

Entwicklung eines Indexes zur Berechnung der Flugsicherheitsrelevanz von Vogelarten

Development of an Index for Calculating the Flight Safety Relevance of Bird Species

von CHRISTOPH MORGENROTH, Morbach

Zusammenfassung: Eine Bewertung der Flugsicherheitsrelevanz von Vogelarten erforderte bis dato eine Experteneinschätzung. Sie hatte den Nachteil, dass sie für Außenstehende nicht immer in allen Punkten transparent war. Der vorliegende Artikel beschäftigt sich mit der Herleitung von Indizes, die eine entsprechende Bewertung mathematisch nachvollziehbar machen und damit zu höherer Akzeptanz der Ergebnisse beitragen kann.

Summary: Up to now, expert opinions have been required to assess the flight-safety relevance of a bird species. This has been disadvantageous in that such assessments are not always easily understood by non-experts. The following article deals with the derivation of indices, which make assessments mathematically comprehensible, thus helping to achieve a better acceptance of the results.

1. Einleitung

Vogelschlagverhütung, gemeint ist in diesem Zusammenhang die Vermeidung von Kollisionen zwischen Vögeln und Luftfahrzeugen, hat insbesondere seit dem Aufkommen von düsengetriebenem Fluggerät an Bedeutung gewonnen. Mittlerweile besitzen in Deutschland alle Internationalen Verkehrsflughäfen sowie eine Vielzahl von Regionalen Verkehrsflughäfen und Landeplätzen spezielle Gutachten, die das biologische Flugsicherheitsrisiko des Vogelschlages am jeweiligen Flughafen bewerten und Empfehlungen zur Minimierung des avifaunistischen Gefahrenpotenzials geben.

Eine Einstufung von Vogelarten hinsichtlich ihrer Flugsicherheitsrelevanz (Vogelschlaggefährdung) ist für eine entsprechende Bewertung sowie die Formulierung von Empfehlungen unverzichtbar.

Um eine solche Einstufung in Gefahrenklassen vornehmen zu können, sind gute Kenntnisse der lokalen und regionalen Avifauna sowie der regionalen landschaftsökologischen Verhältnisse unabdingbar. Dennoch zeigt sich, dass auch erfahrene Ornithologen und Ökologen Probleme bei der Bewertung der Flugsicherheitsrelevanz einiger Arten haben, da eine große Zahl mehr oder weniger unabhängiger Parameter Einfluss auf die Gefährdungseinstufung besitzen. Expertenwissen, das sich außer durch die genannten Kenntnisse vor allem durch reiche Erfahrung auf dem Feld des Vogelschlaggeschehens im Luftverkehr auf nationaler oder gar internationaler Ebene auszeichnet, ist daher für eine Einstufung unbedingt vonnöten.

Oggleich die resultierenden Ergebnisse derartiger Bewertungen bzw. Einstufungen durchaus zu realistischen und hinsichtlich der Gefahrenabwehr operationalen Ergebnissen und Empfehlungen führen, kann die Methode nur zum Teil befriedigen, da einem Außenstehenden der Einstufungsprozess weitestgehend verborgen bleibt. Selbst eine vom Experten in Worte gefasste Darlegung seiner Ergebnisfindung lässt Interpretations- und Ermessensspielräume erkennen, die eine Nachvollziehbarkeit des Bewertungsvorganges ebenso wie eine Reproduzierbarkeit der Ergebnisse erheblich erschweren.

Tab. 1: Ausformulierung der Schritte allgemeingültiger Bewertungsalgorithmen von BASTIAN u. SCHREIBER (1999)

Definition des Bewertungszieles:	Berechnung der Flugsicherheitsrelevanz von Vogelarten
Auswahl des geeigneten Verfahrens:	Punkt-Wert-Analyse
Festlegung der Bewertungskriterien, Messvorschriften u. Skalierung:	siehe Kapitel 2.1 u. Kapitel 2.2
Gewinnung der notwendigen Information:	Literaturstudie, avifaunistische Erhebungen
Wichtung und Verknüpfung (Aggregation) der gewonnenen Daten:	siehe Kapitel 2.3
Interpretation des erzielten Ergebnisses:	siehe Tabelle 4 ⇒ Empfehlungen in Biotopgutachten

Abhilfe verspricht in diesem Fall eine Verwendung mathematischer Verfahren, wie beispielsweise Punkt-Wert-Analysen. Sie erlauben einen weitestgehend transparenten, da vollständig nachvollziehbaren Einstufungsprozess mit objektivem Ergebnis, da sich der Experte auf quantitativ bzw. qualitativ definierte Eingangsgrößen festlegen muss. Anhand mathematischer Rechenschritte werden sie anschließend gewichtend miteinander kombiniert und liefern für jede

Vogelart ein numerisches Endergebnis, das einen Ausdruck des Gefährdungspotenzials einer Vogelart im Vergleich zu anderen Arten ergibt. Dieser Index ist aber auch als ein absoluter Ausdruck des durch die jeweilige Vogelart bedingten Gefahrenpotenzials für den Luftverkehr in der betrachteten Region anzusehen, sofern der gültige Wertebereich (maximal und minimal erreichbare Werte) bekannt ist. Dieses Vorgehen entspricht den Schritten allgemeingültiger Bewertungsalgorithmen nach BASTIAN u. SCHREIBER (1999). Tabelle 1 stellt sie den geplanten Schritten gegenüber.

2. Punkt-Wert-Analyse

2.1. Ausweisung von Kriterien

Als erster Schritt einer Punkt-Wert-Analyse müssen unabhängige Kriterien benannt werden, die Einfluss auf die Flugsicherheitsrelevanz von Vogelarten besitzen. Um sie herzuleiten, wurde eine Arbeitsgruppe, bestehend aus Experten der Bereiche Vogelschlagverhütung (DAVVL e.V.), Ornithologie (Vogelschutzwarte Frankfurt) und Biotopmanagement (Fraport, APF-UF, früher Abt. Forst u. Biotop), ins Leben gerufen. Sie benannte 11 Einflusskriterien:

1) Körpermasse (m)

Als offensichtlichstes Kriterium, das Hinweise auf das Gefahrenpotenzial einer Vogelart für den Luftverkehr gibt, wurde die durchschnittliche Körpermasse (landläufig auch als Körpergewicht bezeichnet) einer Vogelart angeführt. Da sie direkt proportional zur Aufschlagenergie ist, hat sie deutlichen Einfluss auf mögliche Vogelschlagschäden an Fluggeräten.

Relativiert wird das Kriterium in dem Fall, in dem die Vogelart über lange Extremitäten verfügt und die Körpermasse nicht als kompakt angesehen werden kann. Dies trifft z.B. auf Kranich, Graureiher, Weißstorch und Schwarzstorch zu. Sofern sich rechnerisch für diese Vogelarten hohe oder sehr hohe Werte hinsichtlich ihrer Flugsicherheitsrelevanz ergeben, erscheint eine Abstufung in die nächst niedrigere Klasse aus eben diesem Grund angemessen.

2) Schwarmbildungstendenz (SB)

Auch leichtere Vögel, wie z.B. der Star, können den Luftverkehr ernsthaft gefährden, sofern sie in Schwärmen auftreten. Im Falle des Zusammentreffens von Flugzeugen und Vogelschwärmen können sich die Körpermassen einzelner Tiere teilweise addieren und damit eine höhere Aufschlagenergie hervorrufen. Mehrfachschäden am Fluggerät sind von Zusammenstößen mit Vogelschwär-

men bekannt, was ein Hinweis auf eine stärkere Gefährdung ist. Dabei ist die Häufigkeit, in der eine Vogelart in Schwärmen anzutreffen ist, für die Flugsicherheit von Bedeutung.

3) *Schwarmgröße (SG)*

Die durchschnittliche Schwarmgröße (Individuenzahl) entscheidet über die mögliche Summe an Mehrfachtreffern und resultierenden Schäden am Fluggerät. Daher ist die Schwarmgröße als weiterer Parameter zur Herleitung eines Ausdrucks für die Flugsicherheitsrelevanz unverzichtbar.

4) *Status (S)*

Die Auswertung von Vogelschlägen hat ergeben, dass Vögel in Abhängigkeit ihres phänologischen Status unterschiedlich häufig an Schlagereignissen beteiligt sind. Auffällig ist beispielsweise im Sommer der vermutlich auf Unerfahrenheit zurückzuführende hohe Anteil an Jungvögeln. Auch Durchzügler spielen hinsichtlich der Vogelschlagproblematik, vermutlich ebenso auf Grund mangelnder Erfahrung, am Platz eine größere Rolle als adulte Standvögel. Deshalb darf der phänologische Status der Arten bei der Herleitung einer Flugsicherheitsrelevanzkennzahl nicht außer Acht gelassen werden.

5) *Anwesenheit/Phänologie (A)*

Sofern Vogelarten nicht das ganze Jahr in der Region auftreten, sinkt ihre Gefahr, dort an Vogelschlägen beteiligt zu sein. Zwar verfügen sie auch mit abnehmender jährlicher Anwesenheitsdauer über weniger Erfahrung mit Flugzeugen am Ort, wodurch der Effekt etwas abgeschwächt wird, doch wird dieser Gedanke bereits im Kriterium Status berücksichtigt.

6) *Anteil an bisherigen Vogelschlägen (VS)*

Obleich es sich um keinen unabhängigen Parameter handelt, herrscht unter den Experten Einigkeit darüber, dass auch der aus der Vergangenheit bekannte Anteil einer Vogelart an Vogelschlägen Einfluss auf die Bewertung haben soll. Er ist der dem DAVVL und dem Flughafen vorliegenden Statistik über einen relevanten Zeitraum zu entnehmen.

Dieser Zeitraum muss einerseits möglichst groß sein, um ein hinreichend großes und aussagekräftiges Datenkollektiv als Basis heranziehen zu können, jedoch sollten sich innerhalb des Zeitraumes keine ökologischen Änderungen vollzogen haben, die bedeutende Auswirkungen auf die Avifauna hatten. Wäre das nämlich der Fall, besäßen die älteren Zahlen keine Repräsentanz mehr.

7) *Biotopbindung (BB)*

Wie oft und wie lange eine Vogelart täglich am Platz beobachtet werden kann, hängt maßgeblich von ihrem ökologischen Bezug zum Flughafenbiotop ab. Entscheidend ist in diesem Fall die Frage, ob sie den Flughafen als Nahrungs-, Brut-, Rast- oder Schlafhabitat nutzt oder gar in bestimmten Kombinationen und welchen Grad der Eignung das Biotop Flughafen für die betrachtete Art erreicht.

8) *Umgebungsbedingte Überflüge (UÜ)*

Aber nicht nur Vögel mit einem direkten ökologischen Bezug zum Flughafen können zur Gefahr für Flugzeuge in der Flughafenregion werden, sondern auch solche Arten, die im Zuge von Nahrungs- oder Schlafplatzflügen das Flughafenareal oder die Anflugsektoren lediglich kreuzen. Die Häufigkeit umgebungsbedingter Überflüge ist daher ein nicht zu vernachlässigender Bestandteil ihrer potenziellen Vogelschlaggefahr.

9) *Häufigkeit in der Region (n)*

Als weitere Einflussgröße ist die Häufigkeit einer Art in der Region zu nennen. Gemeint ist die geschätzte absolute, über die Zeit der Anwesenheit gemittelte Dichte, bezogen auf eine hinreichend große Flächeneinheit. Die in der Literatur oft herangezogene Brutpaardichte (Abundanz) kann nicht als Maß dienen, da sie Wintergäste und Durchzügler ebenso vernachlässigen würde, wie auch Jungvögel und Einzeltiere.

10) *Verweildauer im Luftraum (VDL)*

Vögel stellen nur solange ein Flugsicherheitsrisiko dar, solange sie sich in der Luft befinden - also fliegen. Daher ist für die Herleitung eines Gefährdungsindex von Bedeutung, die Flugfreudigkeit einer Vogelart einfließen zu lassen, denn die Wahrscheinlichkeit für einen Mauersegler an einem Vogelschlag beteiligt zu sein, ist beispielsweise aufgrund seiner ausgiebigen Jagdflüge bedeutend höher als die eines Fasans, der überwiegend zu Fuß unterwegs ist.

11) *Fluggeschwindigkeit (v)*

Die Aufschlagenergie wird im hohen Maße durch die Auftreffgeschwindigkeit bestimmt, da sie quadratisch in die Energieberechnung eingeht. Die für die Auftreffenergieberechnung maßgebliche Geschwindigkeit ergibt sich mittels Vektoraddition der Geschwindigkeiten des Luftfahrzeugs und der Fluggeschwindigkeit des Vogels.

Der Umstand, dass die Fluggeschwindigkeit von Vögeln im Vergleich zur Geschwindigkeit von den in erster Linie vom Vogelschlag betroffenen Strahlflugzeugen vergleichsweise niedrig, zusätzlich sehr variabel und für viele Arten nicht bekannt oder nur unpräzise abschätzbar ist, führte zu der Entscheidung, die Fluggeschwindigkeit als Kriterium in die Berechnung nicht einfließen zu lassen.

Lediglich bei Enten und Tauben, denen es zu eigen ist, bei Gefahr die Fluggeschwindigkeit, anstelle Ausweichmanöver zu fliegen, zu erhöhen, sollte nach einer rechnerischen Klassifizierung eine Erhöhung der Flugsicherheitsrelevanzstufe um mindestens eine halbe Stufe aus genanntem Grunde erfolgen, sofern sie mindestens „mäßig häufig“ vertreten sind oder die relevanten Räume häufiger als nur „selten“ überfliegen.

2.2. Erfüllung der Kriterien

Die unterschiedliche Flugsicherheitsrelevanz verschiedener Vogelarten kann als Resultat differierender Erfüllung der in Kapitel 2.1 angeführten zehn Einflusskriterien gelten. Für jede im Gebiet des Flughafens vorkommende Vogelart muss daher geprüft werden, in welchem Grad sie die zehn Kriterien erfüllt. Zweckmäßig erscheint dafür die Verwendung einer fünfstufigen Skala (AUHAGEN 1997), wobei die Vergabe von einem Punkt die denkbar schwächste, die von fünf Punkten die maximale Ausprägung des Kriteriums ausdrücken soll.

Es galt nun, Grenzen zu definieren, innerhalb derer eine eindeutige und nachvollziehbare Zuordnung von Punkten für jede Art und jedes Kriterium möglich wird. Tabelle 2 nennt das Ergebnis.

2.3. Gewichtung der Kriterien

Der kritischste Punkt bei der Herleitung des Bewertungssystems stellt wohl die notwendige mathematische Verknüpfung der zehn Kriterien dar, die grundsätzlich über ihre Gewichtung entscheidet und damit das Ergebnis maßgeblich beeinflusst.

Folgende Überlegung wurde dabei für den Einstieg zu Grunde gelegt:

Es lassen sich abstrahiert vier Gruppen ausweisen, innerhalb derer Vogelarten auf verschiedene Weise Flugsicherheitsrelevanz erlangen:

Gruppe 1 Vogelarten mit Biotopbindung an den Flughafen ohne umgebungsbedingte Überflüge über den Flughafen und durch Anflugsektoren;

- Gruppe 2 Vogelarten mit Biotopbindung an den Flughafen, die zusätzlich umgebungsbedingte Überflüge über den Flughafen und durch Anflugsektoren vollziehen;
- Gruppe 3 Vogelarten ohne Biotopbindung an den Flughafen, die ausschließlich umgebungsbedingte Überflüge über den Flughafen und durch Anflugsektoren vollziehen;
- Gruppe 4 Vogelarten, die weder eine Biotopbindung zum Flughafen aufweisen, noch umgebungsbedingte Überflüge über den Flughafen und durch Anflugsektoren tätigen.

Im Zuge der Vogelschlagverhütung sind nur die Vogelarten, die den Gruppen 1 bis 3 zugeordnet werden können, von Interesse, da sie in der Region vertreten sind und durch landschaftsgestalterische und durch Biotopmanagementmaßnahmen beeinflusst werden können. Die Gruppe 4 dürfte die Flugsicherheitsrelevanz im Bereich des Flughafens im Grunde nicht tangieren, da die in ihr enthaltenen Vogelarten allenfalls als Irrgäste zufällig in der Region auftauchen.

Für Arten der Gruppe 1 stellt sich die Verknüpfung der Kriterien so dar, dass zunächst ihr Massewert (m) als quadrierte Ausgangsgröße gewählt wird. Er wird multipliziert mit der Summe aus der Schwarmbildungstendenz (SB) und dem Wert für die durchschnittliche Schwarmgröße (SG). Schwarmbildungstendenz und Schwarmgröße werden als Summe (Addition) und nicht als Produkt (Multiplikation) eingesetzt, damit keine Übergewichtung dieser Kriterien stattfindet. Als dritter Faktor wird der Status (S) multiplikativ an die Formel angefügt und ebenso die Verweildauer in der Luft (VDL), diese jedoch als quadrierter Term, um diesem bedeutenden Kriterium das nötige Gewicht zu verleihen. Nun wird die zeitliche Dauer der jährlichen Anwesenheit durch den Quotienten aus Punkt-Wert für die Anwesenheit und der Zahl 5¹⁾ als weiterer Faktor angefügt, wodurch der Gesamtwert in Bezug auf die Anwesenheitsdauer relativiert wird. Es folgt eine Multiplikation mit der Anzahl (n) der Vertreter einer Art im Gebiet, da eine größere Zahl von Vögeln ein entsprechend größeres Risiko darstellt. Dass sich dieses aus der Anzahl der Vögel resultierende Risiko nicht streng linear entwickelt, wird bereits in der Zuweisung des Punkt-Wertes zum Kriterium berücksichtigt, indem sich der Umfang zwischen den Stufengrenzen mit höherer Punktzahl deutlich erweitert (s. Tabelle 2). Am Ende steht als zunächst letzter Faktor der Punkt-Wert für die Biotopbindung (BB), von dem die Zahl 1 subtrahiert wird. Dadurch resultiert für Arten ohne oder mit ausgesprochen schwacher Bindung an das Flughafenbiotop (Punkt-Wert (BB) = 1, vgl.

¹⁾ Die Einführung des Quotienten „5“ ändert nichts an der Reihenfolge der Vogelarten, wohl aber macht er die resultierenden Indexwerte kleiner und damit besser handhabbar.

Tab. 2: Grenzen zur Skalierung von Kriterien für die Ermittlung der Flugsicherheitsrelevanz von Vogelarten

Parameter	ohne 1	gering 2	mittel 3	hoch 4	sehr hoch 5
Gewicht [g]	---	≤ 50	51-500	501-2000	> 2000
Schwarmbildungstendenz (SB)	nie	selten	mäßig häufig	häufig	sehr häufig
Schwarmgröße (SG) [Individuen]	1	2-5	6-25	26-500	> 500
Status (s) *1	A	---	D, W	---	J, S, S+D, W+D
Anwesenheit/Phänologie in Monaten (A)	---	≤ 3	≤ 6	≤ 9	≤ 12
Anteil an bisherigen Vogelschlägen in Prozent (VS)	0	≤ 1	≤ 2	≤ 5	>5
Biotopbindung an den Flughafen *2 (BB)	---	R, S	N, R+S	B, N+R, N+S	N+B, N+B+...
Umgebungsbedingte Überflüge (ÜÜ)	sehr selten	selten	mäßig häufig	häufig	sehr häufig
Häufigkeit in der Region (n)	sehr selten	selten	mäßig häufig	häufig	sehr häufig
Verweildauer in der Luft/Flughäufigkeit (VDL)	sehr gering	gering	mittel	hoch	sehr hoch

- *1 Jahresvogel (J) Arten, die im Gebiet brüten und dort ganzjährig angetroffen werden.
 Sommervogel (S) Arten, die alljährlich im Gebiet brüten, aber in der Regel im Winter nicht angetroffen werden.
 Durchzügler (D) Arten, die alljährlich auf dem Heim- oder Wegzug im Gebiet angetroffen werden.
 Wintergast (W) Arten, die alljährlich im Winter im Gebiet angetroffen werden.
 Ausnahmerecheinung (A) Arten, die äußerst selten und sporadisch im Gebiet angetroffen werden.
- *2 Nahrung (N) (mittlere Flugsicherheitsrelevanz, da in der Regel längere und regelmäßige Verweildauer am Flughafen mit Pendelflügen zwischen den vorhandenen Flächen vorherrscht
 Brut (B) (hoch flugsicherheitsrelevant, da lange Aufenthaltsdauer und Jungvögel)
 Rast (R) (in der Regel nur kurzzeitig und mit wenigen Flugbewegungen verbunden, daher wenig flugsicherheitsrelevant)
 Schlaf (S) (in der Regel weniger flugsicherheitsrelevant, da nachts)

Tab. 2, Zeile 8) der Wert Null. Damit wird der gesamte Term Null, was bedeutet, dass einer Art auf Grund der nicht vorhandenen oder nur sehr schwachen Biotopbindung keine Flugsicherheitsrelevanz zukommt. Für Vogelarten, die eine höhere Biotopbindung aufweisen (Punkt-Wert ≥ 2) resultiert ein positiver Wert, der den auf der Biotopbindung beruhenden Anteil ihrer Flugsicherheitsrelevanz nennt (Flugsicherheitswert FSW_{BB} ; vgl. Formel 1).

$$[F1]: \quad FSW_{BB} = m^2 \cdot (SB + SG) \cdot S \cdot VDL^2 \cdot \frac{A}{5} \cdot n \cdot (BB - 1)$$

Etwas anders setzt sich der Flugsicherheitswert ($FSW_{UÜ}$) von Vogelarten zusammen, die nur umgebungsbedingte Überflüge tätigen aber keine direkte Biotopbindung zum Flughafen selbst besitzen (Gruppe 3). Für diese Arten dürfte dem Status (S) keine große Bedeutung hinsichtlich Vogelschlagrelevanz zukommen, und auch die Verweildauer in der Luft (VDL) kann vernachlässigt werden, da umgebungsbedingte Überflüge vergleichsweise geradlinig geschehen. Wie rasch sich der Überflug vollzieht, hat lediglich einen theoretischen Einfluss auf die Wahrscheinlichkeit einer Kollision mit einem Flugzeug, da jeder Vogel auf der Strecke nur einmal getroffen werden kann und sich die Querungsgeschwindigkeit der unterschiedlichen Arten erfahrungsgemäß nicht bedeutend unterscheidet. Zwar passiert eine Art mit höherer Fluggeschwindigkeit den kritischen Korridor rascher und senkt damit die Gefahr von einem Flugzeug erfasst zu werden, jedoch ist auf der anderen Seite denkbar, dass ein langsam fliegender Vogel dem Luftfahrzeug besser ausweichen kann, wodurch der Vorteil der höheren Fluggeschwindigkeit möglicherweise kompensiert oder gar überkompensiert wird. Die Länge der Wegstrecke, die abhängig vom Kreuzungswinkel zur Flugachse und der Spannweite des Flugzeuges ist, hätte jedoch einen Einfluss. Sie ist aber praktisch nahezu nicht zu ermitteln.

Aus diesen Gründen werden in Abwandlung von Formel 1 die Terme Status (S) und Verweildauer in der Luft (VDL) gestrichen und der Parameter Biotopbindung durch den Parameter umgebungsbedingte Überflüge (UÜ) ersetzt. Als Gesamtwert für Vögel, die nie oder nur ausgesprochen selten umgebungsbedingte Überflüge vollziehen ($UÜ=1$), resultiert - analog zu Vögeln mit schwacher Biotopbindung in Formel 1 - der Wert Null (vgl. Formel 2).

$$[F2]: \quad FSW_{UÜ} = m^2 \cdot (SB + SG) \cdot \frac{A}{5} \cdot n \cdot (UÜ - 1)$$

Für Arten der Gruppe 2, die sowohl eine Biotopbindung besitzen als auch umgebungsbedingte Überflüge vollziehen, können beide Formeln F1 und F2 mit-

einander kombiniert werden, wobei eine unterschiedliche Gewichtung erfolgen sollte. Diese Gewichtung geschieht im Zuge der Erstellung einer Generalformel, die ein realistisches Ergebnis, nämlich den Flugsicherheitsindex (FSI), für jede beliebige Vogelart liefern soll, ganz gleich, zu welcher der vier Gruppen sie zählt. In diese Formel wurde die aus der Statistik des Flughafens bekannte bisherige Beteiligung der Arten an Vogelschlägen (VS) als Korrekturfaktor am Ende angefügt.

$$[F3]: \quad \text{FSI} = \left[2(U\ddot{U} - 1) + \left(\frac{(BB-1) \cdot VDL^2 \cdot S}{25} \right) \right] \cdot m^2 \cdot (SB + SG) \cdot \frac{A}{5} \cdot n \cdot VS$$

Das Resultat der Berechnung ist ein Flugsicherheitsindex (FSI) für jede beliebige Vogelart, der mit zunehmender Höhe stärkere Flugsicherheitsrelevanz ausdrückt. Tabelle 3 gibt beispielhaft das Ergebnis für die wichtigsten lokal auftretenden Vogelarten am Flughafen Frankfurt in absteigender Reihenfolge, beginnend mit der Vogelart der höchsten Flugsicherheitsrelevanz wieder (MORGENROTH 2002, gekürzt).

2.4. Einteilung in Flugsicherheitsklassen

Da der Punkt-Wert einzelner Arten im Vergleich zu anderen Arten eine einschätzbare Aussagekraft erhält, sollen nun fünf Klassen unterschiedlicher Flugsicherheitsrelevanz gebildet werden, denen alle bewerteten Arten zugewiesen werden.

$$[F4]: \quad U_{(\text{FSKi})} = 300 \cdot 2^{(\text{FSKi})}$$

Tab. 3: Ergebnisse der Berechnung zur Flugsicherheitsrelevanz der Vogelarten (nach MORGENROTH 2002, gekürzt)

Deutscher Name Wissenschaftlicher Name	Masse (m)	Schwarmbildung (SB)	Schwarmgröße (SG)	Status (S)	Anwesenheit (A)	Statistik (TS)	Biotoptbindung (BB)	Umgebungsbedingte Überflüge (UU)	Häufigkeit (n)	Verweildauer in der Luft (VDL)	Ergebnis	Flugsicherheitsrelevanzklasse
Ringeltaube <i>Columba palumbus</i>	4	4	3	5	5	4	5	5	5	4	46592	5
Aaskrähne <i>Corvus corone</i>	4	4	3	5	5	3	4	5	5	4	29568	5
Star <i>Sturnus vulgaris</i>	3	5	5	5	5	3	5	4	5	4	25380	5
Graureiher <i>Ardea cinerea</i>	5	3	3	5	5	2	4	5	4	3	16080	4*
Mäusebussard <i>Buteo buteo</i>	4	2	2	5	5	3	4	5	4	4	13517	5
Saatkrähne <i>Corvus frugilegus</i>	4	4	4	5	5	2	4	3	3	4	10445	5
Kiebitz <i>Vanellus vanellus</i>	3	4	4	5	3	2	5	4	4	4	6497	4
Turmfalke <i>Falco tinnunculus</i>	3	1	1	5	5	3	5	5	5	4	5616	4
Rauchschwalbe <i>Hirundo rustica</i>	2	5	3	5	3	5	3	3	4	5	5376	4
Stockente <i>Anas platyrhynchos</i>	4	4	3	5	5	2	1	4	4	3	5376	4-5*
Lachmöwe <i>Larus ridibundus</i>	3	4	5	5	5	2	1	4	5	4	4860	4
Schwarzmilan <i>Milvus migrans</i>	4	3	2	5	4	2	3	4	3	4	4762	4
Kormoran <i>Phalacrocorax carbo</i>	5	4	3	5	5	1	1	5	3	3	4200	3
Amsel <i>Turdus merula</i>	3	3	2	5	5	3	3	3	4	3	4104	3
Elster <i>Pica pica</i>	3	3	3	5	5	2	3	3	4	3	3283	3
Mehlschwalbe <i>Delichon urbica</i>	2	5	3	5	3	3	3	3	4	5	3226	3
Haustaube <i>Columba livia f. domestica</i>	3	4	3	5	5	2	1	3	5	5	2520	3-4*
Mauersegler <i>Apus apus</i>	2	5	3	5	2	3	3	3	4	5	2150	3
Reiherente <i>Aythya fuligula</i>	4	3	3	5	5	1	1	3	4	3	1536	3*
Singdrossel <i>Turdus philomelos</i>	3	3	2	5	5	2	3	2	3	3	1512	2
Wacholderdrossel <i>Turdus pilaris</i>	3	4	3	5	5	1	3	3	3	3	1436	2
Großmöwen	4	4	4	5	3	1	1	4	3	4	1382	2
Hausperling <i>Passer domesticus</i>	2	3	3	5	5	3	3	2	3	3	1210	2
Feldlerche <i>Alauda arvensis</i>	2	2	2	3	4	2	5	3	4	4	1196	2
Waldohreule <i>Asio otus</i>	3	1	1	5	5	2	3	3	3	4	1123	2
Habicht <i>Accipiter gentilis</i>	5	1	1	5	5	2	3	2	2	3	1120	2
Kranich <i>Grus grus</i>	5	5	4	3	2	1	1	3	3	4	1080	2
Dohle <i>Corvus monedula</i>	3	4	3	5	5	1	1	3	4	4	1008	2
Höckerschwan <i>Cygnus olor</i>	5	2	3	5	5	1	1	2	4	2	1000	2
Grünfink <i>Carduelis chloris</i>	2	4	3	5	5	2	3	2	3	3	941	2

Deutscher Name Wissenschaftlicher Name	Masse (m)	Schwarmbildung (SB)	Schwarmgröße (SG)	Status (S)	Anwesenheit (A)	Statistik (FS)	Biotoptendenz (BB)	Umgebungsbedingte Überflüge (UU)	Häufigkeit (n)	Verweildauer in der Luft (FDL)	Ergebnis	Flugsicherheitsrelevanzklasse
Silbermöwe <i>Larus argentatus</i>	4	4	4	1	3	1	1	3	3	4	922	2
Sturmmöwe <i>Larus canus</i>	4	4	4	1	3	1	1	3	3	4	922	2
Hohltaube <i>Columba oenas</i>	3	2	2	5	5	1	3	3	3	3	821	2-3*
Tafelente <i>Aythya ferina</i>	4	4	2	5	5	1	1	2	4	3	768	2-3*
Krickente <i>Anas crecca</i>	3	4	3	3	5	1	1	3	3	4	756	3*
Misteldrossel <i>Turdus viscivorus</i>	3	4	3	5	5	1	3	2	2	3	706	2
Feldsperling <i>Passer montanus</i>	2	4	3	3	5	2	3	2	3	3	699	2
Rotmilan <i>Milvus milvus</i>	4	3	2	5	5	1	1	3	2	4	640	2
Weißstorch <i>Ciconia ciconia</i>	5	4	3	5	3	1	1	2	3	3	630	1-2*
Turteltaube <i>Streptopelia turtur</i>	3	2	2	5	3	1	4	3	3	3	609	2-3*
Rebhuhn <i>Perdix perdix</i>	3	4	3	5	5	1	5	1	3	2	605	2
Sperber <i>Accipiter nisus</i>	3	1	1	5	5	2	3	2	3	3	605	2
Blässgans <i>Anser albifrons</i>	4	4	3	3	3	2	1	2	2	3	538	1
Wespenbussard <i>Pernis apivorus</i>	4	4	3	5	3	1	1	3	2	4	538	1
Knäkente <i>Anas querquedula</i>	3	4	3	3	3	1	1	3	3	3	454	2*
Wiesenpieper <i>Anthus pratensis</i>	2	1	2	5	4	2	5	3	3	2	415	1
Eichelhäher <i>Garrulus glandarius</i>	3	1	1	5	5	1	3	3	3	3	410	1
...	etc											...

Sie reichen von „ohne Flugsicherheitsrelevanz“ bis zu „sehr hohe Flugsicherheitsrelevanz“. Der Umfang (U) der Flugsicherheitsklassen (FSK) wächst mit zunehmender Flugsicherheitsrelevanz gemäß Formel [F4]. Lediglich die Klasse 5 umfasst einen größeren Bereich, da in diesem Wertebereich eine weitere Unterteilung nicht sinnvoll erscheint. Die Grenzen der fünf Klassen gehen aus Tabelle 4 hervor.

3. Kritische Anmerkung und erweiterte Möglichkeiten der Anwendung

Bei der Einstufung der im Umgebungsraum des Flughafens auftretenden Vogelarten in die ausgewiesenen Parameter bestand die Schwierigkeit, die biotopabhängigen und oft saisonal variierenden Ausprägungen in einem mittleren Wert (Jahresmittelwert) zusammenzufassen. Als Grundlage für die Einstufung dienten Angaben aus der „Avifauna von Hessen“ (BERCK et al. 1993-2000) sowie avifaunistische Beobachtungsdaten des Senckenberg Instituts und der

Fraport AG. Daten zur Vogelschlagbeteiligung wurden freundlicherweise von der Delvag Luftfahrtversicherungs AG zur Verfügung gestellt und umfassten den 21-jährigen Zeitraum von 1980 bis 2000. Obgleich nur bei etwa der Hälfte aller Vogelschläge die beteiligte Vogelart bekannt war, sorgte die breite Datenbasis für eine gute Repräsentanz, was auch durch die weitgehende Übereinstimmung mit den deutschlandweiten Daten zum Ausdruck kam. Vor diesem Hintergrund ist die Einstufung in die flugsicherheitsrelevanten Parameter zu sehen, zumal eine differenziertere, wie von REICHHOLF (2002 brieflich) angeregte, saisonal aufgegliederte Einstufung sowohl aufgrund der Kürze der zur Verfügung stehenden Zeit aber vor allem auch in Ermangelung entsprechend differenzierender Literatur-Daten nicht möglich war.

Tab. 4: Grenzwerte für Flugsicherheitsrelevanz-Klassen (FSK)

FSR	FSK	Unterer Grenzwert	Oberer Grenzwert
ohne	1	0	600
gering	2	601	1800
mittel	3	1801	4200
hoch	4	4201	9000
sehr hoch	5	9001	175.000

Die abschließende Zuordnung der Vogelarten zu Flugsicherheitsrelevanzklassen liefert, wie Tabelle 3 zeigt, ein plausibles Ergebnis, dass mit der Expertenmeinung übereinstimmt, sofern die Anmerkungen in Kapitel 2.1, 1) hinsichtlich Körpereigenschaften und Kapitel 2.1, 11) bzgl. Fluggeschwindigkeit Berücksichtigung finden und die Flugsicherheitsrelevanzklasse entsprechend verändert wird. Diese Abweichungen vom rechnerischen Resultat wurden in Tabelle 3 durch „*“ gekennzeichnet.

Durch Aufsummierung der resultierenden Flugsicherheitsindizes (FSI) aller vertretenen und bewerteten Vogelarten erhält man einen Gesamtwert für den Flughafen, der zum Vergleich mit entsprechend hergeleiteten Werten anderer Flughäfen durchaus herangezogen werden könnte. Praxisverwertbarer jedoch ist die von REICHHOLF (2002, briefl. Mitteilung) stammende Anregung, eine Berechnung für die vier phänologischen Phasen Frühjahrszug, Brut- und Aufzuchtzeit, Herbstzug und Winter getrennt zu ermitteln. Die resultierenden Summen der Indizes gäben gute Hinweise auf das im Jahresablauf schwankende Vogelschlagrisiko am Flughafen, was ein wichtiger Hinweis für die Grünlandflächenbehandlung – insbesondere Mahdtermine - und den Bird Control Dienst des Flughafens darstellte. Auch würden die Ergebnisse die tatsächliche Situation vermutlich besser wiedergeben, da in Bezug auf die Belegung der 10

Kriterien Durchschnittsbildungen lediglich innerhalb vergleichsweise homogener Zeiträume erforderlich wären und nicht über das gesamte Jahr.

4. Verifizierung der Formel

Um zu überprüfen, ob die entwickelte Formel 3 zu wahren Ergebnissen führt, sollte sie an den Ergebnissen eines validen Expertenratings gemessen werden. Dazu sollte von Experten mittels Delphi-Methode (CUHLS, K. 1998) eine Reihenfolge unter den im Frankfurter Raum beobachteten Vogelarten hinsichtlich ihre Flugsicherheitsrelevanz festgelegt werden. Sie muss anschließend auf Übereinstimmung mit derjenigen Reihenfolge verglichen werden, die sich aus den Ergebnissen der Formel 3 ergibt (s. Tab. 3). Mit Hilfe von Rangkorrelationskoeffizienten (SACHS 1978) lässt sich statistisch überprüfen, ob beide Ergebnisse signifikant von einander abweichen, oder ob nicht. Ist das nicht der Fall, so kann die Formel aus mathematischer Sicht als valide betrachtet werden. Jedoch sollte zusätzlich kontrolliert werden, ob auch unter Flugsicherheitsgesichtspunkten keine Ausreißer entdeckt werden können. Erst dann kann die Formel abschließend als treffsicher gelten.

Dank

Mein besonderer Dank gilt Herrn Prof. Dr. J. Reichholf, München, für die interessanten Anregungen insbesondere zur praktischen Anwendung der Formel und Herrn F. Henning, Pohlheim, für die Angaben zur avifaunistischen Situation im Umfeld des Flughafens Frankfurt/Main.

5. Literatur

AUHAGEN, A: *Verbal-Argumentation oder Punkte-Ökologie-Bewertungsverfahren unter der Lupe des Planers*. Dokumentation zu den Dresdner Planergesprächen am 14./15. Nov. 1997. Dresden, 1997. - S. 57-109

BASTIAN, O. & SCHREIBER, K.-F. (Hrsg.): *Analyse und ökologische Bewertung der Landschaft*. 2. neu bearbeitete Auflage. Heidelberg : Spektrum Akademischer Verlag, 1999

BERCK, K.-H. et al. ; HESS. GES. FÜR ORNITHOLOGIE U. NATURSCHUTZ (Hrsg.): *Die Avifauna von Hessen*. Band 1-4. Echzell, 1993-2000. - Eigenverlag

CUHLS, K.: *Die Delphi-Methode*. Heidelberg : Phisyca Verlag, 1998

MORGENROTH, Christoph: Entwicklung eines Index zur Berechnung der Flugsicherheitsrelevanz von Vogelarten. In: HILD, Jochen: *G 7: Vogelschlaggutachten. Der Ausbau des Flughafens Frankfurt Main*. Traben-Trarbach, 2002. – Anlage 2

SACHS, L: *Angewandte Statistik*. Berlin : Springer-Verlag, 1978

SANDBERG, R.: *European Bird Names in fifteen languages*. Lund : BTJ Tryck, 1992. - 212 S.

Anschrift des Verfassers:

Dr. Christoph Morgenroth
Haag 44
D-54497 Morbach
morgen.roth@t-online.de