

Bewertung ökologischer Zustand

Das [Bewertungsverfahren MarBIT](#) (**M**arine **B**iotic **I**ndex **T**ool) bewertet Faunenelemente der Weich- und Hartböden sowie der Vegetationsbestände (Phytal).

Es stehen insgesamt vier Einzelparameter/Teilindizes für die Bewertung zur Verfügung, die Auswirkungen der Eutrophierung oder physikalischer Störungen auf das Makrozoobenthos erfassen (Abb. 1). Jeder Teilindex steht für einen der ökologischen Begriffe, die bei der Wasserrahmenrichtlinie zur Bewertung herangezogen werden sollen:

- **TSI (Taxonomic Spread Index):** bewertet die Artenvielfalt und taxonomische Zusammensetzung der benthischen Wirbellosen
- **Abundanzverteilung:** bewertet die Verteilung der Häufigkeit auf die verschiedenen Taxa
- **Sensitive Arten:** bewertet den Anteil sensibler Arten an den Faunengemeinschaften
- **Tolerante Arten:** bewertet den Anteil toleranter Arten an den Faunengemeinschaften

Dem Bewertungssystem liegt eine **Datenbank** mit Informationen zur Autökologie vieler Nord- und Ostseetaxa zugrunde (z. B. Angaben zu Lebensraum, Zonierung, Salzgehaltsansprüchen oder Sedimentpräferenzen), die eine Erstellung von typspezifischen Referenzartenlisten unabhängig von historischen Angaben ermöglicht.

Jeder Teilindex ist mit einem eigenständigen fünfstufigen Bewertungssystem unabhängig von den anderen Indizes bewertbar. Nach einer mathematischen Transformation (=Normierung) können die Teilergebnisse zusammengeführt, also miteinander verrechnet werden, und ergeben dann den abschließenden ökologischen Zustand (= EQR-Wert) der jeweiligen Bewertungseinheit/ Faunengemeinschaft.

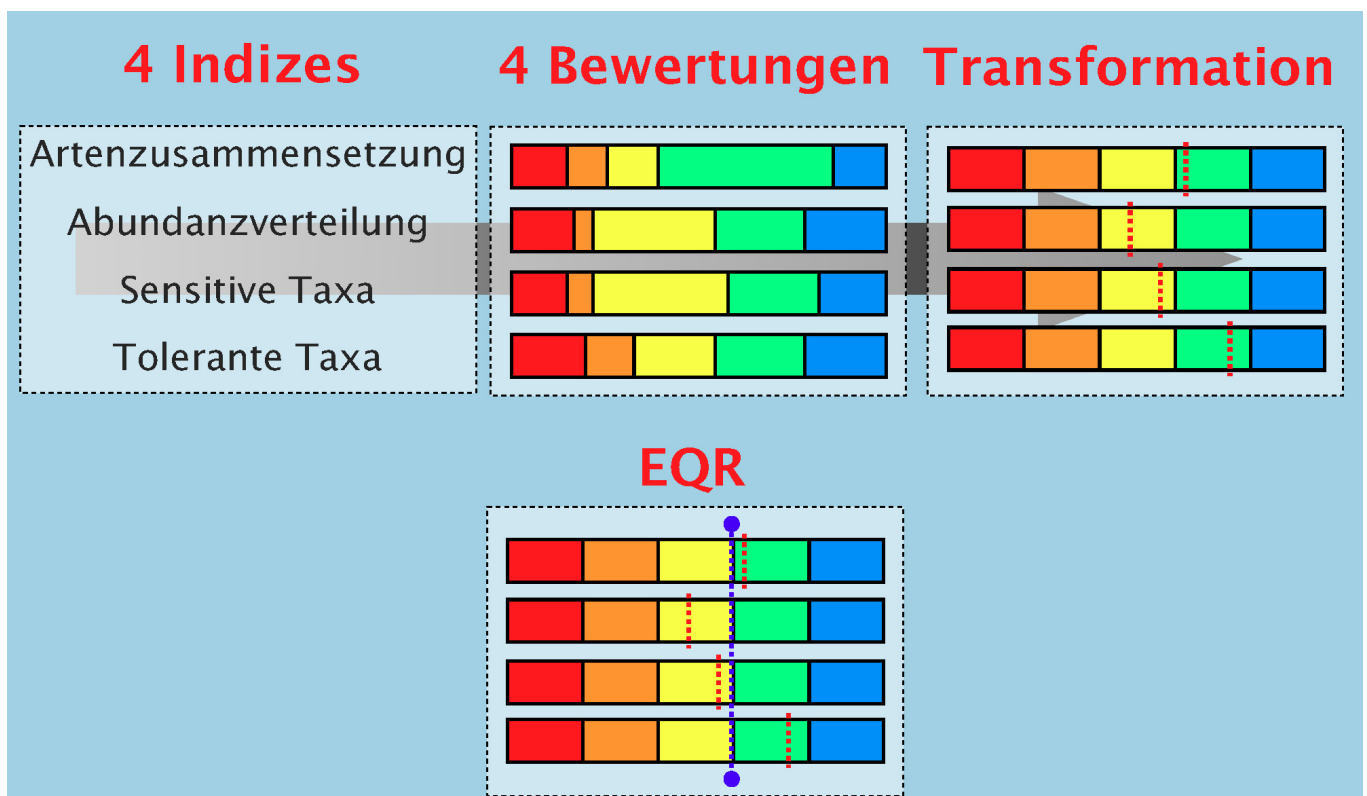


Abb. 1: Schematische Darstellung des Verlaufs der Bewertung des ökologischen Zustands mit dem

modularen Bewertungsverfahren MarBIT.

Taxonomische Spreizung TSI (Taxonomic Spread Index)

Das wissenschaftliche Prinzip des TSI basiert darauf, dass neben der Artenzahl auch die Komplexität des taxonomischen Baumes für die biologische Vielfalt von Bedeutung ist. Vielfalt in der Taxonomie entsteht durch die Aufspaltung des taxonomischen Baumes. Jedes neue Taxon erzeugt mindestens einen neuen Ast, wenn es sich um eine im Baum noch nicht vorhandene Art handelt. Dadurch wird der Baum breiter, die Taxonomie „spreizt“ sich auf. Es gibt Proben, die nur aus einer oder zwei taxonomischen Gruppen bestehen, z. B. Polychaeten und Mollusken. Andere Proben enthalten dagegen viele taxonomische Gruppen. Die taxonomischen Bäume dieser beiden Proben haben eine unterschiedliche Form durch die unterschiedliche taxonomische Aufspreizung. Diese korreliert direkt mit der in der Probe vorhandenen Artenzahl. Ökologisch im Sinne der WRRRL gesehen, steigt der Wert einer Lebensgemeinschaft kaum, wenn viele sehr nahe verwandte Taxa zusammenkommen, die vergleichbare Nischen besetzen oder die bestehenden Ressourcen auf ähnliche Weise nutzen. Kommen jedoch viele verschiedene taxonomische Gruppen zusammen, sind in der Regel auch unterschiedliche Lebensstrategien und Nischen damit verbunden. Diesem Umstand trägt der Index mit einer Gewichtung der verschiedenen taxonomischen Stufen Rechnung. Je höher im taxonomischen Baum die Verzweigung stattfindet, desto höher wird sie bewertet = gewichtet (Tab. 1).

Tab. 1: Zusammenhang von taxonomischer Stufe und Bewertung.

taxonomische Stufe	Bewertung
neue Art einer Gattung	2
neue Gattung einer Familie	3
neue Familie einer Ordnung	5
neue Ordnung einer Klasse	8
neue Klasse eines Stammes	13
neuer Stamm eines Reichs	21

Die Berechnung des Teilindex TSI erfolgt also auf Basis der Präsenz der Taxa im Vergleich zu einer typspezifischen Referenzartenliste. Die Abundanz = Individuendichte der Taxa spielt keine Rolle. Es werden jeweils nur diejenigen Taxa der Probe berücksichtigt, welche auf der zugehörigen Referenzartenliste aufgeführt sind. Alle anderen Taxa werden ignoriert. Alle Taxa werden sukzessive einem taxonomischen Baum hinzugefügt und jeder Verzweigung im Baum wird der Wert der entsprechenden taxonomischen Stufe zugeordnet. Dann wird an jeder Verzweigung dieser Wert mit der Anzahl der abgehenden Äste multipliziert und zuletzt alle diese Produkte addiert. Der sich ergebende Wert ist der TSI der Probe (Abb. 2).

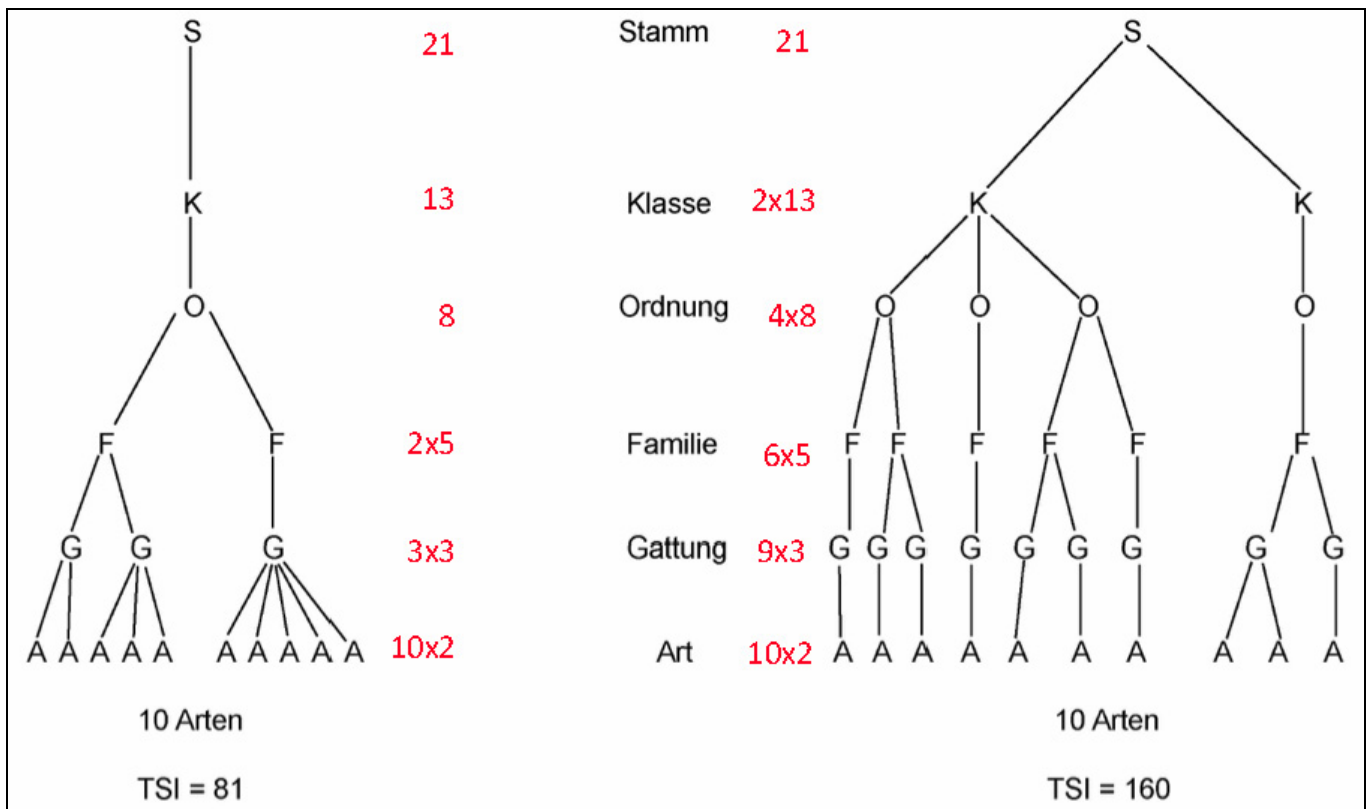


Abb. 2: Beispielhafte Berechnung des TSI für zwei taxonomische Bäume mit jeweils 10 Arten, aber unterschiedlicher taxonomischer Aufsprezung.

Die gewässertypischen TSI-Werte der Referenzlisten der Bewertungseinheiten bilden die Basis für das fünfstufige Bewertungsschema (Tab. 2).

Tab. 2: Gewässertypische TSI-Werte.

Bewertungseinheit	TSI-Referenzwert	
	Weichboden	Phytal
Innerste Gewässer	250	300
Innere Gewässer	160	319
Mittlere Gewässer	225	422
Buchten	338	721
Flussmündungen	304	595
Rügensche Gewässer	254	477
Kieler Bucht	579	906

Mecklenburger Bucht	445	756
Darß bis Polen	289	395
Flensburger Förde	920	799
Becken	794	713

Bewertungsrelevant ist dabei der Quotient aus dem TSI-Wert der Probe und dem TSI-Referenzwert, der den unnormierten EQR für den TSI-Indexwert ergibt (Tab. 3).

Tab. 3: Ökologischer Zustand und TSI-Index.

Ökologischer Zustand	TSI-Index [TSI_Pro/TSI_Ref]
sehr gut	$0,9 < \text{TSI} \leq 1$
gut	$0,8 < \text{TSI} \leq 0,9$
mäßig	$0,6 < \text{TSI} \leq 0,8$
unbefriedigend	$0,4 < \text{TSI} \leq 0,6$
schlecht	$0 \leq \text{TSI} \leq 0,4$

Abundanzverteilung

Die Abundanzverteilung bewertet die relative Verteilung der Abundanz auf die einzelnen Taxa. Für das Bewertungsmodell wird die Theorie der Log-Normalverteilung zugrunde gelegt, die entsteht, wenn viele kleine Faktoren unabhängig voneinander auf die Populationen einwirken. Die Population besteht dabei aus vielen verschiedenen Taxa, die unterschiedliche Nischen besetzen und Lebensstrategien verfolgen. Wenn keiner der Faktoren dominiert und diese multiplikativ auf die Population einwirken, entsteht nach dem zentralen Grenzwertsatz der mathematischen Statistik eine Log-Normalverteilung. Eine Log-Normalverteilung liegt vor, wenn der Logarithmus der Verteilungsfunktion einer Normalverteilung folgt. Es wird dadurch leicht, eine Lebensgemeinschaft auf Übereinstimmung mit der Log-Normalverteilung zu überprüfen, indem die transformierte Verteilung einfach auf Normalverteilung getestet wird. Im Bewertungsmodell wird der Kolmogorov-Smirnov-Test mit der Ergänzung von Lilliefors (= Lilliefors-Test) verwendet, da er einfach zu rechnen ist und eine für den Zweck ausreichende Genauigkeit besitzt und am empfindlichsten im mittleren Bereich der Verteilung ist. Dies ist von Vorteil, weil dadurch die seltensten und häufigsten Taxa, die besonders große relative Abundanzschwankungen zeigen, nicht so stark gewichtet werden. Das meiste Gewicht liegt auf den stetigen „Kerntaxa“ der Gemeinschaft. Ein weiterer Vorteil des Lilliefors-Tests ist, dass er eine grafische Repräsentation in Form der kumulativen

Verteilungsfunktionen besitzt. Für die Analyse der Daten kann daraus entnommen werden, ob z. B. seltene oder häufige Taxa im Vergleich zur erwarteten Verteilung überproportional häufig sind. Der Lilliefors-Test selbst schätzt den Mittelwert und Standardabweichung aus der Probe und vergleicht die daraus entstandene Normalverteilung mit der geschätzten empirischen Verteilungsfunktion der Probe.

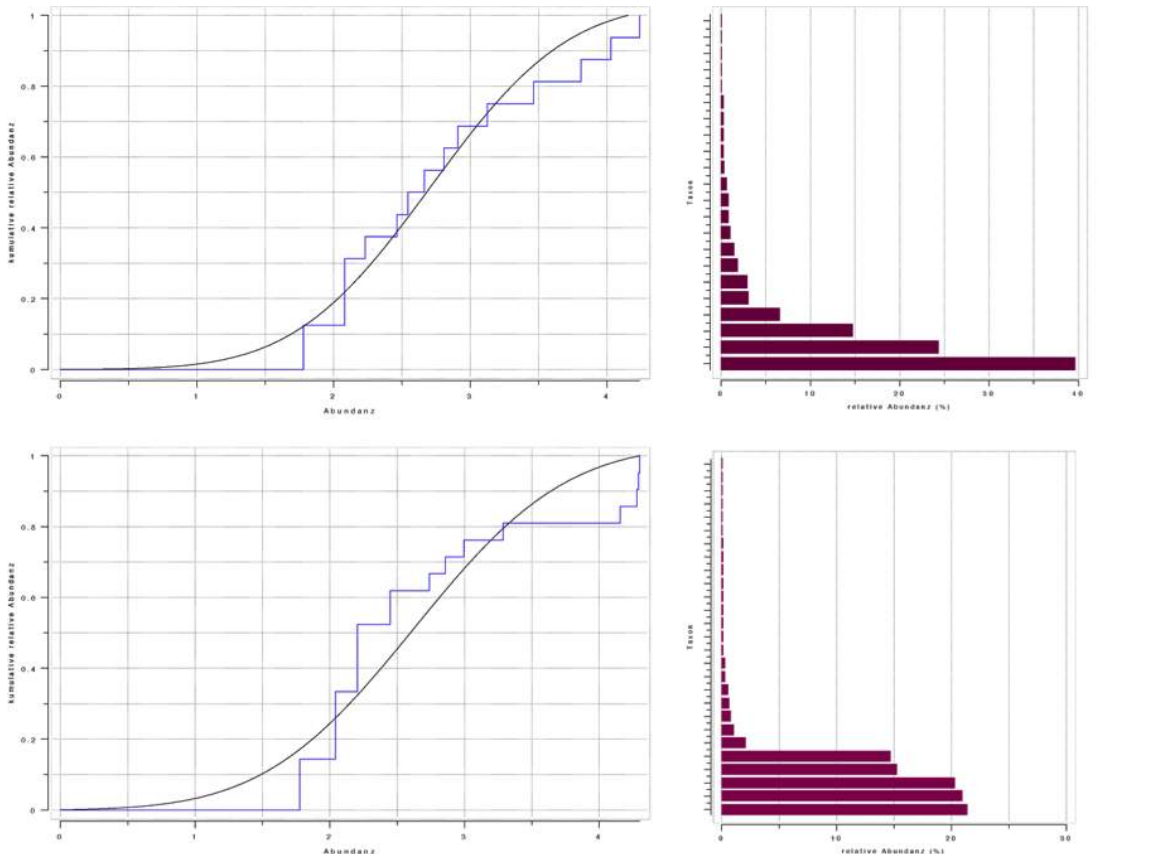


Abb. 3: Beispiele für kumulative Abundanzverteilung zweier gepoolter Probensätze. Dargestellt sind einmal die relative Abundanz (prozentualer Anteil) pro Taxa als Balkendiagramme in aufsteigender Reihenfolge (rechte Grafiken) und die empirischen kumulativen Häufigkeitsverteilungen (Treppenfunktion, log-transformierte Abundanzen) überlagert durch die entsprechende Normalverteilung mit Mittelwert und Standardabweichung aus der Verteilung der Probe geschätzt (linke Grafiken). Die x-Achse bezeichnet den dekadischen Logarithmus der Abundanz, die y-Achse bezeichnet die kumulative relative Abundanz. Jede Treppenstufe der Probenkurve entspricht einer Abundanz, die in der Probe ein- oder mehrfach vorkommt. Der vertikale Sprung der Stufen ist dabei der Zuwachs an der Gesamtabundanz der Probe und der horizontale Sprung der Stufen ist der Abstand zur nächst höheren, in der Probe vorkommenden Abundanz.

Die Berechnung des Teilindex Abundanzverteilung erfolgt also auf Basis der numerischen Abundanzwerte. Taxa, die rein qualitativ in der Probe aufgeführt sind (z. B. koloniebildende Taxa), bleiben für diesen Bewertungsfaktor unberücksichtigt. Von jedem numerischen Abundanzwert wird der dekadische Logarithmus gebildet und anhand dieser Werte der Lilliefors-Test durchgeführt. Dazu werden der arithmetische Mittelwert sowie die Standardabweichung der log-transformierten Abundanzen errechnet, sowie die Anzahl N der Abundanzwerte. Die Abundanzwerte werden dann numerisch aufsteigend sortiert und Z-Scores von jeder Abundanz berechnet als $(\text{Abundanz} - \text{Mittelwert}) / \text{Standardabweichung}$. Ist die Standardabweichung Null, wird auch der Z-Score Null. Für jeden der Z-Score-Werte wird der zugehörige Wert der kumulativen Verteilungsfunktion (der

Normalverteilung) errechnet. Dies ergibt die Liste der erwarteten Idealwerte. Dann werden die Z-Scores durchnummeriert (Variable i). Der erste Wert in der Liste erhält $i = 1$ zugewiesen, der zweite $i = 2$ usw. Dann werden die d-Plus-Werte errechnet als

$$\mathbf{d-Plus = i/N - Z-Score}$$

und die Liste der d-Minus-Werte als

$$\mathbf{d-Minus = Z-Score - (i-1)/N}$$

Dann wird der höchste numerische Wert aus den zwei Listen zusammen (d-Plus und d-Minus) als der D-Wert ausgewählt. Dieser wird in einem letzten Schritt folgendermaßen transformiert (um einheitliche Schranken zu bekommen):

$$\text{Index Abundanzverteilung } Z = D \times \left(\sqrt{N} - 0,01 + \frac{0,831}{\sqrt{N}} \right)$$

Dieser Z-Score stellt den Wert des Teilindex dar und schwankt zwischen 0 (Referenzzustand) und $(\sqrt{N} - 0,01 + \frac{0,831}{\sqrt{N}})$ (schlechtester Zustand). Die Klassengrenzen lassen sich aus der Statistik selbst ableiten.

Tab. 4: Ökologischer Zustand und Abundanzverteilung Z.

Ökologischer Zustand	Index Abundanzverteilung Z
sehr gut	$0 \leq Z \leq 0,5$
gut	$0,5 < Z \leq 0,6$
mäßig	$0,6 < Z \leq 0,775$
unbefriedigend	$0,775 < Z \leq 0,819$
schlecht	$0,819 \leq Z \leq \sqrt{N} - 0,01 + \frac{0,831}{\sqrt{N}}$

Ausnahme: Sind weniger als 5 Taxa für die Berechnung vorhanden, kann der Index nicht errechnet werden. Dann wird der Indexwert auf 0 gesetzt (schlechter Zustand).

Sensitive Taxa

Die Berechnung des Teilindex sensitive Taxa erfolgt auf Basis der Präsenz der Taxa im Vergleich zu einer typspezifischen Referenzartenliste. Die Abundanz = Individuendichte der Taxa spielt keine Rolle.

Die Bewertung erfolgt durch Vergleich der Anzahl sensitiver Taxa innerhalb der Probe (N_{Probe}) mit der Anzahl der sensitiven Taxa der zugehörigen Referenzliste (R). Dabei wird zwischen

obligatorisch (R_o , N_o) sowie nicht obligatorisch sensitiven Arten (R_r , N_r) auf der Referenzliste und der Probe unterschieden. Der Teilindex berechnet sich als:

$$Index\ sensitive\ Taxa\ I_{sensi} = \frac{(N_o + 0,5 \times N_r)}{R_o}$$

mit

N_o = Anzahl der obligatorisch sensitiven Taxa der Probe

N_r = Anzahl der nicht obligatorisch sensitiven Taxa der Probe

R_o = Anzahl der obligatorisch sensitiven Taxa der typspezifischen Referenzliste

R_r = Anzahl der nicht obligatorisch sensitiven Taxa der typspezifischen Referenzliste

Alle Arten der folgenden Gattungen werden für die Bewertung dieses Teilindex auf die Gattung zusammengeführt, bevor die Berechnung durchgeführt wird: Bathyporeia, Bithynia, Electra, Hydrozoa, Lacuna, Lekanospaera, Littorina, Molgula, Nephtys, Nudibranchia, Ophelia, Palaemon, Pontoporeia, Praunus, Sacoglossa.

Tab. 5: Ökologischer Zustand und Sensitive Taxa Index.

Ökologischer Zustand	Index Sensitive Taxa I_{sensi}
sehr gut	$1 \leq I_{sensi} \leq (R_o + 0,5 \times R_r)/R_o$
gut	$0,7 \leq I_{sensi} < 1$
mäßig	$0,5 \leq I_{sensi} < 0,7$
unbefriedigend	$0,25 \leq I_{sensi} < 0,5$
schlecht	$0,09 \leq I_{sensi} < 0,25$

Tolerante Taxa

Die Berechnung des Teilindex tolerante Taxa erfolgt auf Basis der Präsenz der Taxa im Vergleich zu einer typspezifischen Referenzartenliste. Die Abundanz = Individuendichte der Taxa spielt keine Rolle.

Die Bewertung erfolgt durch Vergleich des Anteils toleranter Taxa an der Probe (n_t) und an der Referenzliste (r_t). In jeder Referenz-Artenliste gibt es eine definierte Anzahl toleranter Taxa (R_t) und damit einen definierten Anteil (r_t) an der Gesamtzahl N_{Ref} der Taxa ($r_t = R_t/N_{Ref}$). Genauso wird die Anzahl der toleranten Taxa in der Probe (N_t) und deren Anteil an der Probe ($n_t = N_t/N_{Probe}$) bestimmt.

Der Teilindex berechnet sich als:

$$Index\ tolerante\ Taxa\ I_{tolerant} = \frac{r_t}{n_t}$$

mit

r_t = Anteil der toleranten Taxa an der typspezifischen Referenzliste

n_t = Anteil der toleranten Taxa an der Probe

R_t = Anzahl toleranten Taxa der typspezifischen Referenzliste

N_t = Anzahl toleranter Taxa der Probe

N_{Ref} = Anzahl Taxa der typspezifischen Referenzliste

N_{Probe} = Anzahl Taxa der Probe

In jeder Referenz-Artenliste gibt es eine definierte Anzahl toleranter Taxa (R_t) und damit einen definierten Anteil an der Gesamtzahl der Taxa (r_t). Zunächst wird die Anzahl der toleranten Taxa in der Probe (N_t) und deren Anteil an der Probe ($n_t = N_t$ geteilt durch die Anzahl n der Taxa der Probe) bestimmt.

Tab. 6: Ökologischer Zustand und Tolerante Taxa.

Ökologischer Zustand	Index Tolerante Taxa $I_{tolerant}$
sehr gut	$1 \leq I_{tolerant} \leq (R_t \times N_{Probe})/N_{Ref}$
gut	$0,556 \leq I_{tolerant} < 1$
mäßig	$3/(1/r_t+2 \times 1,8) \leq I_{tolerant} < 0,556$
unbefriedigend	$3/(2/r_t+1,8) \leq I_{tolerant} < 0,5$
schlecht	$r_t \leq I_{tolerant} < 3/(2/r_t+1,8)$

Ausnahmen: Wenn es keine toleranten Taxa in der Probe gibt und die Anzahl der Taxa in der Probe 5 oder weniger beträgt, wird der Indexwert auf 0 gesetzt (schlechter Zustand). Wenn es keine toleranten Taxa in der Probe gibt und die Anzahl der Taxa in der Probe über 5 ist, wird der Indexwert auf 0,3 gesetzt (unbefriedigender Zustand).

Gesamtbewertung

Der Endwert des MarBIT-Systems wird durch Verrechnung der vier Teilindizes miteinander gebildet. Da die Einzelparameter über unterschiedliche Klassengrenzen und Wertebereiche verfügen, ist vor der Verrechnung eine Transformation (Normierung) auf eine gemeinsame Skala

erforderlich. Diese Skala ist die EQR-Skala, welche für jeden der normierten Teilindizes sowie für den MarBIT-EQR gilt:

Ökologischer Zustand	Intervalle
sehr gut	> 0,8 – 1
gut	> 0,6 – 0,8
mäßig	> 0,4 – 0,6
unbefriedigend	> 0,2 – 0,4
schlecht	0 – 0,2

Aus den vier normierten Werten der Teilindizes wird der MarBIT-EQR als arithmetischer Mittelwert und als Median der vier Werte errechnet. Dabei gehen die Teilindizes für die Artenvielfalt (TSI), sowie die sensitiven und toleranten Taxa jeweils mit doppeltem Gewicht in den Mittelwert ein.