) omdat kapasiteit en finansiële hulpbronne (Palmer 2008) ontbreek. Daar is 'n behoefte om implementering te fasiliteer deur die ontwikkeling van eiesoortige metodes en riglyne om besluitneming te vergemaklik (Celliers *et al.* 2009).

Mariene navorsing en die ontwikkeling van metodologieë om die Suid-Afrikaanse kuswaters te monitor, bied geweldige uitdagings naas die baie spesies wat nog nie ontdek of beskryf is nie (Griffiths *et al.* 2010). Sleutelgebiede wat aandag verdien, sluit in die kwantifisering van die uitwerking van mynaktiwiteite en sleepnetvisserij op bentiese habitate, asook die impak van besoedeling (via stormwater en riool) op kusgebiede. In dié opsig sal kennis en die beskikbaarheid van geskikte spesies wat as biomoniteerders kan optree, nuttig wees om inligting te bekom wat goeie besluitneming kan bevorder.

Die gebruik van mariene organismes vir die assessering en monitering van metaalbesoedeling is wêreldwyd aan die toeneem volgens Simonetti en Marcovecchio (2013). Verskeie enkelspesies is tot dusver met sukses gebruik om kuswaters te monitor, maar hulle het nie 'n universele of kosmopolitiese verspreiding nie en kan dus nie as moniteerders in ander gebiede gebruik word nie. 'n Meer omvattende benadering sou wees om 'n reeks van verskillende organismes te gebruik wat verskillende ekologiese nisse en voedingsvoorkeure verteenwoordig (Rainbow *et al.* 2000).

Alle organismes neem spoorelemente op, maar daar is opvallende verskille tussen die hoeveelhede wat in die liggame van verskillende spesies ophoop (selfs wat taksonomies naverwante spesies betref) wat in dieselfde habitate woon (Wang & Rainbow 2005). Dit is gevolglik van nut om plaaslike spesies te identifiseer wat oor die basiese eienskappe beskik om as biomoniteerders te kan dien soos uiteengesit deur Barbaro *et al.* (1978). Nie een van die mosselspesies (Goldberg *et al.* 1983; Maanan 2007) en mosselkrewels (Morillo & Usero 2008; Rainbow & Blackmore 2001; Reis, Salgado & Vasconcelos 2011; Wang & Rainbow 2005) wat algemeen as biomoniteerders gebruik word in ander lande, kom natuurlik in Suid-Afrikaanse kuswaters voor nie. Dit is dus logies dat potensieel geskikte plaaslike spesies geëvalueer sal word vir moontlike gebruik in moniteringsprogramme.

Opmnames van chemiese kontaminasie in kuswaters en in die biota dra by om die chemiese status te bepaal van die water en veral die organismes wat as voedsel dien. Sodoende kan nakoming, al dan nie, van regulatoriese veiligheidsvereistes uitgewys word. Dit het veral waarde om die langtermyn tendense van besoedeling vas te stel (Besse, Geffard & Coquery 2012).

Metale kan in die tussengetygebied van die kus beland vanaf opvanggebiede via fluviale afvoer, atmosferiese neerslag en/of deur uitlate van afvalwater (Zhang *et al.* 2005). Die vraag of swaarmetale in Valsbaai 'n bedreiging inhou vir die ongewerwelde diere in die tussengetygebied is steeds belangrik ná die vroeëre studies (Taljaard, Van Ballengooien & Morant 2000; Van der Merwe, Vlok & Van der Merwe 1991) wat die belangrike rol van Valsbaai uitgewys het as bron van voedsel en rekreasië. Kontaminante van antropogeniese oorsprong affekteer die kwaliteit van seewater, sedimente en die biota en behoort gereeld gemoniteer te word (Griffiths *et al.* 2004; Reis *et al.* 2011; Reinecke, Reinecke & Mdzeke 2012; Wepener & Degger 2012).

Sommige mariene tweekleppiges soos mossels (Mollusca; Bivalvia) is daarvoor bekend dat hulle swaarmetale akkumuleer sonder ooglopende skadelike gevolge (Cattani *et al.* 1999; Mubiana *et al.* 2005; Regoli 1998; Wepener *et al.* 2008). Daarom is hulle geskikte biomoniteerders van besoedelende stowwe in die mariene omgewing. So kan die verspreiding en impak van die stowwe beter in ruimte en met verloop van tyd verstaan word. Hulle geskiktheid vir hierdie doel is daarin geleë dat hulle sedentaries en filtervoedend is en wyd verspreid voorkom. Daarbenewens het hulle 'n lang lewensverwagting sodat die besoedeling oor 'n lang tydverloop geïntegreer word. Hulle is ook weerstandig teen fluktuasies in fisies-chemiese toestande (Kiffney & Clements 1993). Mossels soos *Mytilus* speel 'n belangrike rol in die sogenaamde 'Mussel Watch'-programme in die USA (Lauenstein, Robertson & O'Conner 1990; Rainbow 1995) en elders (De Kock & Kramer 1994; Goldberg *et al.* 1983; Mubiana *et al.* 2005; Zaldivar *et al.* 2011). Die inheemse swartmossel *C. meridionalis* is vroeër op soortgelyke wyse in Suid-Afrika gebruik deur Watling en Watling (1976) en Orren *et al.* (1980), maar die programme is nie oor die lang termyn voortgesit soos in ander wêrelddele nie.

Mosselkrewels (Crustacea; Cirripedia) is ook reeds met sukses elders ingespan as biomoniteerders (Reis *et al.* 2011). Reinecke *et al.* (2012) het voorgestel dat die mosselkrewel *Tetraclita serrata* ondersoek word as moontlike biomoniteerder. Hulle kom volop voor in die Suid-Afrikaanse rotskusstreke, is sedentaries en langlewend (Branch *et al.* 2005) en voldoen aan die bogenoemde kriteriums om potensieel geskik te wees vir dié doel. Ongelukkig is inligting oor plaaslike spesies maar skraap. Dit is bekend dat die mosselkrewels *Balanus amphitrite* (Rainbow 1995) en *Tetraclita squamosa* (Rainbow 2002) sterk akkumuleerders is van metale. Powell en White (1990) het ook op grond van eksperimentele ondersoeke bevind dat sekere mosselkrewels geskikte biomoniteerders

van verskeie metale kan wees. Gegewe die wye verspreiding van die naverwante *T. serrata* aan die Suid-Afrikaanse rotskuste, kan die vraag gestel word of hierdie spesie nie 'n soortgelyke (of aanvullende) rol kan speel om metale in plaaslike kuswater te monitor nie. Reinecke *et al.* (2012) het die liggaamsladings van kadmium (Cd) in verskeie tussengetydiere, waaronder ook *Choromytilis meridionalis* en *T. serrata* gemeet, maar niks is bekend oor hulle vermoë om ander metale uit hulle omgewing op te neem en op te hoop nie en hoe hulle vergelyk as bio-akkumuleerders. Reis *et al.* (2011) het benadruk dat die gebruik van 'n mosselkrewel as biomonteerder in 'n bepaalde gebied voorafgegaan moet word deur deeglike evaluering. Ons hipotese is dat hierdie mosselkrewel moontlik, soos die mossels, oor die potensiaal beskik om as biomonteerder van metale gebruik te word omdat hulle normaalweg as 'n sessiele filtervoeder soos die mossel, *C. meridionalis*, beskou kan word, maar dat die potensiaal ook moontlik kan verskil van dié van die mossel weens verskille in voedingsgedrag en mikrohabitat.

Die verkryging van 'n wyer beeld en studie van veranderinge in metaalvlakke in Suid-Afrikaanse kusgebiede word dikwels belemmer deur 'n tekort aan vergelykbare gegewens (Vermeulen & Wepener 1999). Daarom is dit nodig om basislyninligting oor die ophoping van 'n reeks metale in ongewerwelde tussengetydiere te verkry, veral as hulle ook oor die potensiaal beskik om as biomonteerders te dien.

Die doel van hierdie studie was om as deel van 'n seisoenale veldstudie van metale in die tussengetywater, -sedimente en -diere van Valsbaai, 'n vergelyking te tref tussen die liggaamsladings van koper (Cu), nikkel (Ni), lood (Pb), kadmium (Cd) en sink (Zn) in die swartmossel (*C. meridionalis*) en die mosselkrewel (*T. serrata*). Die oogmerk was om afleidings te maak oor hulle relatiewe vermoëns om die sogenaamde prioriteitsmetale (Besse *et al.* 2012) soos Cd, Pb en Ni maar ook Zn en Cu vanuit die omgewing in hulle liggame op te hoop. Die mate waarin dit as aanduidings van die omvang van omgewingsbesoedeling kan dien, word ook beredeneer.

## Materiaal en metodes

### Studiegebied en monsterneming

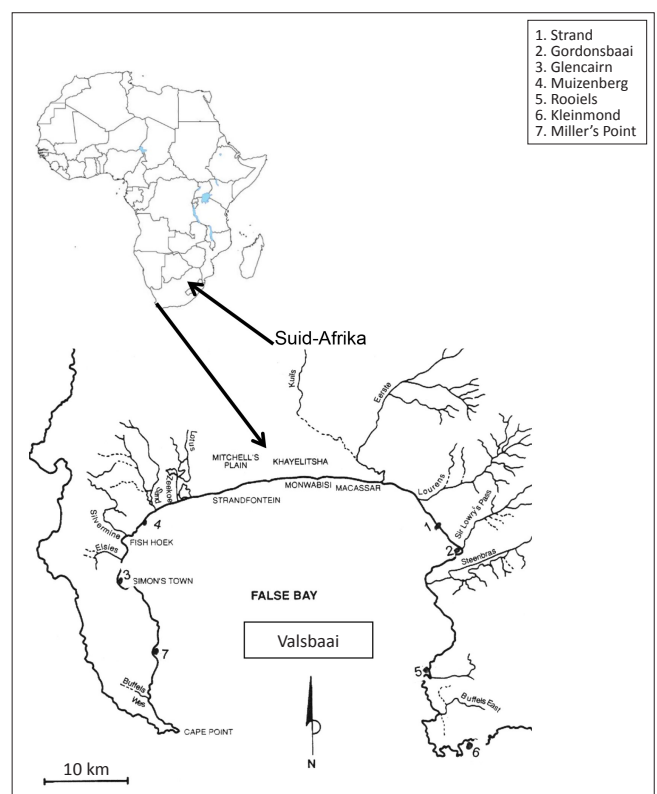
Valsbaai is geleë by 34°15'S, 18°40'O aan die suidpunt van Afrika (Figuur 1) en is die grootste egte of natuurlike baai in Suid-Afrika (Heinecken, Bickerton & Heydon 1983). Vis en skulpvis word in die baai geoes deur kommersiële en bestaanvisser (Van der Merwe *et al.* 1991) en verskeie watersportsoorte word beoefen (Reinecke & Reinecke 2013; Taljaard *et al.* 2000). Verskeie pypleidings stort steeds stygende volumes riool, visafval of industriële afval in die mariene omgewing. Die pypleidings en uitlatings is veral gekonsentreerd in die meer dig bewoonde sentrums langs die kus, maar 'n formele nasionale evaluering van die impak van hierdie uitlatings is nog nie gedoen nie (Griffiths *et al.* 2010). Sedimentmonsters is gedurende vier opeenvolgende seisoene tydens laagwater by lokaliteite versamel tussen

Julie 2000 en Julie 2001 en in 'n vrieskas gestoor vir latere analise. Watermonsters is op 'n diepte van 30 cm net bokant die sediment versamel en daarna voorberei vir analise soos volledig uiteengesit in Reinecke *et al.* (2012). Die gegewens is volledig gedokumenteerd en word nie weer herhaal nie en is slegs gebruik om vergelykings te tref tussen die vlakke in die twee gekose spesies.

### Versameling van diere

Eksemplare van die swartmossels en mosselkrewels is met toestemming van die kus- en mariene owerheid gedurende die onderskeie seisoene (winter, lente, somer van die jaar 2000 en die herfs en winter van 2001) versamel by verskillende lokaliteite waar hulle voorgekom het aan die rotsagtige kusstreke. Die lokaliteite langs die kus (Figuur 1) is gekies met inagneming van landgebruik in die opvanggebied met potensiaal om by te dra tot kusbesoedeling. Gevolglik is verskeie van die versamel-punte naby riviermondings geleë of in die nabyheid van pypleidings wat water dreineer. Eksemplare van ongeveer gelyke grootte is versamel onder die aanname dat individue van dieselfde grootte min of meer van dieselfde ouderdom behoort te wees. In alle gevalle is individue van gelyke grootte gebruik vir chemiese analise omdat liggaamsgrootte die akkumulering van spoormetale kan beïnvloed (Bodin *et al.* 2013; Powell & White 1990; Watling & Watling 1976).

Tussen 50 en 60 eksemplare van *T. serrata* is met laagwater by elk van die volgende sewe lokaliteite versamel deur hulle met 'n vlekvrystaalmes vanaf die rotse los te wikkel



Bron: Lynskets deur die outeurs ontwerp

**FIGUUR 1:** Kaart om die ligging van Valsbaai en die verskillende lokaliteite (1 tot 7) aan te toon waar versameling van mossels en mosselkrewel oor verskeie seisoene plaasgevind het.



en onderstebo in plastiekhouders met seewater te plaas (Ireland 1974): Muizenberg, Strand, Rooiels, Muller's Point, Kleinmond, Glencairn en Gordonsbaai (Figuur 1).

Dertig eksemplare van ongeveer gelyke skulp-grootte (25 mm – 50 mm) (Lobel *et al.* 1982) is gedurende dieselfde tydperk van *C. meridionalis* in die volgende drie, lokaliteite versamel: Muizenberg, Rooiels en Kleinmond. Hulle is ook van die rotse losgewikkel met 'n vlekvrystaallem. Daar is gesorg dat die spesie nie verwar is met die byna identiese uitheemse spesie *Mytilus galloprovincialis* nie deur van Branch *et al.* (2005) se beskrywing gebruik te maak. Daar is gepoog om slegs manlike eksemplare chemies te ontleed ten einde die probleem te sistap wat veroorsaak word deur veranderinge in die ontwikkeling van gonades wat weer tot veranderinge in metaalinhoud kan lei (Schulz-Baldes 1974). Die onderskeid is makroskopies getref deur na grootte, vorm en kleur van gonades te kyk, hoewel kleurvariasies voorgekom het en die akkuraatheid van die metode beperk is (Petes *et al.* 2008), aangesien meer betroubare biochemiese metodes (Jabbar & Davies 1987) nie moontlik was nie.

Metaalekstraksie en -analise het die prosedure van Katz en Jennis (1983) soos ook volledig beskryf deur Reinecke *et al.* (2009, 2012) gevolg en word net kortliks opgesom. Eksemplare van die versamelde diere is by  $-20\text{ }^{\circ}\text{C}$  gevries in afwagting op ekstraksie en analise. Na ontvriëring is die sagte weefsel van die mossels van die skulpe geskei en afsonderlik bymekaar gevoeg. In die geval van die mosselkrewels is die hele liggaam (skulp en sagte weefsel) gebruik. Die monsters is in 'n oond by  $60\text{ }^{\circ}\text{C}$  vir 48 uur gedroog en gehomogeniseer in 'n vysel. Submonsters van 0.2 g – 0.5 g van die diere, sedimente en water (5 mL) is in proefbuis oornag verteer deur 10 mL salpetersuur en verhit tot  $40\text{ }^{\circ}\text{C}$  –  $60\text{ }^{\circ}\text{C}$  vir 2 uur in 'n verhitingsmantel en daarna vir 'n verdere uur by  $110\text{ }^{\circ}\text{C}$  –  $120\text{ }^{\circ}\text{C}$ . Die verteerde monsters is afgekoel voordat 1 mL perchloorsuur bygevoeg is en dit opnuut verhit is tot by  $110\text{ }^{\circ}\text{C}$  –  $120\text{ }^{\circ}\text{C}$  totdat bruin dampe gevorm het. Na afkoeling is 5 mL gedistilleerde water bygevoeg en het herverhitting plaasgevind totdat wit dampe afgekom het. Die monsters is oornag gelaat en gefiltreer deur Whatman Nr. 6-filtreerpaier en mikrofilterpapier met 'n  $0.45\text{ }\mu\text{m}$ -membraan. 'n Blanke monster is ook voorberei vir elke stel monsters ten einde die analitiese doeltreffendheid te toets. Die water- en sedimentmonsters is daarna met behulp van atoomabsorpsie deur vlamspektrofotometrie (Varian AA-1275) met 'n asetileen-lugvlam en die gekoppelde plasmaspectrofotometer met atoomemissie (ICP, HP4500-model) ontleed vir Cd, Cu, Pb, Ni en Zn. Vyf analises is vir elke monster gedoen. Konsentrasies in biologiese materiaal en sediment is weergegee as  $\mu\text{g/g}$  droë massa en in water as  $\mu\text{g/L}$ . Proeflopie om die doeltreffendheid van ekstrasie-metodes vir biologiese monsters te toets, is met beeslewer (NIST SRM 1577b) gedoen, wat verkry is vanaf die National Institute of Standards and Technology (Gaithersburg, VSA). Die gesertifiseerde materiaal het na afloop van suurvertering aanvaarbare opbrengste bokant

80% opgelewer. Gewaste seesand is ook gebruik om die ekstrasiedoeltreffendheid met sediment te toets en het 'n opbrengs bokant 90% opgelewer. Analitiese standaard van al die metale is gebruik om die metingslimiete te toets. Dit is (in  $\mu\text{g/g}$ ) soos volg: 0.02 vir Cd en Zn; 0.1 vir Cu; 0.03 vir Ni en 0.05 vir Pb (sien ook Reinecke & Reinecke 2013).

## Statistiese analise en dataverwerking

Alle berekenings is met die program Jandel Scientific Sigmastat 3.0 en Statsoft. 2010. Statistica (data-analise sagteware-stelsel) 9.0. gedoen. Metaalkonsentrasies in beide spesies is vir normaliteit getoets met die Kolmogorov-Smirnov-toets. Nieparametriese gegewens is getoets met die Kruskal-Wallis-analysis of variance (ANOVA) vir rangordes en daaropvolgend met die Dunn-toets en ook die Student-Newman-Keuls-metode. Die vlak van betekenisvolheid was  $p < 0.05$  (sien ook Reinecke & Reinecke 2013).

Na aanleiding van die bevindinge van Reinecke *et al.* (2012) m.b.t. omgewingsparameters soos reënval, pH en soutgehalte se moontlike invloed in Valsbaai, wat gelyklopend met hierdie studie versamel is, word die gegewens nie weer hier herhaal nie. Getabuleerde resultate van konsentrasies in 'n enkele omgewingsmonster is gebaseer op minstens vyf metings. Gemiddelde waardes per seisoen van konsentrasies is gebaseer op die getal lokaliteite waarin hulle versamel is. Jaarwaardes vir die baai as geheel per lokaliteit is gemiddeld vir alle seisoene (sien ook Reinecke & Reinecke 2013).

Riglyne vir agtergrondkonsentrasies van sedimente (*Department of Environmental Affairs and Tourism [DEAT] 1985*) is reeds hewig gedebatteer in latere dokumente van dieselfde instelling. Reinecke en Reinecke (2013) wys daarop dat riglyne soos dié en andere (Fatoki & Mathabahta 2001; Maritz & Swanepoel 1998) baie arbitrêr is en dat basislynmodelle soos deur Newman en Watling (2007) voorgestel, 'n meer verantwoordbare basis bied om metaalverryking in sedimente teenoor basislyn-data te beoordeel. Die mate waarin potensiële probleemmetale soos Cd en Pb vanuit die water in die organismes kan akkumuleer, is wel ondersoek deur middel van die biologiese akkumulasiefaktor (BAF), die metaal se konsentrasie in die diereliggaam (Cb) teenoor die konsentrasie in die wateromgewing (Cw) by ewilibrum (op 'n massa-tot-massa-basis) en weergegee deur  $\text{BAF} = \text{Cb}/\text{Cw}$  en uitgedruk as 'n logaritme (sien ook Reinecke & Reinecke 2013).

## Resultate

### Liggaamsladings van metale in spesies

Die gemiddelde metaalladings (sagte weefsel en skulp) van die mosselkrewel wat by sewe lokaliteite versamel is gedurende die onderskeie seisoene word in Tabel 1 weergegee. Konsentrasies van Cu het baie gevarieer tussen seisoene soos blyk uit die omvang ( $0\text{ }\mu\text{g/g}$  –  $40.3\text{ }\mu\text{g/g}$ ) en standaardafwyking. Geen betekenisvolle verskille het voorgekom tussen die twee winteropnames en die een in die herfs nie. Wat Ni in die mosselkrewels betref, het betekenisvolle verskille ( $p < 0.05$ ) voorgekom tussen bykans



alle seisoene behalwe tussen die winter en lente van 2000 met 'n omvang van 0 µg/g – 17.3 µg/g. Vir beide Pb en Zn het die gemiddelde liggaamsladings vir alle seisoene statisties betekenisvol verskil. Wat Cd betref, het die gemiddelde liggaamsladings vir die verskillende seisoene gevarieer tussen 6.43 µg/g en 14.73 µg/g maar geen statisties betekenisvolle verskille is tussen die onderskeie seisoene gevind nie. In die meeste gevalle was die metaalkonsentrasies van alle seisoene die hoogste gedurende die winter.

Die metaalkonsentrasies in die liggame (sagte weefsel en skulp) van die swartmossels (*C. meridionalis*) gedurende die verskillende seisoene word in Tabel 2 vergelyk. Die statistiese analise het aangetoon dat die konsentrasies Cu en Ni betekenisvol ( $p < 0.05$ ) tussen alle seisoene verskil het met die hoogste konsentrasies gedurende die winter van 2000 gemeet. Die sagte weefsel se gemiddelde lading Ni was in die winter van 2001 ook betekenisvol hoër ( $p < 0.05$ , Mann-Whitney-toets) as tydens ander seisoene. Vir Pb is betekenisvolle ( $p < 0.05$ ) verskille in die heelligaamladings van die swartmossels gevind tussen die lente en winter van 2000, en ook tussen die somer en lente met winterkonsentrasies wat die hoogste was. Wat Zn betref, het die konsentrasies van beide die sagte weefsel en hele liggaam aansienlik gevarieer tussen seisoene en was dit meestal betekenisvol verskillend tussen seisoene, behalwe gedurende lente en somer. Ook in dié geval is die hoogste konsentrasies gedurende die winter gemeet. Wat Cd in die swartmossels betref, het die gegewens die toets vir normaliteit geslaag en het eenrigting-ANOVA geen statisties betekenisvolle verskille ( $p = 0.781$ ) tussen seisoene aangetoon nie. Hierdie verskynsel is reeds voorheen

vir Cd in die mosselkrewel aangetoon (Reinecke *et al.* 2012). 'n Vergelyking tussen die twee spesies afsonderlik het getoon dat die konsentrasies van alle metale gedurende alle seisoene betekenisvol tussen hulle verskil het. Toe die gegewens nie die Shapiro-Wilk-normaliteitstoets geslaag het nie, is die Wilcoxon- en Mann-Whitney-rangtoetse gedoen wat getoon het dat die verskille in mediaanwaardes tussen die twee spesies betekenisvol was en wel groter as bloot toevallig ( $p < 0.001$ ). In die geval van alle metale was die gemiddelde van die totale liggaamsladings (skulp en sagte weefsel) van die swartmossel, *C. meridionalis*, hoër as dié van die mosselkrewel gedurende alle seisoene. Die gemiddelde liggaamsladings vir alle seisoene (jaargemiddeldes) se waardes bymekaar gevoeg, het 'n soortgelyke resultaat opgelewer.

Die log BAF-waardes vir die twee spesies vir alle seisoene het gevarieer tussen 3.1 en 4.0 (Tabelle 1 en 2). Die verhouding tussen die metaalinhoud van die sagte weefsel van die swartmossel enersyds, en die omgewing andersyds (water en sediment), is ondersoek deur meervoudige regressie-analise wat 'n sterk korrelasie aangetoon het vir alle seisoene. Dieselfde korrelasie is gevind vir die verhouding tussen die konsentrasies van totale liggaam (skulp en sagte weefsel), asook die omgewing vir alle seisoene.

Wat die mosselkrewel, *T. serrata*, betref, het die meervoudige regressie-analises vir die verhouding tussen die omgewing en die totale liggaamslading getoon dat vir Cu die korrelasie sterk was in die lente ( $R = 0.96$ ) en somer ( $R = 0.85$ ), maar swak gedurende die herfs ( $R = 0.28$ ) en winter ( $R = 0.56$ ). Vir Ni was dit sterk in die somer en herfs, maar swakker ( $R = 0.42$ ) in die

**TABEL 1:** Die gemiddelde liggaamskonsentrasies (hele liggaam wat skulp en sagte weefsel insluit) van metale ( $\pm$  standaardafwyking) (µg/g; droë massa) in die mosselkrewel (*Tetraclita serrata*) wat by Strand, Gordonsbaai, Glencairn, Muizenberg, Rooiels, Kleinmond en Miller's Point oor verskeie seisoene versamel is.

Seisoen	Kadmium†	Nikkel	Lood	Koper	Sink
Winter (Julie 2000)	14.72 ± 24.8	0.61 ± 0.85	4.21 ± 2.6	8.58 ± 13.27	106.31 ± 53.1
Lente (Sept.)	11.84 ± 25.2	0.75 ± 0.72	0.25 ± 0.4	5.57 ± 11.28	72.29 ± 46.4
Somer (Des.)	7.02 ± 15.5	3.29 ± 3.57	2.76 ± 6.6	0.54 ± 0.5	45.13 ± 10.86
Herfs (Apr. 2001)	6.40 ± 6.8	6.29 ± 4.3	11.11 ± 7.2	4.01 ± 3.1	100.44 ± 41.4
Winter (Julie)	8.36 ± 8.5	9.31 ± 5.0	12.35 ± 6.6	8.75 ± 2.3	118.69 ± 42.7
Jaargemiddelde	9.68	4.33	6.12	5.54	87.63
Omvang	0–70.7	0–17.3	NM–20.0	NM–40.3	27.6–209
Log BAF	3.8	3.2	3.2	3.6	3.8

Bron: †, Reinecke, A.J., Reinecke, S.A. & Mdzeke, N.P., 2012, 'Spatial and temporal variation in cadmium body loads of four intertidal invertebrates from False Bay, South Africa', *African Zoology* 47, 12–25. <http://dx.doi.org/10.3377/004.047.0121>  
log BAF, bio-akkumulasiefaktor; NM, nie meetbaar.

**TABEL 2:** Die gemiddelde konsentrasies van metale in die liggaam (sagte weefsel en skulp) (µg/g) (droë massa)  $\pm$  standaardafwyking van die swartmossel (*Choromytilus meridionalis*) wat oor verskeie seisoene by drie versamelpunte (Muizenberg, Rooiels en Kleinmond) in Valsbaai versamel is.

Seisoen	Kadmium†	Nikkel	Lood	Koper	Sink
Winter (Julie 2000)	7.57 ± 7.59	.67 ± 1.23	18.98 ± 15.4	5.06 ± 1.06	233.2 ± 109.0
Lente (Sept.)	3.17 ± 4.06	56 ± 4.08	9.24 ± 7.4	1.66 ± 1.3	147.0 ± 41.7
Somer (Des.)	3.92 ± 3.8	3.32 ± 4.7	9.0 ± 7.0	0.48 ± 0.54	155.7 ± 30.9
Herfs (Apr. 2001)	5.34 ± 3.3‡	3.94 ± 4.4‡	7.41 ± 4.8‡	0.97 ± 0.44‡	106.5 ± 42.1‡
Winter (Julie)	6.35 ± 3.4‡	4.57 ± 4.1‡	9.59 ± 6.3‡	2.16 ± 0.35‡	155.2 ± 39.2‡
Jaargemiddelde	5.25	5.61	10.76	2.06	156.7
Omvang	0.6–16.3	0–10.2	0.07–18.98	0–5.0	52.4–273.8
Log BAF	3.36	3.23	3.43	3.14	4.0

Bron: †, Reinecke, A.J., Reinecke, S.A. & Mdzeke, N.P., 2012, 'Spatial and temporal variation in cadmium body loads of four intertidal invertebrates from False Bay, South Africa', *African Zoology* 47, 12–25. <http://dx.doi.org/10.3377/004.047.0121>  
log BAF, bio-akkumulasiefaktor.  
‡, Slegs sagte weefsel



winter en lente ( $R = 0.69$ ). Vir Cd was dit sterk gedurende die winter ( $R = 0.97$ ) en swakker in al die ander seisoene ( $R = 0.38-0.55$ ). Vir Zn was die korrelasies swak in alle seisoene ( $R = 0.30-0.63$ ). Vir Pb het die korrelasies gevarieer tussen die seisoene vanaf  $R = 0.53-0.61$ , maar was dit sterker gedurende die winter van 2001 ( $R = 0.80$ ).

In die swartmossels het die verhouding tussen die gemiddelde konsentrasies in die sagte weefsel enersyds, en skulpe andersyds (Tabel 4), baie gevarieer. Die gemiddelde konsentrasies Cu in die sagte weefsel was gedurende die winter statisties betekenisvol ( $p < 0.05$ ) hoër as in die skulp, maar nie gedurende die lente en somer nie. Beide Ni en Pb se konsentrasies in die sagte weefsel was slegs in die somer betekenisvol hoër as in die skulp. Die gemiddelde konsentrasies Zn was in die somer, lente en winter betekenisvol hoër in die sagte weefsel as in die skulp. Liniêre regressie-analise wat vir die konsentrasies van verskillende metale uitgevoer is, het geen betekenisvolle korrelasies tussen die skulp en sagte weefsel opgelewer nie.

## Bespreking

Vergelykings tussen die liggaamsladings van metale met omgewingskonsentrasies in water en sediment deur middel van BAF-waardes het getoon dat die metale wat geneig is om te akkumuleer en dus moontlike risiko's inhou (die sogenaamde prioriteitsmetale) Cd, Pb en Ni (Besse *et al.* 2012) sterk deur beide *C. meridionalis* en *T. serrata* uit hulle omgewings geakkumuleer word. Die konsentrasies in die omgewing het egter baie gevarieer in sowel ruimte en tyd, soos ook reeds aangetoon deur Reinecke *et al.* (2009, 2012) in dieselfde gebied. Dié studies het aangetoon dat sekere individue van die mosselkrewel by Rooiels Cd sterk in hulle liggame kan konsentreer. Soortgelyke bevindings is ook

elders oor mosselkrewels gemaak (Beyer, Heinz & Redmon-Norwood 1996; Ruelas-Inzunza en Paez-Usuna 1998). Die resultate van die huidige studie bevestig nou hierdie tendens ook vir ander prioriteitsmetale. Hoewel die BAF-waardes vir Cu en Zn op 'n soortgelyke vlak as dié van ander metale was, moet in ag geneem word dat beide essensiële metale is wat deel vorm van die normale samestelling van die liggaam en normaalweg gereguleer kan word in teenstelling met Pb, Ni en Cd wat nie 'n belangrike funksionele rol in die liggaam het nie.

Die gemiddelde konsentrasies van Pb en Ni in die sediment (Tabel 3) was aansienlik hoër as in die dierliggame (Tabelle 1 en 2), maar die gemete waardes verteenwoordig ook 'n onbekende fraksie van die metale wat moontlik geïmmobiliseer en sodanig gebind kan wees dat hulle nie gereedelik biobeskikbaar is nie en dus geen direkte rol speel in die metale se toksisiteit nie.

Mosselkrewels is sessiele diere en die opgehoopde metale verteenwoordig waarskynlik 'n geïntegreerde beeld (Schulz-Baldes 1974) van besoedelingsvlakke oor 'n langer tydsverloop. Geen ooreenstemmende hoë vlak van metaalkonsentrasies is voorheen oor al die seisoene in sediment of water van die baai gemeet nie. Die bevindings onderskryf die hipotese dat *T. serrata*, weens hulle vermoë om metale bo omgewingsvlakke te akkumuleer, oor die potensiaal beskik om gebruik te word as biomonteerder van die metale aanwesig in tussengetygebiede van die kus. Hulle voedingswyse wat as filtervoeding getipeer kan word, stem baie ooreen met dié van mossels wat normaalweg sterk aanbeveel word as geskikte biomonteerders van besoedelende stowwe en waarvoor daar omvangryke getuienis in die vakliteratuur bestaan. Omdat mosselkrewels, soos mossels, ook sessiel is, voldoen hulle in dié opsig

**TABEL 3:** Die omvang en gemiddelde metaalkonsentrasies in die water ( $\mu\text{g/L}$ ) en sediment ( $\mu\text{g/g}$ ) wat oor vyf seisoene by sewe versamelpunte in Valsbaai gemeet is.

Seisoen	Kadmium <sup>†</sup>		Nikkel		Lood		Koper		Sink	
	Sed.	Water	Sed.	Water	Sed.	Water	Sed.	Water	Sed.	Water
Winter (Julie 2000)	4.71	1.74	22.42 <sup>a</sup>	0.23	27.27 <sup>ceg</sup>	0.67	5.47 <sup>a</sup>	1.28	54.1	18.85
Lente (Sept.)	0.95	0.22	10.84	0.07	21.87 <sup>bhi</sup>	1.71	1.30	0.62	37.74	7.19
Somer (Des.)	3.06	1.10	20.59	2.83	22.6 <sup>j</sup>	2.97	0.28	0.36	66.18 <sup>a</sup>	9.52
Herfs (Apr. 2001)	2.20	1.37	22.12 <sup>b</sup>	3.64	28.34 <sup>ad</sup>	3.99	3.06 <sup>b</sup>	1.49	70.25 <sup>b</sup>	11.23
Winter (Julie)	4.57	2.86	32.5	6.04	31.59	6.9	5.49	2.34	78.08	14.7
Jaargemiddelde	2.25	1.45	19.52	2.56	26.33	3.25	3.12	1.20	61.26	12.29
<b>Sed. omvang</b>	<b>NM-11.79</b>		<b>0.52-50.0</b>		<b>2.0-60.7</b>		<b>NM-15.1</b>		<b>14.1-19.6</b>	

Bron: †, Reinecke, A.J., Reinecke, S.A. & Mdzeke, N.P., 2012, 'Spatial and temporal variation in cadmium body loads of four intertidal invertebrates from False Bay, South Africa', *African Zoology* 47,12-25. <http://dx.doi.org/10.3377/004.047.0121>

Sedimentkonsentrasies met boskryfte dui aan dat daar geen statisties betekenisvolle verskille ( $p > 0.05$ ) tussen seisoene vir 'n spesifieke metaal was nie, soos volg: (tussen a en b), (c en d), (e en f), (g en h) en tussen (i en j). Sed., Sediment; NM, nie meetbaar.

**TABEL 4:** Die gemiddelde konsentrasie ( $\mu\text{g/g}$ ) van metale in die sagte weefsel en skulp onderskeidelik van die swartmossel *Choromytilus meridionalis* wat gedurende drie seisoene in 2000 by Muizenberg, Kleinmond en Rooiels in Valsbaai gemeet is.

Seisoen	Kadmium <sup>†</sup>		Nikkel		Lood		Koper		Sink	
	Sagte	Skulp	Sagte	Skulp	Sagte	Skulp	Sagte	Skulp	Sagte	Skulp
Winter (Julie 2000)	2.57	7.35	5.51	4.13	9.27	9.45	4.09 <sup>a</sup>	1.02 <sup>b</sup>	154.95 <sup>a</sup>	78.25 <sup>b</sup>
Lente (Sept.)	2.78	2.81	1.46	1.92	6.48	2.45	0.92	0.74	82.78 <sup>a</sup>	64.25 <sup>b</sup>
Somer (Des.)	3.95	0.93	3.25 <sup>a</sup>	NM <sup>b</sup>	6.63 <sup>a</sup>	3.94 <sup>b</sup>	0.12	0.36	100.0 <sup>a</sup>	55.35 <sup>b</sup>

Boskryfte a en b dui statisties betekenisvolle verskille aan ( $p < 0.05$ ) tussen sagte weefsel en skulp. NM, nie meetbaar.



aan 'n belangrike maatstaf vir die keuse van geskikte biomoniteerders (Barbaro *et al.* 1978). Die resultate van die huidige studie toon egter dat die gemiddelde van die totale ligaamsladings (skulp en sagte weefsel) van die swartmossels gedurende alle seisoene hoër was as dié van die mosselkrewels en dat hulle waarskynlik sterker akkumuleerders van metale is. Daar kan egter dalk ook ander verklarings vir die verskille wees. Hoewel die twee spesies skynbaar op die oog af baie soortgelyke voedingswyse vertoon, is daar ook opvallende verskille waarneembaar. Dit is bekend dat mosselkrewels, soos *T. serrata*, ook Copepoda en Isopoda uit die omringende water vang en nie slegs voedseldeeltjies nie. Hulle kan dus ook as predatories geklassifiseer word en nie net as filtervoeders nie. Die sessiele mosselkrewels word ook hoër op rotskuste in die boonste balanoïedsone gevind, terwyl die swartmossels in die laer balanoïedsone voorkom. Die teenwoordigheid van die mosselkrewels op die hoër stratifikasievlak van die tussengetygebied (Branch *et al.* 2005; Day 1969) beteken dat die diere in die getsyklus vir korter tye as die laagliggende mossels aan besoedelende stowwe in die omringende water blootgestel word. Die mosselkrewels ervaar ook sterk branderaanslae en is vir langer periodes aan droogte blootgestel wanneer die gety laag is. Gevolglik sal die beskikbaarheid van voedsel tussen die twee spesies ook verskil en daarmee saam die opname van metale uit die omgewing. Daarbenewens kan die mosselkrewels die skulpopening deur middel van 'n skutum dig sluit sodat langdurige blootstelling aan stowwe of verlies van vog verder beperk kan word. Al hierdie faktore, asook die verskynsel van ekdise by *T. serrata*, kan moontlik bydra om die verskil in die konsentrasie of ophoping van metale tussen die twee spesies te verklaar. Swaarmetale wat in die eksoskelet van die mosselkrewel opgehoop het, kan van tyd tot tyd deur 'verveling' of ekdise verwyder word, wat nie die geval is by die swartmossels nie.

Verskille in die blootstellingswyses kan vanweë habitatsverskille, gedragsverskille en voedingswyses minstens gedeeltelik verklaar waarom die ligaamsladings van die twee spesies verskil het. Burger *et al.* (2003) meen dat verskille in die trofiese vlakke van spesies verklarings kan bied vir die groot variasie wat gevind is tussen spesies met verskillende lewenswyses, habitate en ekologiese nisse. Die verskil in voedingsritmes van mosselkrewels, wat met die getyritmes gesinchroniseer is, asook die benutting van verskillende voedselbronne uit die water en hulle gedragsresponse ten opsigte van veranderinge in osmotiese stres, predasie en golfaksie kan dalk beteken dat hulle by tye minder blootgestel is aan besoedelende stowwe, maar ook aan voedselbronne as die swartmossels wat vir langer periodes in die water ondergedompel is. Kraemer, Evans en Dillon (2013) het bevind dat die zebromossel, wat aan die basis van die voedselketting is, hoofsaaklik opgeloste organiese koolstof as voedselbron benut. Hulle bevind dat die konsentrasie daarvan, asook variasie in die dieet en die seisoenale uitputting van energiereserwes, belangrike veranderlikes is wat akkumulering van sekere swaarmetale in die mossels kan beïnvloed. Seisoenale effekte en

veranderinge in die soutgehalte van die water is ook krities in biomonitoringsprogramme omdat dit metaalkonsentrasies kan beïnvloed (Mubiana *et al.* 2005; Wepener *et al.* 2008). Powell en White (1990) en Blackmore (1999) is van oordeel dat 'n afname in soutgehalte met 'n verhoogde opname van metale gepaardgaan. Hoewel ons nie ontledings gedoen het om so 'n korrelasie te bevestig nie, was die aanduidings wel daar dat in die winter, wanneer die reënval in die gebied altyd hoër as in die somer is, en dit tot verlaging van soutgehalte en pH kon lei, die metaalinhoude in die diere hoër was, soos ook aangedui wat Cd betref deur Reinecke *et al.* (2012). Ook Hops (1990) het bevind dat soutgehalte die akkumulering van metale in tussengetydiere sterk beïnvloed.

Die bevinding dat die metaalinhoude van beide spesies oor die algemeen in die somer laer was as in die winter kan die resultaat wees van 'n kompleksiteit van seisoengekoppelde omgewings- en biologiese faktore wat biobeskikbaarheid en opname affekteer. Hierdie studie het na seisoenale effekte in die algemeen gekyk, en daar is nie gepoog om die komplekse rol van omgewingsfaktore soos temperatuur, reënval, seestrome, saliniteit en pH te ontleed nie. Dat dié faktore egter belangrik is, blyk onder andere uit die bevindinge van Branch (1974) dat veranderinge in temperatuur kuit skiet by baie weekdiere aan die gang sit en by mossels kan dit die metaalinhoude beïnvloed. Paez-Osuna, Frias-Espéricueta en Osuna-Lopez (1995) het aangetoon dat metale soos Zn die ontwikkeling van gonades en die akkumulering van spoormetale kan beïnvloed en Regoli (1998) meen dat kuit skiet en gonade-ontwikkeling met ophoping van metale gepaard gaan. Bodin *et al.* (2013) noem ook 'n verskeidenheid faktore wat metaalladings in die diere kan beïnvloed, onder andere liggaamsgrootte, geslagsrypheid en trofiese posisie.

Die biobeskikbaarheid van metale vir opname deur mariene diere word ook deur die chemiese vorm daarvan beïnvloed sowel as deur fisies-chemiese faktore wat die kwesbaarheid van invertebrate en amfibiese larwe verhoog (Bervoets & Blust 2000; Leuven *et al.* 1986). Dit kan wees dat hierdie faktore meestal identies was vir beide mossels en mosselkrewels omdat hulle makrohabitate baie eenders is. Dan is die verskille in metaalophoping tussen die twee spesies eerder te wyte aan verskille in voedingsgedrag, voedselvoorkeure en voortplantingsstatus.

Die seisoenale verandering in windrigtings in Valsbaai vanaf suidoostelik na noordwestelik gedurende somer en winter onderskeidelik (Darracott & Watling 1975), tesame met die fluktuasie in reënval, kan tot 'n sekere mate verantwoordelik wees vir seisoenale veranderinge in metaalkonsentrasies in die kuswater en gevolglik ook in die tussengetydiere. Gedurende die winterreënseisoen kan verhoogde vloei van riviere en stormwatervloei deur pypleidinge volgens Neal *et al.* (2000) aanleiding gee tot die mobilisering van metale vanaf diffuse bronne. Dit kan sekerlik die verhoogde metaalinhoude van sedimente gedurende wintermaande verklaar (Tabel 3). Mariene ongewerweldes inkorporeer ook metale in hulle



kalkagtige skulpe (Chinchon *et al.* 2000) deurdat kalsium in die kristallyne struktuur verplaas word. Die huidige studie het getoon dat ondanks die groot variasie, swartmossels oorwegend, waar statisties betekenisvolle verskille aangetoon kon word, minder metale in die skulpe as in die sagte weefsel neergelê het (Tabel 4). Nogtans het met verloop van tyd 'n aansienlike hoeveelheid metale wel in die skulp beland, wat die langtermynsituasie in die kuswaters kan weerspieël omdat dit sterker geïmmobiliseer kan word as in die sagte weefsel.

Meervoudige regressie-analise het 'n sterk korrelasie aangetoon tussen die totale liggaamslading (skulp en sagte weefsel) en die totale omgewingskonsentrasie (water en sediment) vir die meeste seisoene, wat daarop dui dat die mossel *C. meridionalis* bruikbaar kan wees as aktiewe eerder as passiewe biomonteerder (Besse *et al.* 2012). Hierdie twee moniteringstegnieke is nog nie gesamentlik in Suid-Afrikaanse kuswaters toegepas nie.

Sels 'n kursoriese vergelyking tussen die metaalkonsentrasies in die water en sediment andersyds, en die konsentrasies in die liggame van die mossels en mosselkrewels andersyds, bied genoegsame getuieis dat die diere sommige metale kan ophoop tot vlakke wat moontlik 'n toksiese bedreiging kan inhou vir die tussengedydiere en hulle predatore. Die mariene kusegebied is besonder kompleks weens die baie veranderlikes wat in wisselwerking met mekaar optree. Indien dit algemeen waar is dat komplekse stelsels neig om minder stabiel te wees as eenvoudige stelsels (McGregor 2014) kan 'n totaal onverwagte gebeurtenis verreikende gevolge inhou vir die biota wat daarin leef. Verandering in enige faktor wat byvoorbeeld die mobiliteit van metale in die sediment sou verhoog, sal nadelige gevolge meebring.

## Slot

Bewys van die nadelige uitwerking van metale op ongewerwede diere is reeds gedokumenteer vir die besoedelde Scheldt-estuarium in Europa (De Wolf, Backeljau & Blust 2000, 2005; Wepener *et al.* 2008). Daarom behoort besoedelingsvlakke in Valsbaai ook biologies gemoniteer te word om inligting te verskaf vir volhoubare bestuur van die kusegebiede, veral in die lig van die baai se benutting vir rekreasie en die visbedryf. Die mosselkrewel en die swartmossel verteenwoordig effens verskillende ekologiese mikrohabitate aan die kuslyn, en beide kan gebruik word om potensieel gevaarlike situasies, wat met die prioriteitsmetale geassosieer kan word, betyds te identifiseer sodat voorkomend opgetree kan word deur metaalinsette in Valsbaai te beperk. Ten slotte toon die studie dat die konsep van biomonitoring meriete het soos reeds in verskeie ander wêrelddele aangetoon is omdat dit langtermyn tendense uitwys, maar dit bied geen absolute maatstaf van oombliklike, wisselende besoedelingvlakke nie, soos uit die huidige studie blyk. Dit moet eerder as bykomende bestuurshulpmiddel beoordeel word (Goble *et al.* 2014). Die beskerming van die grootliks ongeskonde biodiversiteit van die tussengedygebied

van Valsbaai kan baat by die totstandkoming van 'n nasionale mariene program (Wepener & Degger 2012) vir die monitering van besoedeling.

## Erkenning

Die studie is moontlik gemaak deur toekennings van die Nasionale Navorsingstigting (NRF) en die Universiteit van Stellenbosch. Enige menings en gevolgtrekkings of aanbevelings wat uitgespreek word, is dié van die outeurs.

## Mededingende belange

Die outeurs verklaar hiermee dat hulle geen finansiële of persoonlike verbintenis het met enige party wat hulle nadelig of voordelig kon beïnvloed het in die skryf van hierdie artikel nie.

## Outeursbydrae

Al drie outeurs was verantwoordelik vir die insameling van die gegewens. N.P.M. (Universiteit van Stellenbosch) het die chemiese analises gedoen. A.J.R. (Universiteit van Stellenbosch) het die manuskrip geskryf en geredigeer. S.A.R. (Universiteit van Stellenbosch) het die gegewens statisties ontleed. Al drie outeurs het die literatuurstudie onderneem en die gegewens geïnterpreteer.

## Literatuurverwysings

- Barbaro, A., Franelson, A., Polo, B. & Billo, M., 1978, 'Balanus amphitrite (Cirripedia: Thoracica) – a potential indicator of fluoride, copper, lead, chromium and mercury in North Adriatic lagoons', *Marine Biology* 46, 247–257. <http://dx.doi.org/10.1007/BF00390686>
- Bervoets, L. & Blust, R., 2000, 'Effects of pH on Cd and zinc uptake by the midge larvae *Chironomus riparius*', *Aquatic Toxicology* 49, 145–157. [http://dx.doi.org/10.1016/S0166-445X\(99\)00066-1](http://dx.doi.org/10.1016/S0166-445X(99)00066-1)
- Besse, J.-P., Geffard, O. & Coquery, M., 2012, 'Relevance and applicability of active biomonitoring in continental waters under the Water Framework Directive', *Trends in Analytical Chemistry* 36, 113–127. <http://dx.doi.org/10.1016/j.trac.2012.04.004>
- Beyer, W.N., Heinz G.H. & Redmon-Norwood, A.W., 1996, *Environmental contaminants in wildlife: Interpreting tissue concentrations*, CRC Publishers, Boca Raton, Florida.
- Blackmore, G., 1999, 'Temporal and spatial biomonitoring of heavy metals in Hong Kong coastal waters using *Tetraclita squamosa*', *Environmental Pollution* 106, 357–372. [http://dx.doi.org/10.1016/S0269-7491\(99\)00116-5](http://dx.doi.org/10.1016/S0269-7491(99)00116-5)
- Bodin, N., Gom-Kar, R., Ka, S., Thiaw, O.T., Tito de Morais, L., Le Loc'h, F. *et al.*, 2013, 'Assessment of trace metals contamination in mangrove ecosystems from Senegal, West Africa', *Chemosphere* 90, 150–157. <http://dx.doi.org/10.1016/j.chemosphere.2012.06.019>
- Branch, G.M., 1974, 'The ecology of *Patella linnaeus* from the Cape Peninsula, South Africa. 2. Reproductive cycles', *Transactions of the Royal Society of South Africa* 41, 111–160. <http://dx.doi.org/10.1080/00359197409520068>
- Branch, G.M., Branch, M.L., Griffiths, C.L. & Beckley, L.E., 2005, *Two Oceans: A guide to the marine life of Southern Africa*, Struik, Cape Town.
- Burger, S., Diaz-barriga, F., Marafanta, E., Pounds, J. & Robson, M., 2003, 'Methodologies to examine the importance of host factors in bioavailability of metals', *Ecotoxicology and Environmental Safety* 56, 20–31. [http://dx.doi.org/10.1016/S0147-6513\(03\)00047-2](http://dx.doi.org/10.1016/S0147-6513(03)00047-2)
- Cattani, O., Fabri, D., Salvati, M., Trombini, C. & Vassura, I., 1999, 'Biomonitoring of mercury pollution in a wetland near Ravenna, Italy by translocated bivalves', *Environmental Toxicology and Chemistry* 18, 1801–1805. <http://dx.doi.org/10.1002/etc.5620180828>
- Celliers, L., Breetzke, T., Moore, L. & Malan, D., 2009, 'A user-friendly guide to South Africa's coastal management act', Department of Environmental Affairs and SSI Engineers and Environmental Consultants, Cape Town.
- Chinchon, S., Auernheimer, C., Alastuey, A. & Gali, S., 2000, 'Accumulation of lead and zinc in sea urchin plates and spines related to their different crystalline structure', *Marine Pollution Bulletin* 40, 647–649. [http://dx.doi.org/10.1016/S0025-326X\(00\)00018-7](http://dx.doi.org/10.1016/S0025-326X(00)00018-7)
- Darracott, A. & Watling, H., 1975, 'The use of molluscs to monitor Cd levels in estuaries and coastal marine environments', *Transactions of the Royal Society of South Africa* 41, 325–338. <http://dx.doi.org/10.1080/00359197509519447>
- Day, J.H., 1969, *Marine Life on South African Shores*, Balkema, Cape Town.





- De Kock, W.C. & Kramer, K.J.M., 1994, 'Active biomonitoring (ABM) by translocation of bivalve molluscs', in K.J.M. Kramer (ed.) *Biomonitoring of coastal waters and estuaries*, pp. 51–84, CRC Press, Boca Raton.
- Department of Environmental Affairs and Tourism (DEAT), 1985, Annual Report 53, *Marine development*, Department of Environmental Affairs and Tourism, Cape Town.
- De Wolf, H., Bäckeljau, T. & Blust R., 2000, 'Heavy metal accumulation in the periwinkle *Littorina littorea* along a pollution gradient in the Scheldt Estuary', *Science of the Total Environment* 262, 111–121. [http://dx.doi.org/10.1016/S0048-9697\(00\)00601-X](http://dx.doi.org/10.1016/S0048-9697(00)00601-X)
- De Wolf, H., Van den Broeck, H., Qadah, D., Bäckeljau, T. & Blust, R., 2005, 'Temporal trends in soft tissue metal levels in the periwinkle *Littorina littorea* along the Scheldt Estuary (The Netherlands)', *Marine Pollution Bulletin* 50, 479–484. <http://dx.doi.org/10.1016/j.marpolbul.2005.01.020>
- Fatoki, O.S. & Mathabahta, S., 2001, 'An assessment of heavy metal pollution in the East London and Port Elizabeth harbours', *Water SA* 27, 233–240.
- Goble, B.J., Lewis, M., Hill, T.R. & Phillips, M.R., 2014, 'Coastal management in South Africa: Historical perspectives and setting the stage for a new era', *Ocean & Coastal Management* 91, 32–40. <http://dx.doi.org/10.1016/j.ocecoaman.2014.01.013>
- Goldberg, E.D., Koide, M., Hodge, V., Flegal, A. & Martin, J., 1983, 'US Mussel Watch: 1977–1978 results on trace metals and radionuclides', *Estuarine, Coastal and Shelf Science* 116, 69–93. [http://dx.doi.org/10.1016/0272-7714\(83\)90095-1](http://dx.doi.org/10.1016/0272-7714(83)90095-1)
- Greenfield, R., Wepener, V., Degger, N. & Brink, K., 2011, 'Richards Bay harbour: Metal exposure over the last 34 years', *Marine Pollution Bulletin* 62, 1926–1931. <http://dx.doi.org/10.1016/j.marpolbul.2011.04.026>
- Griffiths, C.L., Robinson, T.B., Lange, L. & Mead, A., 2010, 'Marine biodiversity in South Africa: An evaluation of current states of knowledge', *PLoS ONE* 5(8), e12008. <http://dx.doi.org/10.1371/journal.pone.0012008>
- Griffiths, C.L., Van Sittert, L., Best, P.B., Brown, A.C. & Clark, B.M., 2004, 'Human impacts on marine animal life in the Benguela – A historical overview', *Oceanography and Marine Biology – An Annual Review* 42, 303–392. <http://dx.doi.org/10.1201/9780203507810.ch8>
- Heineken, T.J.E., Bickerton, I.B. & Heydon, A.E.F., 1983, 'A summary of studies of the pollution input of rivers and estuaries entering False Bay', CSIR Report/ SEA 8031, Stellenbosch.
- Hops, J.M., 1990, 'Effect of industrial and domestic effluents on the settlement, growth, reproduction and mortality of the brown mussel *Perna perna* in the outlet of the Papenskuil River, Algoa Bay, South Africa', MSc. Dissertation, University of Port Elizabeth.
- Ireland, M.P., 1974, 'Variations in the zinc, copper, manganese and lead content of *Balanus balanoides* in Cardigan Bay, Wales', *Environmental Pollution* 7, 65–75. [http://dx.doi.org/10.1016/0013-9327\(74\)90007-X](http://dx.doi.org/10.1016/0013-9327(74)90007-X)
- Jabbar, A. & Davies, J.I., 1987, 'A simple and convenient biochemical method for sex identification in the marine mussel, *Mytilus edulis* L. *Journal of Experimental Marine Biology and Ecology* 107, 39–44. [http://dx.doi.org/10.1016/0022-0981\(87\)90121-3](http://dx.doi.org/10.1016/0022-0981(87)90121-3)
- Katz, S.A. & Jennis, S.W., 1983, *Regulatory compliance monitoring by atomic absorption spectroscopy*, Verlag Chemie international, Deerfield Beach, Florida.
- Kiffney, P.M. & Clements, W.M., 1993, 'Bioaccumulation of heavy metals by benthic invertebrates at the Arkansas River, Colorado', *Environmental Toxicology & Chemistry* 12, 1507–1517. <http://dx.doi.org/10.1002/etc.5620120818>
- Kraemer, L.D., Evans, D. & Dillon, P.J., 2013, 'Temporal and spatial variation in Hg accumulation in zebra mussels (*Dreissena polymorpha*): Possible influences of DOC and diet', *Ecotoxicology and Environmental Safety* 91, 71–78. <http://dx.doi.org/10.1016/j.ecoenv.2013.01.011>
- Lauenstein, G.G., Robertson, A. & O'Conner, T.P., 1990, 'Comparison of trace metal data in mussels and oysters from a mussel watch programme of the 1970s with those from a 1980s programme', *Marine Pollution Bulletin* 21, 440–447. [http://dx.doi.org/10.1016/0025-326X\(90\)90764-Y](http://dx.doi.org/10.1016/0025-326X(90)90764-Y)
- Leuven, R.S.E.W., Den Hartog, C., Christiaans, M.M.C. & Heijligers, W.H.C.I., 1986, 'Effects of water acidification on the distribution pattern and reproductive success of amphibians', *Experientia* 42, 495–503.
- Lobel, P.B., Mogie, P., Wright, D.A. & Wu B.L., 1982, 'Metal accumulation in four molluscs', *Marine Pollution Bulletin* 13, 170–174. [http://dx.doi.org/10.1016/0025-326X\(82\)90089-3](http://dx.doi.org/10.1016/0025-326X(82)90089-3)
- Maanan, M., 2007, 'Biomonitoring of heavy metals using *Mytilus galloprovincialis* in Safi coastal waters, Morocco', *Environmental Toxicology*, n.p.
- Maritz, N.J. & Swanepoel, J.J., 1998, 'Chemical analysis of dredged silt from Port Elizabeth harbour', Laboratory Building, Braamfontein, Johannesburg. Report No CL 41.
- McGregor, S., 2014, 'The stability conundrum', *Allan Gray Quarterly Commentary* 1, 3–4.
- Morillo, J. & Usero, J., 2008, 'Trace metal bioavailability in the waters of two different habitats in Spain: Huelva Estuary and Algerica Bay', *Ecotoxicology and Environmental Safety* 71, 851–859. <http://dx.doi.org/10.1016/j.ecoenv.2008.01.016>
- Mubiana, V.K., Qadah, D., Meys, J. & Blust, R., 2005, 'Temporal and spatial trends in heavy metal concentrations in the marine mussel *Mytilus edulis* from the Western Scheldt estuary (The Netherlands)', *Hydrobiologia* 540, 169–180. <http://dx.doi.org/10.1007/s10750-004-7134-7>
- Neal, C., Jarvie, H.P., Whitton, B.A. & Gemmill, J., 2000, 'The water quality of the River Wear, northeast England', *Science of the Total Environment* 251, 153–172. [http://dx.doi.org/10.1016/S0048-9697\(00\)00408-3](http://dx.doi.org/10.1016/S0048-9697(00)00408-3)
- Newman, B.K. & Watling, R.J., 2007, 'Definition of baseline metal concentrations for assessing metal enrichment of sediment from the southeastern Cape coastline of South Africa', *Water SA* 33, 675–691.
- Orren, M.J., Eagle, G.A., Hennig, H.F.-K. & Green, A., 1980, 'Variation in trace metal content of the mussel *Choromytilus meridionalis* (Kr.) with season and sex', *Marine Pollution Bulletin* 11, 253–257. [http://dx.doi.org/10.1016/0025-326X\(80\)90313-6](http://dx.doi.org/10.1016/0025-326X(80)90313-6)
- Paez-Osuna, F., Frias-Espéricueta, M.G. & Osuna-Lopez, I., 1995, 'Trace metal concentration in relation to season and gonadal maturation in the oyster *Crassostrea iridescens*', *Marine Environmental Research* 40, 19–31. [http://dx.doi.org/10.1016/0141-1136\(94\)00004-9](http://dx.doi.org/10.1016/0141-1136(94)00004-9)
- Palmer, B.J., 2008, 'A GIS assessment of coastal development and landuse change in the coastal zone of the Ndambe and Ngqushwa local municipalities, Eastern Cape, South Africa', MSc. Dissertation, Rhodes University, Grahamstown.
- Petes, L.E., Menge, B.A., Chan, F. & Webb, M.A.H., 2008, 'Gonadal tissue color is not a reliable indicator of sex in rocky intertidal mussels', *Aquatic Biology* 3, 63–70. <http://dx.doi.org/10.3354/ab00067>
- Powell, M.I. & White, K.N., 1990, 'Heavy metal accumulation by barnacles and its implication for their use as biological monitors', *Marine Environmental Research* 30, 91–118. [http://dx.doi.org/10.1016/0141-1136\(90\)90013-E](http://dx.doi.org/10.1016/0141-1136(90)90013-E)
- Rainbow, P.S., 1995, 'Biomonitoring of heavy metal availability in the marine environment', *Marine Pollution Bulletin* 31, 83–192. [http://dx.doi.org/10.1016/0025-326X\(95\)00116-5](http://dx.doi.org/10.1016/0025-326X(95)00116-5)
- Rainbow, P.S., 2002, 'Trace metal concentrations in aquatic invertebrates: Why and so what?', *Environmental Pollution* 120, 497–507. [http://dx.doi.org/10.1016/S0269-7491\(02\)00238-5](http://dx.doi.org/10.1016/S0269-7491(02)00238-5)
- Rainbow, P.S. & Blackmore, G., 2001, 'Barnacles as biomonitors of trace metal availabilities in Hong Kong coastal waters: changes in space and time', *Marine Environmental Research* 51, 441–463. [http://dx.doi.org/10.1016/S0141-1136\(00\)00254-3](http://dx.doi.org/10.1016/S0141-1136(00)00254-3)
- Rainbow, P.S., Wolowicz, M., Fialkowski, W., Smith, B.D. & Sokolowski, A., 2000, 'Biomonitoring of trace metals in the Gulf of Gdansk using mussels (*Mytilus trossulus*) and barnacles (*Balanus improvisus*)', *Water Research* 34, 1823–1829. [http://dx.doi.org/10.1016/S0043-1354\(99\)00345-0](http://dx.doi.org/10.1016/S0043-1354(99)00345-0)
- Regoli, F., 1998, 'Trace metals and antioxidant enzymes in gills and digestive gland of the Mediterranean mussel *Mytilus galloprovincialis*', *Archives of Environmental Contamination and Toxicology* 34, 48–63. <http://dx.doi.org/10.1007/s002449900285>
- Reinecke, A.J. & Reinecke, S.A., 2013, 'Is metal pollution a threat to the continued survival of the starfish in False Bay, South Africa?', *Tydskrif vir Natuurwetenskap en Tegnologie* 32, 108–118.
- Reinecke, A.J., Mdzeke, N. & Reinecke, S.A., 2009, 'Cadmium in False Bay: Uptake, distribution and excretion by the marine snail, *Oxysteles tigrina* (Mollusca)', *Suid-Afrikaanse Tydskrif vir Natuurwetenskap en Tegnologie* 28, 1–118.
- Reinecke, A.J., Reinecke, S.A. & Mdzeke, N.P., 2012, 'Spatial and temporal variation in cadmium body loads of four intertidal invertebrates from False Bay, South Africa', *African Zoology* 47, 12–25. <http://dx.doi.org/10.3377/004.047.0121>
- Reis, P.A., Salgado, M.A. & Vasconcelos, V., 2011, 'Barnacles as biomonitors of metal contamination in coastal waters', *Estuarine, Coastal and Shelf Science* 93, 269–278. <http://dx.doi.org/10.1016/j.ecss.2010.12.022>
- Ruelas-Inzunza, J. & Paez-Osuna, F., 1998, 'Barnacles as biomonitors of heavy metal pollution in the coastal waters of Mazatlan Harbor (Mexico)', *Bulletin of Environmental Contamination & Toxicology* 61, 608–615. <http://dx.doi.org/10.1007/s001289900804>
- Schulz-Baldes, M., 1974, 'Lead uptake from seawater and food and lead loss in the common mussel, *Mytilus edulis*', *Marine Biology* 25, 177–193. <http://dx.doi.org/10.1007/BF00394964>
- Simonetti, P. & Marcovecchio, J.E., 2013, 'Burrowing crab (*Neohelice granulata*) as a potential bio-indicator of heavy metals in the Bahía Blanca estuary, Argentina', *Archives of Environmental Contamination and Toxicology* 64, 110–118. <http://dx.doi.org/10.1007/s00244-012-9804-1>
- Taljaard, S., Van Ballengooyen, R. & Morant, P.D., 2000, 'False Bay Water Quality Review', CSIR Report Env-S-C-2000-086/1, Stellenbosch.
- Van der Merwe, J.J., Vlok, A.C. & Van der Merwe, J.H., 1991, 'Land use and population characteristics in the False Bay coastal frame', *Transactions of the Royal Society of South Africa* 47, 693–702.
- Vermeulen, L. & Wepener, V., 1999, 'Spatial and temporal variations of metals in Richards Bay harbour, South Africa', *Marine Pollution Bulletin* 39, 304–307. [http://dx.doi.org/10.1016/S0025-326X\(99\)00083-1](http://dx.doi.org/10.1016/S0025-326X(99)00083-1)
- Wang, W.-X. & Rainbow, P.S., 2005, 'Influence of metal exposure history on trace metal uptake and accumulation by marine invertebrates', *Ecotoxicology and Environmental Safety* 61, 145–159. <http://dx.doi.org/10.1016/j.ecoenv.2005.01.008>
- Watling, H.R. & Watling, R.J., 1976, 'Trace metals in *Choromytilus meridionalis*', *Marine Pollution Bulletin* 7, 91–94. [http://dx.doi.org/10.1016/0025-326X\(76\)90149-1](http://dx.doi.org/10.1016/0025-326X(76)90149-1)
- Wepener, V., Bervoets, L., Mubiana, V. & Blust, R., 2008, 'Metal exposure and biological responses in resident and transplanted blue mussels (*Mytilus edulis*) from the Scheldt estuary', *Marine Pollution Bulletin* 57, 624–631. <http://dx.doi.org/10.1016/j.marpolbul.2008.03.030>
- Wepener, V. & Degger, N., 2012, 'Status of marine pollution research in South Africa (1960-present)', *Marine Pollution Bulletin* 64, 1508–1512. <http://dx.doi.org/10.1016/j.marpolbul.2012.05.037>
- Zaldivar, J.M., Marinove, D., Dueri, S., Castro-Jimenez, J., Micheletti, C. & Worth, A.P., 2011, 'An integrated approach for bio-accumulation assessment in mussels: Towards the development of environmental quality standards for biota', *Ecotoxicology and Environmental Safety* 74, 244–252. <http://dx.doi.org/10.1016/j.ecoenv.2010.10.025>
- Zhang, W., Fen, H., Chang, J., Qu, J., Xie, H. & Yu, L., 2005, 'Heavy metal contamination in surface sediments of Yangtze River intertidal zone: An assessment from different indexes', *Environmental Pollution* 157, 1533–1543. <http://dx.doi.org/10.1016/j.envpol.2009.01.007>