

Abschätzung der Biodiversität auf VIRTUE Platten

Leitfrage:

Welche Beobachtungen und Analysen können mit VIRTUE-Platten durchgeführt werden?

Wenn die VIRTUE-Platten aus dem Wasser geholt werden, was kann man dann damit im Klassenzimmer machen? Eine Möglichkeit besteht darin, eine *qualitative Analyse* der Biodiversität durchzuführen und die Arten zu identifizieren, die auf den Platten wachsen. Dies ist für jüngere Schülerinnen und Schüler geeignet, die sich für die Beobachtung der Organismen mit Vergrößerungsgläsern, Binokularen (falls vorhanden) oder mit Smartphones begeistern lassen. Die Lehrkraft kann die Teilnehmenden auffordern, die Organismen zu zeichnen oder Modelle aus Ton herzustellen.

Mit älteren Jugendlichen kann eine *quantitative Analyse* der Biodiversität durchgeführt werden, indem einige grundlegende und in ökologischen Untersuchungen häufig verwendete *Diversitätsindizes* berechnet werden. Diese Indizes liefern den Schülerinnen und Schülern Zahlen, mit denen sie objektive Vergleiche zwischen Platten anstellen können.

Die Diversitätsindizes, ihre Definitionen und Bedeutungen:

1. Der **Artenreichtum (S)** ist ein Maß für die **Anzahl der Arten**, die in einer Gemeinschaft, in unserem Fall also auf den Platten, vorkommen. Man erhält ihn, indem man einfach zählt, wie viele verschiedene Arten von Organismen sich auf den Platten befinden. Obwohl Artenreichtum sehr einfach zu bestimmen ist, sagt er aber nicht viel über die Häufigkeiten und relativen Häufigkeiten der Arten auf den Platten aus.
(Je mehr Arten auf den Platten zu finden sind, desto höher ist der Artenreichtum.)
2. **Simpsons Diversitätsindex (D)** ist ein Maß für den Artenreichtum und die relative Häufigkeit der Arten auf den Platten. Der Simpson-Index ist auch ein Maß für die Dominanz.
(D liegt normalerweise zwischen 0 und 1. Je näher D bei 1 liegt, desto höher ist die Diversität.)
3. Der **Shannon-Wiener Index (H)** gleicht dem Simpson-Index und misst ebenfalls den Reichtum und die Häufigkeit der Arten. Aus dem Shannon-Wiener Index kann die Evenness (Ausgewogenheit der Arten) berechnet werden.
(Je größer H, desto höher ist die Diversität.)

4. Die **Evenness (E)** ergänzt den Artenreichtum, indem sie uns ein Bild der relativen Häufigkeiten der verschiedenen Arten vermittelt, die auf den Platten zu finden sind.
(**E liegt normalerweise zwischen 0 und 1. Je näher E bei 1 ist, desto mehr Arten sind in der Probe gleich häufig, die Vielfalt ist höher.**)
5. Der **Jaccard Index (J)** wird verwendet, wenn die Artenzusammensetzung von zwei Proben verglichen wird. Er betrachtet nicht die Häufigkeit der Arten, sondern untersucht, wie ähnlich zwei Proben in Bezug auf die gefundenen Arten sind.
(**Je näher J bei 100 % liegt, desto ähnlicher sind die Proben.**)
6. Der **Menhinick-Index (D_{Mn})** ist auch ein Maß für den Artenreichtum und unterliegt den gleichen Einschränkungen wie der Artenreichtum (**S**).
(**Je höher D_{Mn} , desto größer ist der Artenreichtum.**)
7. Die **Effektive Artenzahl (Effective Number of Species, ENS)** ist ein Maß für die wahre Vielfalt mit der Anzahl der Arten als Einheit. Es ist die Anzahl der Arten in einer Gemeinschaft, die bei gleichen Häufigkeiten den beobachteten Wert eines Diversitätsindex, **D** oder **H**, ergeben würden. Sie ist hervorragend geeignet, um die Vielfalt verschiedener Proben zu vergleichen, und korrigiert die Nichtlinearität von **D** und **H**.
(**Je höher die ENS, desto vielfältiger ist eine Gemeinschaft.**)

Welcher Index und Warum?

Dies hängt davon ab, welche Fragen Sie beantwortet haben möchten. Die hier vorgestellten Indizes sind recht einfach und werden Jugendlichen ab der 8. Klasse keine Probleme bei der Berechnung bereiten. Die Lehrkraft sollte den Schülerinnen und Schülern sagen, dass sie sich nicht von den Formeln einschüchtern lassen sollten, weil diese eigentlich einfacher sind, als sie scheinen.

Artenreichtum: Der Artenreichtum (**S**) ist der am einfachsten zu bestimmende Parameter. Er besteht nur aus der Anzahl der gefundenen Arten. Dies sagt jedoch nicht viel über die Struktur der Gemeinschaft aus. Das Gleiche gilt für den Menhinick-Index (D_{Mn}). Für jüngere Schülerinnen und Schüler kann (**S**) der einfachste und schnellste "quantitative" Weg sein, die Platten zu analysieren.

Artenvielfalt: Die Simpson- (**D**) und Shannon-Wiener (**H**) Indizes der Vielfalt und die effektive Artenzahl (**ENS**) sind nur aussagekräftig, wenn sie für mehr als eine Stichprobe verwendet werden. Sie werden benutzt, um die Vielfalt von mindestens zwei Stichproben zu vergleichen. **D** und **H** sind beide Indizes, und sie sind genau das, sie sind nur ein Indiz für die Vielfalt und keine echte Vielfalt an sich. Wahre Vielfalt kann nur mit der **ENS** ausgedrückt werden.

D und **H** sind nur dann linear, wenn die Arten in der Probe alle gleich häufig sind. Andernfalls darf nicht davon ausgegangen werden, dass die Vielfalt einer Probe mit einem **D** oder **H** von beispielsweise 1,0 doppelt so vielfältig ist wie die einer Probe mit **D** oder **H** gleich 0,5. In diesem Fall ist es sinnvoller, die **ENS** zu berechnen.

Stichprobenvergleiche: Wenn Proben verglichen werden sollen, können **D**, **H** und **ENS** verwendet werden, und die Evenness (**E**) kann etwas über die relativen Häufigkeiten der gefundenen Arten aussagen. Der Jaccard-Index (**J**) zeigt, wie ähnlich die Arten in zwei Proben sind.

Berechnung der Indizes: Die Formeln auf einen Blick

Index	Formel	Variablen	Interpretation der erhaltenen Werte
Artenreichtum (S)		Gesamtzahl der gefundenen Arten	Großes S heißt, die Probe ist artenreich
Simpson (D)	$1 - \left(\frac{\sum n(n-1)}{N(N-1)} \right)$	n = Anzahl der Individuen einer Art N = Gesamtzahl der Individuen aller Arten	D liegt normalerweise zwischen 0 und 1. Je näher D an 1 ist, desto größer die Diversität. Mindestens 2 Proben sollten miteinander verglichen werden.
Shannon-Wiener (H)	$-\sum (P_i * \ln P_i)$	P_i = Anteil der Art i an der Gesamtpopulation $P_i = \frac{n_i}{N}$ (berechne P_i für alle Arten)	Je größer H , desto größer die Diversität. Mindestens 2 Proben sollten miteinander verglichen werden.
Evenness (E)	$\frac{H}{\ln(S)}$	H = Shannon-Wiener Index S = Artenreichtum	E liegt meist zwischen 0 und 1. Je näher E an 1, umso mehr Arten in der Probe sind gleich häufig, d.h. die Häufigkeiten sind ähnlich.
Effektive Artenzahl (ENS)	$\frac{1}{(1-D)}$	D = Simpson-Index	Je größer die ENS , desto diverser ist die Gemeinschaft. Mindestens 2 Proben sollten miteinander verglichen werden.
	e^H	H = Shannon-Wiener Index	
Menhinick (D_{Mn})	$\frac{S}{\sqrt{N}}$	S = Artenreichtum N = Gesamtzahl der Individuen aller Arten	Je größer D_{Mn} , desto größer der Artenreichtum.
Jaccard (J)	$\left(\frac{x \cap y}{x \cup y} \right) * 100$	$x \cap y$ = Anzahl an gemeinsamen Arten zweier Proben $x \cup y = N$ = Anzahl aller Arten	Je näher J an 100 %, desto ähnlicher die Proben in Bezug auf gefundene Arten.

Berechnungen mit echter Vielfalt auf Platten

Um die Anwendung der Biodiversitätsindizes besser einordnen zu können, vergleichen wir jetzt zwei Platten, die am gleichen Ort aber zu unterschiedlichen Jahreszeiten ausgelegt wurden.

Die unten dargestellten Fotos der Platten dienen als Vorlage, um zu lernen, wie man Abschätzungen der Biodiversität auf VIRTUE-Platten vornehmen kann. Das Foto links zeigt einen Teil einer VIRTUE-Platte, die im Baltimore Inner Harbor (Maryland, USA) für einen Zeitraum von 4 Monaten (März-Juni) im Jahr 2018 ausgelegt war. Das rechte Bild wurde am gleichen Ort nach einem Zeitraum von 7 Monaten (März-September) 2018 aufgenommen.

	
Platte 1 hing von März bis Juni 2018 im Innenhafen von Baltimore in 1 Meter Tiefe.	Platte 2 hing von März bis September 2018 im Innenhafen von Baltimore in 1 Meter Tiefe.

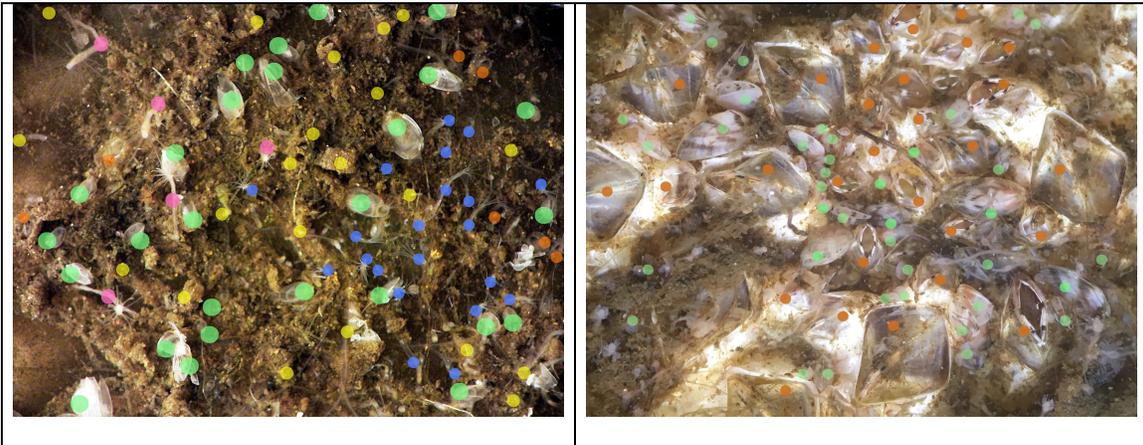
Sofort lassen sich Unterschiede zwischen den beiden Proben durch einfaches Betrachten der Bilder ausmachen. Aber wie unterschiedlich sind sie? Die Berechnung der Biodiversität kann zu einer objektiven Beurteilung beitragen.

Der erste Schritt besteht darin, die einzelnen Organismen für jede Art zu zählen. Dies kann mit einem Binokular oder mit einer Kamera mit einem guten Makroobjektiv (einschließlich einer Smartphone-Kamera) erfolgen. Wenn Sie ein gutes Bild aufnehmen können, dann sollten Sie vielleicht versuchen, mit einem Programm namens ImageJ zu zählen. Unter diesem Link können Sie das für Ihre Zwecke geeignete Dokument auswählen: <http://www.virtue-s.eu/de/node/3624>. Oder untersuchen Sie die Platte unter einem Binokular und zählen Sie manuell die Individuen jeder Art, die Sie identifizieren können.

In den folgenden Bildern wurden die Individuen der einzelnen Arten gezählt und mit Punkten markiert. Die farbigen Punkte zeigen die Lage der Organismen, die auf der Platte identifiziert wurden. Für dieses Beispiel haben wir die 5 offensichtlichsten Organismen

verwendet, um sie zu identifizieren. Sie können bei genauerer Betrachtung der Probe auch weitere Beispiele finden. Hier ist der Farbschlüssel:

- Grün: Brackwasser-Dreiecksmuschel
- Blau: Bryozoe (röhrenbewohnende Arten)
- Rosa: Hydroidpolyp
- Orange: Seepocke
- Gelb: Peitschen-Schlammwurm (Polychaeta)



Als Nächstes erstellen Sie eine Tabelle für alle Daten.

	Platte 1	Platte 2
Gefundene Organismen	Anzahl der Individuen (n)	
Brackwasser-Dreiecksmuscheln (grün)	27	39
Bryozoen (blau)	21	-
Hydroidpolypen (rosa)	5	-
Seepocken (orange)	7	28
Peitschen-Schlammwürmer (gelb)	21	-
Gesamtzahl an Individuen (N)	81	67

Es gibt einige leicht ermittelbare Schätzungen der Biodiversität und andere, die eine etwas umfangreichere Berechnung erfordern.

Die überwiegende Mehrheit der Biodiversitätsschätzungen basiert auf drei grundlegenden Parametern: **der Anzahl der identifizierten Arten (S), der Anzahl der Individuen jeder Art (n) und der Gesamtzahl der Organismen in einer Probe (N)**. Berechnen Sie

die verschiedenen Variablen, die in den Formeln für die verschiedenen Indizes benötigt werden. Im folgenden Beispiel haben wir die Variablen für Platte 1 berechnet.

Platte 1					
Gefundene Organismen	Anzahl der Individuen (n)	P_i n/N	$\ln(P_i)$	$P_i * \ln(P_i)$	n (n-1)
Brackwasser-Dreiecksmuscheln (grün)	27	0,33	-1,10	-0,37	728
Bryozoen (blau)	21	0,26	-1,35	-0,35	440
Hydroidpolypen (rosa)	5	0,06	-2,79	-0,17	24
Seepocken (orange)	7	0,09	-2,45	-0,21	48
Peitschen-Schlammwürmer (gelb)	21	0,26	-1,35	-0,35	440
Summe (Σ)	N= 81			-1,45	1680

Berechnen Sie nun die Indizes für Platte 1 mit den in Tabelle 1 angegebenen Formeln. Zu Demonstrationszwecken haben wir alle Indizes in der folgenden Tabelle berechnet. Das Tutorial auf der Website von Biofilms and Biodiversity bei Maryland Sea Grant kann bei einigen dieser Berechnungen helfen (**wir können die anderen in den Rechner aufnehmen, wenn wir ihn in naher Zukunft aktualisieren**). Sie können bestimmte Indizes auswählen, die Sie verwenden möchten, aber stellen Sie sicher, dass Sie den gleichen Index für alle zu vergleichenden Stichproben verwenden.

Platte 1				
Artenreichtum (S)				5
Simpson (D)		$1 - \left(\frac{\sum n(n-1)}{N(N-1)} \right)$	$1 - \frac{1604}{81(81-1)}$	0,75
Shannon-Wiener (H)		$-\sum (P_i * \ln P_i)$	- (-1,45)	1,45
Evenness (E)		$\frac{H}{\ln(S)}$	$\frac{1,45}{\ln(5)}$	0,90
Effektive Artenzahl (ENS)	Simpson ENS _{Si}	$\frac{1}{(1-D)}$	$\frac{1}{(1-0,75)}$	4,0
	Shannon-Wiener ENS _{Sh}	e^H	$e^{1,45}$	4,26
Menhinick (D _{Mn})		$\frac{S}{\sqrt{N}}$	$\frac{5}{\sqrt{81}}$	0,55

Jaccard (J) Platte 1 & Platte 2	$\left(\frac{x \cap y}{x \cup y}\right) * 100$	$\left(\frac{2}{5}\right) * 100$	40%
---	--	----------------------------------	-----

Berechnen Sie die gleichen Werte für Platte 2 (oder alle anderen Proben). Die für Platte 1 und 2 berechneten Werte sind nachfolgend zusammengefasst:

Index		Platte 1	Platte 2
Artenreichtum (S)		5	2
Simpson (D)		0,75	0,49
Shannon-Wiener (H)		1,45	0,68
Evenness (E)		0,90	0,98
Effektive Artenzahl (ENS)	Simpson ENS_{Si}	4	1,96
	Shannon-Wiener ENS_{Sh}	4,26	1,97
Menhinick (D_{Mn})		0,55	0,24
Jaccard (J)		40 %	

Denken Sie daran, dass die Schätzungen einfach eine "Momentaufnahme" in der Zeit sind. Wenn wir mehr Daten durch Stichproben über einen längeren Zeitraum sammeln, können wir Trends auf den VIRTUE-Platten identifizieren.

Analyse:

Was bedeuten die Zahlen?

Artenreichtum und Evenness. Es ist recht offensichtlich, dass Platte 1 mehr Arten hat als Platte 2, obwohl Platte 2 eine längere Auslagezeit hatte als Platte 1 (3 Monate für Platte 1 gegenüber 6 Monaten für Platte 2). Dies ist sowohl am **S**- als auch am **D_{Mn}**-Wert erkennbar. **S** gibt die absolute Anzahl der auf den Platten vorkommenden Arten an, während man aus den **D_{Mn}**-Werten schließen kann, dass Platte 1 einen mehr als doppelt so hohen Artenreichtum hat wie Platte 2. Die Evenness **E** beider Platten ist mit 0,9 bzw. 0,98 hoch. Der nahe bei 1 liegende Wert von **E** für Platte 2 sagt uns, dass die beiden auf der Platte vorkommenden Arten fast gleich häufig sind.

Artenvielfalt. Sowohl der Shannon-Wiener (**H**) als auch der Simpson- (**D**) Index weisen auf eine vielfältigere Gemeinschaft auf Platte 1 im Vergleich zu Platte 2 hin.

Ausgehend vom Simpson-Index von 0,75 bzw. 0,49 für Platten 1 und 2 können wir (fälschlicherweise) den Schluss ziehen, dass es einen Unterschied in der Vielfalt von etwa 35% zwischen Platte 1 und 2 gibt. Betrachtet man jedoch die ENS_{Si} (Platte 1 = 4 und Platte 2 = 1,96), so liegt die Abnahme tatsächlich bei etwa 50%. Daher wird die Abnahme der Vielfalt unterschätzt.

Die Differenz im Shannon-Wiener-Index für Platte 1 ($H = 1,45$) und Platte 2 ($H = 0,68$) beträgt 53%, und die Differenz in ENS_{Sh} (Platte 1 = 4,26 und Platte 2 = 1,97) ebenfalls etwa 54%. Daher ist es in diesem Fall zuverlässiger, den Shannon-Wiener-Index zu benutzen als nur den Simpson-Index zu berechnen.

Die Zuverlässigkeit des Shannon-Wiener-Index liegt darin, dass **H** alle in der Stichprobe vorkommenden Arten berücksichtigt, während der Simpson-Index manchmal seltene Arten oder Arten mit relativ geringer Anzahl außer Acht lässt.

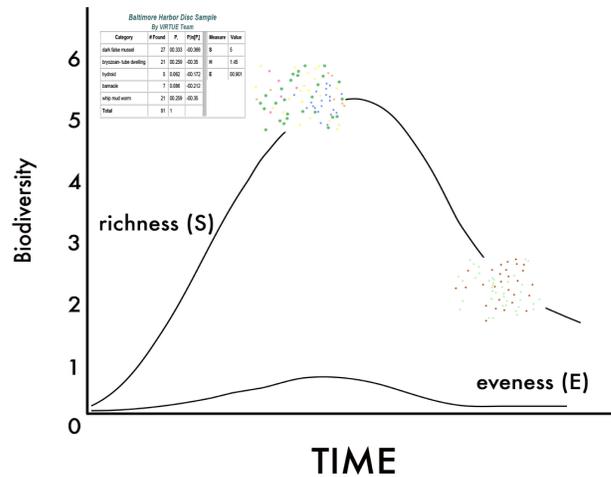
Betrachten wir ENS , **S** und **E** der Platte 2. $S = 2$ und $E = 0,98$. **E** sagt, dass die beiden Arten fast gleich häufig sind, und wenn man sowohl $ENS = 1,97_{Sh}$ als auch $1,96_{Si}$ betrachtet, sind diese fast 2, also $ENS = S$. ($ENS = S$, wenn alle Arten gleich häufig sind). Allerdings gibt es immer noch einen gewissen Unterschied in den Werten von ENS und **S**, was bedeutet, dass es eine gewisse Dominanz gibt. Je größer die Unterschiede in **S**, ENS_{Si} und ENS_{Sh} sind, desto höher ist der Grad der Dominanz. Wir können aus unseren Ergebnissen sagen, dass der Grad der Dominanz bei Platte 1 höher ist als bei Platte 2, oder einige Arten auf Platte 1 sind dominanter als andere Arten.

Grad der Ähnlichkeit. Nach dem Jaccard-Index (**J**) sind die beiden Platten in Bezug auf die Artenzusammensetzung nur mäßig ähnlich. Der Grad der Ähnlichkeit ist nicht sehr hoch.

Diskussion der Ergebnisse: Der Hafen von Baltimore ist durch Regen-Abfluss und Umweltverschmutzung stark belastet, und über die Jahre hat sich die Vielfalt auf den Platten regelmäßig als "Dominanz-Vielfalt" dargestellt, wie die Kolonisierung auf Platte 2 und die Dominanz von Muscheln zeigt. Hier können einige Grundlagen der Ökologie (Fundamentals of Ecology, von Odum, 1953) bei der Analyse hilfreich sein.

Platte 1 kann auch als die mittlere Phase der Kolonisierung angesehen werden, das Übergangsstadium nach der Ansiedlung der Pionierarten wie Bakterien und Mikroalgen. In dieser Phase erwartet man viele Arten. In den späteren Phasen der Kolonisierung haben sich einige Arten durchgesetzt und einige der Arten verdrängt, denen es nicht gelang, sich an die neue Umgebung anzupassen. Ein Wettbewerb um Lebensraum entsteht, und die erfolgreichsten Arten setzen sich durch, in diesem Fall nur die Muscheln und Seepocken, was zu einem Rückgang des Artenreichtums und damit zu einer geringeren Vielfalt führt.

Hierzu eine Beispieldarstellung. Die Grafik (unten) zeigt, wie Biodiversitätsdaten von den Platten durch **S** (Artenreichtum) und **E** (Evenness) dargestellt werden können (Punkte aus den Zählungen). Die Grafik kann helfen zu veranschaulichen, wie Biodiversitätsschätzungen im Zeitverlauf verwendet werden können, um den Gesamtzustand einer Umgebung zu beurteilen.



Diese Daten können weiter beschrieben werden, indem man die Website *Biofilms and Biodiversity* und andere Webressourcen als Referenz nutzt:

World Register of Introduced Marine Species

http://www.marinespecies.org/introduced/wiki/Measurements_of_biodiversity

Online-Berechnungen zur biologischen Vielfalt finden Sie unter:

