

Overdruk uit het
13^{de} *Biologisch Jaarboek, Dodonaea*, 1946, blz. 200 tot 209.

**DE STATISTISCHE WAARDE VAN DE METHODE
VAN PETERSEN VOOR HET QUANTITATIEF ONDERZOEK
DER BODEMFAUNA,**

DOOR

M. J. HEUTS, Dr. S.

Aangesteld Navorscher bij het Nationaal Fonds
voor Wetenschappelijk Onderzoek

Vlaams Instituut voor de Zee
Flanders Marine Institute

Als een van de eerste zoögeographische methodes die de biologische associaties van een zoo moeilijk te bereiken biotoop als deze van de bodem van zeeën en meren tachtte quantitatief weer te geven, verdient de methode van PETERSEN de volle aandacht.

Ontstaan en toegepast op groote schaal in de Deense fjorden en de Baltische Zee, op een tijdstip waarin de theorie der statistiek en haar toepassingen op faunistisch gebied nog niet in biologische kringen waren doorgedrongen, werden de bekomen resultaten nog niet van uit dit standpunt nader onderzocht. Men kan zich afvragen in hoeverre deze laatste eenige statistische waarde hebben of m.a.w. men kan trachten na te gaan welke de waarschijnlijkheid is dat het quantitatief beeld van het dierlijk leven op den zeebodem, verkregen met de methode van PETERSEN met de werkelijkheid overeenstemt, en dit aan de hand van de theorie van de statistiek. Het is onze bedoeling in deze bijdrage hierop een antwoord te geven in genoemden zin.

Oorspronkelijk bedoeld als methode om de hoeveelheid voorradig vischvoedsel in een gegeven gebied te bepalen, werd de methode het eerst in de Baltische Zee in de jaren 1908 en 1910, door C. G. J. PETERSEN, toegepast. Zij bestaat hierin: met een zgn. « bodemhapper » een gedeelte van den weeken zeebodem uit te graven en de daarin gevangen dieren uit te ziften. De bodemhapper bestaat uit twee ten opzichte van elkaar beweegbare helften, die mits een voldoende massa, op den bodem tegen elkaar toeklappen, daarbij in den bodem dringen en aldus een gedeelte van de bodemlaag uitgraven, met een

oppervlakte van 0,1 m² tot 1 m², naargelang de grootte van den happer. Deze wordt gekozen in de verhouding tot de afmetingen der voorkomende soorten. De bewerking wordt een zeker aantal malen herhaald en uit de bekomen uitslagen wordt een beeld afgeleid van de kwalitatieve en kwantitatieve samenstelling van de bodemfauna in de onderzochte gebieden.

Het bijzonderste resultaat dat met behulp van deze methode verkregen werd, is dat de zeebodem in relatief groote gebieden kan worden verdeeld, die ieder gekarakteriseerd zijn door bepaalde dierenassociaties, waarin een of meer soorten door hun voorkomen in hogere verhoudingen, karakteristiek zijn. Deze toestand is dus best te vergelijken met de plantenassociaties, bosch, weide, heide, enz. op het land.

Een groot gedeelte van den bodem der Baltische Zee is aldus door de *Macoma*-associatie bewoond, waarin *Macoma baltica* het karakteristieke dier is, vergezeld door *Arenicola marina*, *Mya arenaria* e.a. De bodem der diepe geul ten Zuiden van Noorwegen is daarentegen betrokken door de *Amphilepsis-Pecten* associatie, waarin *Amphilepsis norvegica* en *Pecten vitreus* overwegend zijn. Naast deze dieren zouden er dan ook weer een reeks andere soorten in welbepaalde geringe percentages genoemde karakterdieren vergezellen.

Van uit statistisch standpunt zijn er verschillende bezwaren tegenover de gebruikte werkwijze en de betrouwbaarheid der kwantitatieve resultaten aan te voeren.

Het is *a priori* duidelijk dat de juistheid dezer resultaten sterk afhangt van de hoeveelheid monsters die per eenheid van oppervlakte genomen werden, en van hun omvang. Het feit echter dat juiste mathematische gegevens hieromtrent, zoowel in de publicaties van PETERSEN zelf als in deze van zijn navolgers bijna geheel ontbreken, bewijst op zichzelf dat hieraan niet de noodige aandacht werd besteed. De afwezigheid van deze gegevens laat ons echter ook niet toe uit te maken welke van de bekomen resultaten onbetrouwbaar zijn, en welke andere niet. Wij zullen er ons dus toe beperken, met behulp van sommige gegevens de statistische minimumeischen te formuleeren, waaraan een onderzoek als dit moet voldoen, en aan de hand daarvan bepalen, welke graad van betrouwbaarheid eventueel aan de reeds bekomen resultaten kan worden gehecht.

Een eerste feit dat de aandacht verdient is het functionneeren van het gebruikte apparaat.

De massa uitgegraven bodem en daarmee de hoeveelheid gevangen dieren is natuurlijk afhankelijk van de hardheid van den bodem. Dit feit kan dus bepaalde kwantitatieve afwijkin-

gen veroorzaken tusschen de resultaten verkregen over uiteenlopende area's. Waarschijnlijk zal het echter geen fout tengevolge hebben voor de kwalitatieve verhoudingen in een zelfde associatie, vermits de verspreiding van deze ook o.m. door de aard van den bodem gedetermineerd is.

Men kan zich echter ook afvragen of de bodemhapper op een en dezelfde plaats steeds op dezelfde manier functionneert, en in hoeverre het aantal bovengehaalde dieren op deze plaats aan schommelingen onderhevig is.

H. BROCH (1926) wijdde aan deze vraag reeds zijn aandacht. Met een bodemhapper van 0,1 m², haalde hij op een plaats achtereenvolgens 11 monsters boven, waarbij kon aangenomen worden, dat dit niet tweemaal op juist het zelfde punt gebeurde. Voor de talrijkst voorkomende soorten waren de resultaten, zooals weergegeven in tabel I.

TABEL I.

Soorten	Opeenvolgende monsters										
	I	II	III	IV	V	VI	VII	VIII	IX	X	XI
<i>Scalibregma inflatum</i>	37	42	49	4	3	21	29	44	44	7	38
<i>Phyasira sarsii</i> . . .	6	5	2	2	3	1	0	6	1	5	3
<i>Macoma calcarea</i> . . .	3	9	6	8	5	3	7	1	2	8	5

H. BROCH beschouwt deze resultaten als te ver uiteenlopend om tot betrouwbare observaties aanleiding te geven, en maant derhalve tot groote voorzichtigheid aan.

Nochtans toont een kleine berekening aan dat de bekomen afwijkingen niet buiten de te verwachten normale schommelingen vallen. Inderdaad de standaardafwijking σ van het aantal gevangen individuen van *Scalibregma inflatum* bv. bedraagt 17,4. Het gemiddelde aantal boven gehaalde individuen per maal is, d.w.z. wanner de bekomen afwijkingen zich gedragen, alsof ze enkel aan het toeval onderworpen waren, zullen 68,5 % der bekomen frequenties rond het gemiddelde liggen met als bovenste grens $M + \sigma$ en als onderste grens $M - \sigma$.

In dit geval zijn deze grenzen zijn $23,63 \pm 17,4$ en $40,4 \pm 5,6$, doch nemen wij, daar we met geheele eenheden te doen hebben, 40 en 6. Tusschen deze grenzen liggen hier 7 observaties, terwijl het vereischte percentage 7,53 bedraagt. Het kleine verschil

kan gemakkelijk geweten worden aan het geringe aantal genomen monsters.

Voor de beide andere soorten bekomt men analoge getallen.

Men mag dus wel aannemen dat de gevonden afwijkingen enkel door toevallige factoren ontstaan zijn, b.v. door de toevallige verspreiding van de individuen op het beschouwde punt.

Nadat het dus blijkt dat er geen reden bestaat om te veronderstellen dat het verzamelen der monsters voor zoover het de gebruikte techniek betreft niet volkomen toevallig zou gebeuren, is het noodig na te gaan of de aldus bekomen monsters de karakteristieken bezitten die vereischt zijn opdat zij als verkleinde weergaven van een werkelijk bestaand iets zouden kunnen aanzien worden.

In het algemeen zijn de vereischten voor een dusdanig monster: ten eerste, dat het homogeen zij en ten tweede adequaat (SIMPSON & ROE).

Met het eerste karakteristiek: homogeniteit wordt bedoeld dat ieder monster moet behooren tot één enkele bepaalde populatie⁽¹⁾, tenminste wanneer het gegeven probleem is, uit de eigenschappen van een monster de eigenschappen van gansch de populatie af te leiden.

Het probleem dat ons hier bezighoudt is in feite veel ingewikkelder. Immers met de methode van PETERSEN heeft men trachten aan te toonen:

1. dat er over groote gebieden van den zeebodem een bepaalde heterogeniteit in de kwalitatieve en kwantitatieve eigenschappen der populaties bestaat, m.a.w. dat de dierenassociaties over uitgestrekte gebieden gezien, kwalitatief en kwantitatief verschillen, en

2. dat bepaalde gedeelten van die groote heterogene populatie op zichzelf genomen, dus iedere associatie, een homogene sub-populatie is, en dat niet alleen kwalitatief doch ook kwantitatief, d.w.z. dat zoowel de soortelijke samenstelling als de onderlinge verhoudingen in het aantal individuen, over deze sub-populatie homogeen zijn.

Het eerste punt is door de onderzoekingen met de methode

(1) In de biologische statistiek is het begrip populatie ruimer dan in de gewone zoologische beteekenis. Het heeft betrekking zoowel op natuurlijke eenheden van dierengemeenschappen (niet noodzakelijk van één soort) als figuurlijk op alle bestaande fenomenen, wanneer er een klein aantal in observaties weergegeven zijn.

van PETERSEN voldoende aangetoond en de verschillen tusschen de associaties in de onderzochte area's zijn zoo duidelijk dat het overbodig is, de graad van waarschijnlijkheid van deze heterogeniteit te berekenen.

Voor zoover wij konden nagaan heeft zich echter geen der betrokken onderzoekers bezig gehouden met de vraag naar het werkelijk bestaan der eenigszins vooropgestelde quantitative homogeniteit in de onderscheiden associaties. Uit de karige gegevens in getallen die ter beschikking staan blijkt overigens de onderscheiden area's met een zekere waarschijnlijk *niet* als dusdanig kunnen beschouwd worden.

Een voorbeeld uit H. BLEGVAD, moge dit duidelijk maken. Een zeer goed onderzochte Deensche fjord, de Limfjord nl. wordt bewoond door een associatie waarin vooral *Pectinaria koreni* en *Ophiura texturata* in grooten getale optreden. Op een gebied, dat een oppervlakte van 65.000.000 m² beslaat, werden 100 monsters genomen met een bodemhapper van 0,1 m².

Om uit de genomen monsters, afgezien van het feit dat ze zoo gering in aantal zijn (10 m² onderzocht op de 65.000.000), het besluit te mogen trekken, dat deze fjord door een bodem-associatie wordt bewoond met bepaalde kwalitatieve en quantitative kenmerken, moet de zeer geringe waarschijnlijkheid van het bestaan van heterogeniteit in de populatie aangetoond worden, aan de hand van de genomen monsters. Homogeniteit is op zichzelf niet rechtstreeks aan te toonen. Het is nu duidelijk bij nader toezicht dat voor de bovengenoemde soorten reeds, de verspreiding over het onderzochte gebied niet homogeen is. Voor de soort *Ophiura texturata* geven wij in tabel II de bij drie gegroepeerde aantallen individuen en daaronder, de frequentie waarmede deze aantallen voorkwamen.

TABEL II.

Aantal ind.	0-2	3-5	6-8	9-11	12-14	15-17	18-20	21-23	24-26	27 en meer
Frequenties	21	9	11	15	13	10	7	4	1	4

De standaardafwijking van deze frequentiedistributie is 7,73. Het gemiddelde aantal individuen $M = 10,26$.

Derhalve is $M \pm \sigma = 17,99$ en 2,53. Stellen wij veiligheidshalve 18 en 3. Hiertusschen bevinden zich slechts 65 van de 100 frequenties, terwijl dit bij een normale distributie 68,5 zou zijn.

De abnormaliteit van de verspreiding van aantallen der individuen der soort in het onderzochte gebied blijkt bovendien zeer duidelijk uit de tweetoppigheid der frequentiedistributies, waarvan er een gelegen is rond 11 en de andere bij 0. Bij verdere analyse, en het nagaan der resultaten zonder groepeer-
ing blijkt dit nog duidelijker (tabel III).

TABEL III.

Aantal individ.	0	1	2	3	4	5	6	7. enz.
Frequenties . .	11	5	5	2	3	4	4	7. enz.

De frequentiedistributiecurve blijkt aldus samengesteld te zijn uit een distributiecurve met een toppunt op 0 (een zgn. Poisson distributie) en een binomiale distributiecurve met een gemiddelde rond 12.

Hierdoor is aangetoond dat de monsters onderling heterogeen waren, m.a.w. dat de verspreiding der individuen zooals ze blijkt uit de monsters, over het onderzochte gebied niet toevallig is, doch, ofwel vleksgewijze in kolonies, ofwel dat er plaatsen in zijn waar de soort ontbreekt, en zoo mogelijk de onderzochte area's in subarea's moet onderverdeeld worden. Dit beteekent dat de op deze gegevens gebaseerde bodemkaart niet representatief zijn voor de onderzochte zone, doch minstens door twee andere middelwaarden dient vervangen te worden.

Voor de soort *Pectinaria koreni* bekomt men analoge resultaten.

In geen enkel der beschrijvingen van het onderzoek van de bodemfauna volgens PETERSEN werden homogeniteitstesten uitgevoerd, en de aangegeven middenwaarden van het voorkomen van een zelfs sterk vertegenwoordigde soort in een bepaalde gebied kunnen dientengevolge als juist beschouwd worden.

Een verdere vereischte is dat de genomen monsters adequaat zijn, d.w.z. dat zij alle essentiele variaties, die in de populatie voorkomen, bevatten en dit met ongeveer dezelfde frequenties.

A priori is niet uit te maken hoe groot in het algemeen een monster moet zijn. Voor ieder bepaald probleem verschilt het en hangt af van de pretenties van het onderzoek. Essentieel

immers zijn slechts die variaties waarover een bepaald onderzoek juiste inlichtingen wil verschaffen.

In feite is de omvang en het aantal monsters door de materiele mogelijkheden bepaald, en de eenig verantwoorde werkwijze is, uit die gegeven observaties conclusies af te leiden, mits inachtneming van de limitaties, die de omvang der monsters oplegt.

Voor wat betreft het probleem dat ons hier bezighoudt, is het nu ook onmogelijk op voorhand bepaalde eischen te stellen op gebied van omvang en aantal der monsters. Wij weten niet welke variaties in de populaties aanwezig zijn en met welke frequenties ze er in voorkomen.

Er bestaat echter een bepaald aantal observaties in de vorm van monsters, en de vraag is, welke conclusies er mogen uit afgeleid worden, zoodat het beeld wat wij ons met behulp van de monsters vormen met een bepaalde waarschijnlijkheid een gelijkenis met de werkelijkheid vertoont.

Men tracht nu met de methode van PETERSEN, niet enkel de kwalitatieve, doch ook een kwantitatieve weergave van de populatiesamenstellingen te bekomen, en in dat laatste liggen juist haar speciale pretenties.

In hoeverre kan ze ons deze kwantitatieve inlichtingen geven? Het antwoord op deze vraag kunnen wij bekomen met behulp van de theorie der « sampling limits ». Passen wij deze toe op het onder oogen genomen probleem. Wanneer het aantal individuen van een bepaalde diersoort 30 % in een populatie uitmaakt, en men monsters neemt van deze populatie, dan is de kans van het voorkomen van individuen van deze soort in een monster 0,3 en van zijn afwezigheid 0,7. Op een monster van 10 exemplaren zullen wij 3 exemplaren hebben van de bestaande soort en 7 andere dieren. Doch in feite zal het gevonden aantal individuen dezer diersoort afhankelijk zijn van het toeval; eventueel zouden er ook b.v. 8 exemplaren in plaats van 3 in een monster aanwezig zijn. Het gevonden gemiddelde aantal individuen der soort zal na een groot aantal metingen echter 3 bedragen. De frequenties van het voorkomen der verschillende aantallen individuen van de soort zullen dan samen een normale distributiecurve vormen.

De standaardafwijking voor deze distributie zal zijn :

$$\sigma = \sqrt{N \times p \times q}$$

waarin

N : de totale frequentie van het monster (10 in het voorgaande voorbeeld);

p : de waarschijnlijkheid waarmee een individu van de beschouwde soort in een monster aanwezig is (0,3);

q : de waarschijnlijkheid, dat het afwezig is (0,7).

Hier hebben we dan

$$\sigma = \sqrt{10 \times 0,3 \times 0,7} = \sqrt{2,1} = 1,45.$$

Met behulp van deze gegevens kunnen wij nu berekenen, welke het kleinste en grootste aantal individuen in de beschouwde soort is, dat in een monster van een bepaalden omvang te verwachten is.

De studie van de normale curve toont aan, dat deze aantallen steeds liggen tusschen de waarden $M - 3\sigma$ en $M + 3\sigma$. Hier is $M - 3\sigma$ kleiner dan 0, en dus is de laagste grens 0. $M + 3\sigma = 7,35$. In feite komen hier slechts geheele getallen voor. Stellen wij dus veiligheidshalve de hoogste grens op 8. Deze getallen 0 en 8 zijn « sampling limits » voor $N=10$ en $p=0,3$.

Op dezelfde wijze kunnen deze berekeningen uitgevoerd worden voor ieder percentage van voorkomen van een bepaalde soort in een populatie waarbij de laagste grens van voorkomen in een monster $= Np - 3\sqrt{Npq}$ en de hoogste grens $= Np + 3\sqrt{Npq}$.

Het aantal dieren door den bodemhapper in eenmaal bovengehaald schommelt sterk (van 10 tot 30), doch bedraagt gemiddeld een twintigtal dieren.

Voor $N=20$ bedragen de « sampling limits » voor iedere soort :

Werkelijk percentage aanwezig in de populatie								
10%	20%	30%	40%	50%	60%	70%	80%	90%
0-6	0-9	0-12	1-15	3-17	5-19	6-20	10-20	14-20

Wanneer dus 8 exemplaren van een bepaalde soort in het monster aanwezig waren, kan deze in werkelijkheid van 20 % tot 70 % in de populatie aanwezig zijn. Uit één monster zijn dus geen gegevens af te leiden met eenige juistheid.

Wanneer echter verschillende monsters in een bepaald gebied *aan de vereischten van homogeniteit voldoen*, kunnen zij tot een groot monster vereenigd worden.

Nemen wij aan dat de monsters voor de verschillende area's in de onderzoekingen van PETERSEN homogeen waren, wat een valsche veronderstelling is zooals hooger gezien, en zien we welke inlichtingen zij ons in dat geval zouden kunnen verschaffen. Volgens de gegevens zou het aantal monsters voor een bepaalde en verondersteld homogene area in de meeste gevallen 5 à 10 bedragen. Dit brengt ons op een totaal monster varieerend in omvang tusschen 50 en 200 en in zeldzame gevallen tot 500 exemplaren. (Zie hooger aangehaald voorbeeld).

TABEL IV.

Omvang van Monsters	Percentage van voorkomen van een soort								
	10%	20%	30%	40%	50%	60%	70%	80%	90%
N									
50	0-12	1-19	5-25	9-31	14-36	19-41	25-45	31-49	38-50
75	0-16	4-26	10-35	17-43	24-51	32-58	40-65	49-71	60-75
100	1-19	8-32	16-44	25-55	35-65	45-75	56-84	68-92	81-99
200	6-34	23-57	40-80	59-101	79-121	99-141	120-160	143-187	167-193

De tabel der «sampling limits» voor de genoemde waarden van N licht ons in omtrent de statistische waarde der aldus bekomen resultaten.

Een soort die sterk vertegenwoordigd is in de populatie b.v. 50 % kan in een zoodanig aantal in een monster van 100 exemplaren optreden (b.v. 20 ex.) dat ze maar 25 % van dat monster uitmaakt.

Immers de onderste «sampling limit» is in dit geval 24. De gemaakte fout kan in dit geval dus 50 % bedragen. Men kan verder zelf nagaan dat bij het kwalitatief onderzoek van een minder talrijke soort de gemaakte fout gemakkelijk 200 % kan bedragen.

Bij N=200 bedraagt de mogelijke fout nog steeds 15 tot 40 %. Men kan verder berekenen dat enkel met een monster van 500 exemplaren en een practische zekerheid heeft binnen een foutengrens van 10 % te blijven. Voor talrijk voorkomende soorten kan dit voldoende worden geacht, doch bij een diersoort die slechts 10 % van de associatie uitmaakt, blijft dus de mogelijkheid bestaan aldus het werkelijke aantal twee maal te laag of te hoog te schatten.

Wij kunnen dus besluiten dat de methode van PETERSEN slechts mits bepaalde minimumvereisten kan gebruikt worden tot het bekomen van inlichtingen omtrent de quantitative verhoudingen in de samenstelling van de bodemfauna.

Deze voorwaarden zijn :

1. de homogeniteit van de kleine monsters die tot een groot area-monster vereenigd worden;

2. dat het totaal aantal individuen die dit gesummeerd monsters uitmaken minstens 500 bedraagt, wanneer de onderzochte soort in een hoog percentage aanwezig is. Voor soorten die in gering aantal aanwezig zijn, zou een zeer groot aantal monsters noodzakelijk zijn, om een betrouwbaar resultaat binnen redelijke foutengrenzen te verkrijgen.

In het overgroot deel van de onderzoekingen van PETERSEN en zijn navolgers, meenen wij dat genoemde voorwaarden niet vervuld zijn en de bekomen resultaten slechts met de grootste omzichtigheid als een quantitative weergave van een werkelijkheid mogen aanzien worden.

Wij danken van harte Prof. L. BOUCKAERT en Prof. H. KOCH voor hun geapprecieerde raadgevingen aangaande deze bijdrage.

Universiteit te Leuven.
Zoophysiological Laboratory.
(Dir. Prof. Dr. H. J. Koch.)

BIBLIOGRAPHIE.

- BLEGVAD, H., 1922. Animal Communities in the Southern North Sea (*Proc. Zool. Soc.*, Londen, 1922).
- 1933. Methoden der Untersuchungen der Bodemfauna des Meerwassers (*Handbuch biol. Arbeitsmeth.*, Abt. IX, Teil 5, 311).
- BROCH, H., 1933. Methoden der marinen Biogeographie (*Ibidem*, 57).
- PETERSEN, C. G., 1911-1912. Valuation of the Sea (*Rep. Dan. Biol. Stat.*, 20 en 21).
- SIMPSON, G. C. & A. ROE, 1939. Quantitative Zoology, New-York.

