

Wintervögel zählen: Zuverlässige Zählmethoden und Genauigkeitsfragen im Statistik-Unterricht

MANFRED BOROVČNIK, JÜRGEN MAAß, HELMUT STEINER UND ELENA ZANZANI

Zusammenfassung: Die Autoren verfolgen mit diesem Artikel das Ziel, zuverlässiges Zählen von Populationen für den Mathematikunterricht zu thematisieren. Dabei dient der Meldebogen von Birdlife zur Zählung von Wintervögeln als Grundlage für Beschäftigung mit Zählmethoden. Ausgangspunkt der unterrichtlichen Überlegungen ist die Frage, wie sich solche Zählungen auf die Population übertragen lassen. Unterrichtsversuche zeigen uns, dass Schülerinnen und Schüler bereit sind, den Wintervögeln zu helfen und zu diesem Zweck genauer über verbesserte Methoden zur Zählung nachzudenken. Als geeignetes Mittel zum Verständnis der Zählmethoden und ihrer Qualität bzw. Genauigkeit haben sich Simulationen von Zählungen in der Schule (auf dem Schulhof) bewährt. Mit genau geplanten und eingegrenzten Versuchsbedingungen lässt sich gut simulieren und verstehen, welche Hürden auf dem Weg zu einer genauen Zählung in der Realität zu bewältigen sind. Diese Bemühungen werden dann professionellen Methoden gegenüber gestellt. Wie geht man in der Statistik oder in der Biologie mit solchen Zählungen um?

1 Einleitung: ‚Stunde der Wintervögel‘

Mit Zählen und Zählmethoden befindet man sich mitten in einem Kerngebiet zur Leitidee Daten und Zufall für die Bildungsstandards der Sekundarstufe 1; je nach Zugang lassen sich die unterrichtlichen Bemühungen auch in den Leitideen Zahl und Messen verorten. In vielen, unterschiedlichen Kontexten spielt zuverlässiges Zählen bzw. Schätzen eine wichtige Rolle.

Wenn sich eine Schulklasse bemüht, Fragen zur Modellierung, zum Einsatz statistischer Methoden, zur Simulation von Hochrechnungen und Überlegungen zur Genauigkeit zu entwickeln und zu beantworten, kann sie sehr viel Statistik lernen und dieses Wissen nutzen, um Anwendungen der Statistik in anderen Bereichen (etwa BIG DATA, die statistische Analyse von Internetnutzungen) zu verstehen. Mit Hilfe von Informationen aus der Biologie über das Verhalten von Wintervögeln kann (fächerübergreifend) erarbeitet werden, welche Herausforderungen sich ergeben, wenn Wintervögel professionell gezählt werden sollen.

In vielen Ländern findet im Januar eine Zählung von Wintervögeln statt, also von jenen Vögeln, die über Winter bleiben. Wie genau kann eine solche „Zählung“ sein, wenn sie auf freiwilliger Beteiligung von

Menschen beruht, die sich eine Stunde Zeit nehmen, Vögel zählen und dann ihr Ergebnis auf einer Internetseite oder per Postkarte an die Organisatoren abliefern? Wir sind dieser Frage nachgegangen und dabei auf viele weitere Fragen gestoßen. Der Verein Birdlife organisiert diese internationale Vogelzählung. Alle Menschen sind eingeladen einen Meldebogen (Abb. 1) einzusenden. Gewünscht wird, dass pro Art die in einem bestimmten Beobachtungszeitraum jeweils gleichzeitig gesichtete Höchstanzahl gemeldet wird (vgl. www.stunde-der-wintervoegel.at/img/sdw2015.pdf). Die Frage nach dem Sinn der Aktion wird auf der Internetseite so beantwortet:

„Bei Kälte und Schnee freuen sich viele Vögel über das Futter, das wir Menschen ihnen anbieten. Und so mancher sonst scheue gefiederte Wintergast wurde schon am Futterhäuschen gesehen.

MELDEBOGEN

Tragen Sie hier bitte Datum und Ergebnis Ihrer Zählung ein:

<input type="checkbox"/> 03.01.2015	<input type="checkbox"/> 04.01.2015
<input type="checkbox"/> 05.01.2015	<input type="checkbox"/> 06.01.2015

<input type="checkbox"/> Amsel	<input type="checkbox"/> Haussperling
<input type="checkbox"/> Bergfink	<input type="checkbox"/> Kleiber
<input type="checkbox"/> Blaumeise	<input type="checkbox"/> Kohlmeise
<input type="checkbox"/> Buchfink	<input type="checkbox"/> Rotkehlchen
<input type="checkbox"/> Buntspecht	<input type="checkbox"/> Stieglitz
<input type="checkbox"/> Dompfaff/Gimpel	<input type="checkbox"/> Tannenmeise
<input type="checkbox"/> Feldsperling	<input type="checkbox"/> Türkentaube
<input type="checkbox"/> Grüntink	<input type="checkbox"/>
<input type="checkbox"/> Haubenmeise	<input type="checkbox"/>

Postleitzahl des Beobachtungsortes <input type="text"/> <input type="text"/> <input type="text"/> <input type="text"/> <input type="text"/>	
<small>(falls vom Winternort abweichend)</small>	
Futterhäuschen am Beobachtungsort: <input type="checkbox"/> ja <input type="checkbox"/> nein	

Abb. 1: Muster des Meldebogens zur Vogelzählung

Über unsere Vögel im Winter gibt es bislang wenig wissenschaftliche Erkenntnisse. Wie passen sie sich an die kalte und futterarme Jahreszeit an? Welche Vögel werden durch Winterfütterung gefördert, welche nicht? Wie wirkt sich der Klimawandel auf die Vögel im Winter aus?“ (www.stunde-der-wintervoegel.at/index.php?id=warum)

2 Methodische Überlegungen: Simulationen als Weg zum Verständnis

Jede Lehrkraft hat im Hinblick auf die Situation in der eigenen Schulklasse die beste Expertise. Wir wissen deshalb nicht besser als Sie, wie Sie ihre Klasse optimal unterrichten und wollen Ihnen das auch nicht vor-

schreiben. Die folgenden didaktischen Überlegungen sind unsere Hinweise und Erfahrungen. Wir schreiben sie auf, damit Sie unseren Unterrichtsvorschlag für Ihre Schulklasse auf Ihre Weise umsetzen können.

Ausgangspunkt ist unsere Einschätzung, dass schon auf den ersten Eindruck (auch bei Kolleginnen und Kollegen, die kaum mehr als Grundkenntnisse in Statistik haben) der Verdacht aufkommt, dass diese Art der Vogelzählung leicht Gefahr läuft, zu wenig genauen Ergebnissen zu kommen. Nun ist es aus unserer Sicht weder erforderlich noch didaktisch sinnvoll, dass eine Lehrkraft ihre Expertise dazu nutzt, zu Beginn einer Unterrichtssequenz zum Thema „Zählen und dadurch Statistik lernen“ eine detaillierte Analyse der eingesetzten Zählmethode und ihrer Kritik aus Expertensicht vorzutragen.

Das eigentliche Lernziel einer solchen Unterrichtssequenz ist es doch, dass die Schülerinnen und Schüler durch die intensive und eigenständige Beschäftigung mit Zählmethoden und ihren Problemen selbst wichtige Grundlagen der Statistik lernen. Wir betonen den Zusammenhang von eigenständiger Beschäftigung und selber nachhaltig Lernen ganz bewusst, indem wir im Folgenden entsprechende Vorgehensweisen – insbesondere kleine Simulationen, die auch unabhängig vom Gesamtthema durchgeführt werden können – für den Unterricht empfehlen bzw. von ihnen berichten.

Erster Schritt: Motivation

Aus unserer Sicht und Erfahrung ist es für die Lernenden motivierend, sich mit den heimischen Vögeln im Winter zu beschäftigen. Die kleinen Federbälle erwecken unmittelbar Mitgefühl, weil sie bei Eis und Schnee trotz Futtermangel überleben wollen. Folgen wir zum Beginn dieser Unterrichtssequenz der Argumentation von Birdlife, können wir durch das Zählen einen Beitrag für diese Vögel leisten. Wenn im Laufe des Unterrichts deutlich wird, dass die Zählmethode aus mathematischer Sicht durchaus verbessert werden kann, lässt sich die Motivation dahingehend erweitern, dass die Schulklasse auf dem Umweg helfen kann, die Tücken des Zählens besser zu meistern, um Birdlife und damit den Vögeln selbst zu helfen. So werden die Schülerinnen und Schüler zu kompetenten Ratgebern für das Zählen, insbesondere von Vögeln im Winter.

Zweiter Schritt: Wo treten beim Zählen Probleme auf? Problembewusstsein wecken

Als Einstieg empfehlen wir eine sehr vereinfachte Zählsimulation mit bewusst offenem Rahmen, also

ohne detaillierte Teilaufträge. Wir schlagen vor, die Schülerinnen und Schüler während der großen Pause selbst zählen zu lassen, etwa wie viele Personen auf dem Schulhof ein bestimmtes Kleidungsstück tragen (z. B. rote oder grüne Kleidungsstücke, eine Kopfbedeckung haben oder keine, Schuhe oder Sandalen anhaben etc.). In unserem Praxisversuch in einer 2. Klasse eines Linzer Gymnasiums wurden dadurch schnell Probleme eines so offenen Auftrages sichtbar.

Problem 1: Ungenaue Beschreibung der Zählobjekte

Emma berichtete von einer Auseinandersetzung mit ihrer Freundin über den Pullover von Mia. Der war eigentlich weiß, hatte aber kleine rote Punkte. Sollte der gezählt werden oder nicht? In der Klasse wurde dann darüber diskutiert, welche Farbe gezählt werden soll, wenn ein Kleidungsstück sowohl rot als auch grün ist. Oder wenn nur eine kleine Schleife grün ist, gilt das schon als grünes Kleidungsstück oder nicht?

Problem 2: Mehrfachzählungen

Einen weiteren Diskussionspunkt lieferte ein berechtigter Einwand einer Schülerin: „Wir haben beide den Pullover von Mia mitgezählt.“

Problem 3: Übersehen interessierender Objekte

Mehrfach gezählte Objekte verfälschen Zählergebnisse, genauso wie Objekte die trotz Existenz und Präsenz nicht wahrgenommen und daher nicht erhoben werden können.

Problem 4: Fehlende Festlegung eines deutlich abgegrenzten Zeitintervalls

Dritter Schritt: Aussortieren unrealistischer oder fehlerhafter Zählungen

Damit haben die Schülerinnen ganz wesentliche Probleme benannt. Wir ergänzen mit dem Blick auf die Vogelzählung noch ein paar Themen, über die sie eventuell in der Auswertung ihres ersten Zählversuches diskutieren können. Wie erkennt man, ob Zählungen realistisch sind? Wie kann man beurteilen, ob Fehler in der Zählung vorhanden sind?

Auf den ersten Blick sehen die Zahlen, die in der Versuchsklasse zusammengetragen wurden, realistisch aus. Damit fehlte der Anlass, sich zu überlegen, was zu tun wäre, wenn ein Schüler 5000 Mal „rot“ und 6000 Mal „grün“ eintragen würde. Wenn so große Zahlen genannt werden, liegt der Verdacht nahe, dass hier nicht das Ergebnis einer Zählung, sondern einfach irgendeine Zahl genannt wurde. Daraus kann sich eine sehr lehrreiche Diskussion über Filter ergeben, also den Test von Daten, die für die Auswertung tatsächlich herangezogen werden.

Solche Filter können aufgrund von Vorüberlegungen oder Schätzungen bestimmt werden. Wenn sich die Zählung auf dem Pausenhof abspielt, stellt sich die Frage, wie viele Menschen überhaupt auf dem Schulhof sind. Wenn insgesamt x Schülerinnen und Schüler diese Schule besuchen bietet es sich an, alle Zählungen mit Ergebnissen größer als $x/2$ auszufiltern. Ähnliche Filter mag man gewinnen, wenn man die Gesamtheit aller Zählungen untersucht. Das kann zu einer Regel wie dieser führen: Wenn ein Zählergebnis um mehr als 50 % vom Durchschnitt aller Ergebnisse abweicht, so wird es nicht berücksichtigt.

Vierter Schritt: Weitere Faktoren, welche die Zählgenauigkeit beeinflussen

In weiteren unterrichtlichen Versuchen sollten weitere Einflussfaktoren, welche die Güte der Zählungen beeinflussen, erarbeitet werden. Dazu wurden in der Klasse mehrere Versuche gemacht.

Erster Versuch: Einige Gegenstände, z. B. drei farbige Papierbögen (zwei blau, einer gelb), werden gut sichtbar in der Klasse verteilt, etwa an die Tafel geheftet. Frage: Was beobachten die Schülerinnen und Schüler? Wenn alle zur Tafel schauen, werden sie zwei blaue und einen gelben Papierbogen sehen. Alle beobachten also „zwei blau, eins gelb“. Offensichtlich ist die Summe der Beobachtungen nicht gleich der Anzahl der Papierbögen, wohl aber sowohl das arithmetische Mittel als auch der Median.

Was folgt daraus? Offenbar besteht die Gefahr, dass Gegenstände oder Personen mit bestimmten Eigenschaften mehrfach gezählt werden, wenn mehrere zählende Menschen sie im Beobachtungszeitraum sehen. In der Schulklasse können alle die Tafel sehen, auf dem Schulhof besteht die Möglichkeit der Mehrfachzählung und wenn die Schülerinnen und Schüler einzeln zu Hause zählen, ist die Gefahr einer Mehrfachzählung sehr gering. Wir schlagen noch zwei kleine Versuche vor, um diese Einsicht etwas zu vertiefen.

Zweiter Versuch: Was passiert, wenn wir schrittweise die Anzahl der Beobachtenden verringern? Nichts! Wenn schließlich nur noch ein Schüler auf die Tafel schaut, wird er (wenn er keine Fehler macht) zum Ergebnis „zwei blau, einer gelb“ kommen.

Dritter Versuch: Was passiert, wenn wir die Anzahl der Beobachtenden konstant lassen, z. B. fünf Personen, und die Anzahl der zu beobachtenden Objekte steigern? Alle Schülerinnen und Schüler nehmen verschiedene Objekte aus ihren Schultaschen und legen sie irgendwo in den Klassenraum. Nach kurzer Zeit haben die fünf Beobachter den Überblick verloren.

Es gibt also so etwas wie eine maximale Beobachtungskapazität, eine Obergrenze für die Möglichkeit, genau zu zählen. Diese Obergrenze kann von der beobachtenden Person, der Situation (Sichtverhältnisse) und anderen Faktoren abhängen.

Als Fazit dieses Versuches wird festgehalten, dass bei einer Vielzahl von gezählten Objekten Ungenauigkeiten auftreten können, insbesondere dann, wenn sich die Objekte bewegen. Die Ungenauigkeiten lassen sich eventuell verringern, wenn mehrere Personen gleichzeitig zählen und sich auf ein Ergebnis einigen. Es gibt auch eine technische Lösung: Wer einen Vogelschwarm oder das Geschehen rund um ein Futterhaus fotografiert, kann auf dem Foto in Ruhe genau zählen, wie viele Vögel (bis auf Überlappung) welcher Art zu sehen sind. Das ist aber ein deutlich höherer Aufwand.

Fünfter Schritt: Was machen wir mit den Zählergebnissen?

Im Praxisversuch haben die Schülerinnen und Schüler Zahlen zwischen Null und Zehn genannt, die aufgelistet wurden. Auf den ersten Blick erscheint es nun sinnvoll, diese Zahlen zu addieren, um zu einer Gesamtzahl von Menschen zu gelangen, die gezählt wurden, weil sie nach Ansicht der Zählenden zu einer gesuchten Gruppe gehören. So einfach geht es aber nicht. Weshalb?

Die Ausgangsfrage „*Was machen wir mit den Zählergebnissen?*“ lässt sich ganz offensichtlich nicht mit einer einfachen Rechenvorschrift beantworten: Alle zusammenzählen ist nur sinnvoll, wenn die Beobachtenden weit genug voneinander entfernt sind. Allerdings bleibt dann zu fragen, was diese Summe aussagt.

Wir halten fest, dass die eigentliche Antwort auf diese Frage die Schlussfolgerung ist, dass die Bedingungen, unter denen gezählt wird und die Aufgabenstellung möglichst genau vorab durchdacht und geplant werden müssen.

Bevor wir weitere Simulationen vorstellen, die hier hilfreich sein können, erwähnen wir noch eine mathematische Antwortmöglichkeit auf die Ausgangsfrage. Addieren und Mittelwerte bilden waren die ersten Ideen zur mathematischen Auswertung der Zählergebnisse. Etwas Anderes ist es, nach der *Proportion* zu fragen, d. h., nach dem statistischen Verhältnis von Leuten mit roten und grünen Bekleidungsstücken (im Beispiel mit der Pullover-Zählung). Das kann durchaus sinnvoll sein, etwa für einen Hersteller, der die optimale Farbgebung für seine Pullover plant.

Wir schlagen vor, auch an dieser Stelle die Möglichkeit zu nutzen, ein wenig mehr statistische Methodik zu erarbeiten. Wie? Die Grundidee ist, die Zählungen Einzelner mit der Gesamtheit aller Beobachtungen zu vergleichen. Einige mögen viele Pullover einer Farbe und wenige einer anderen gesehen haben (im Extremfall: 0 rot, 10 grün); insgesamt wurden etwa gleich viele Pullover beider Farben gezählt. Wurden die Zählenden durch ihre eigenen Farbpräferenzen beeinflusst? Haben sie sich z. B. im Kreise ihrer Freunde und Freundinnen aufgehalten, die bevorzugt eine Farbe tragen, weil ihr Lieblingssportverein oder ihr Lieblingsmusiker diese Farbe bevorzugt? Wenn einer solchen Frage nachgegangen wird, kann es zu einem sehr interessanten interdisziplinären Ausflug in die Philosophie kommen, zum Thema der Erkenntnistheorie und insbesondere der erkenntnisleitenden Interessen.

Sechster Schritt: Beurteilung der Beobachtungsgenauigkeit durch Simulationen

In der Reflexion ihrer Versuche sollen die Schülerinnen und Schüler mit Hilfe der Lehrkraft zur Einsicht kommen, dass sie eine solche Zählung vorher genauer planen und durchdenken müssen, wenn sie hinterher nicht so viele Zweifel am Ergebnis haben wollen. Denn, so wissen sie nun: Zählen ist nicht gleich Zählen. Einige Ideen werden notiert:

- Wir könnten statt einer Strichliste genau notieren, wen wir gesehen haben, etwa „Susanne aus der 3b trug einen Schal mit roten Punkten. Und grüne Handschuhe!“
- Wir können uns nach einem vorher überlegten Plan so auf dem Schulhof verteilen, dass wir alles möglichst gut sehen.
- Wir können den Schulhof in Teilflächen aufteilen, die jeweils von drei von uns genau beobachtet werden. Weshalb drei von uns? Wegen der wechselseitigen Kontrolle!
- Wir müssen vorher unbedingt festlegen, was „rotes“ (oder „grünes“) Kleidungsstück meint: Ganz rot, hellrosa, rote Punkte oder Streifen ...?
- Schön wäre es, wenn die Gezählten aktiv mitwirken, etwa sich selbst nach genauen Vorgaben (etwa zu Farbmustern, Punkten, Streifen in der Kleidung) einer Gruppe (rot, grün, rot und grün, keines von beiden) zuordnen und das in eine Liste (eventuell auch online) eintragen. Können wir dazu etwas tun, etwa sagen, dass wir einen Preis verlosen unter denen, die einen roten (oder grünen) Schal tragen? Beeinflusst man damit die

Meldungen, wenn die Kinder meinen oder merken, dass wenige ein grünes Bekleidungsstück tragen?

- Können wir die anderen nicht wenigstens bitten, ein paar Minuten still zu stehen?
- Gibt es bessere Beobachtungsplätze, etwa ein Fenster im ersten Stock? Könnten wir dann ein Foto machen und dieses anschließend in Ruhe auswerten?

Simulation zur Verbindung von Geometrie (Sichtbereich) und Zählung: Die zu beobachtende Fläche wird in Sichtbereiche („Planquadrate“) eingeteilt, für die je zwei oder drei Beobachtende zuständig sind. Im ersten, einfachsten Fall gibt es nur eine kleine Gesamtfläche, einen offenen Sichtbereich, fix verteilte Objekte und fixe, gut gewählte Beobachtungsplätze. Im Laufe des Versuches sollen diese Bedingungen immer weiter gefasst werden, um sich der realen Situation der Vogelzählung anzunähern.

Beachtenswert ist, dass es den Schülerinnen ganz zentral um Überlegungen zur „korrekten“ Methodik des Zählens ging, aber kaum um die Frage, wie viele Personen tatsächlich eine rote oder grüne Bekleidung trugen.

Siebenter Schritt: Weitere Simulationen zur Zählung bewegter Objekte

Der erste Gedanke gilt der Gefahr einer Mehrfachzählung. Wenn sich eine Gruppe von Personen mit grünen Schals (etwa Fans eines Sportvereins) ganz bewusst gemeinsam und gut sichtbar über den Schulhof bewegt, um ihre Freude über den Sieg ihres Teams deutlich zu machen, wird diese Gruppe vermutlich mehrfach gezählt und verfälscht das Ergebnis. Wenn nicht ganz genau dokumentiert und beim Zusammentragen der Ergebnisse nachgefragt wird, welche Personen gezählt wurden, fällt diese Verfälschung auch nicht auf. Ähnlich mag es beim Vogelzählen sein, wenn etwa ein Schwarm Krähen in relativ großer Höhe über einen Stadtteil fliegt und von mehreren Beobachtern gesehen und gemeldet wird. Was fällt uns ein, um diese Mehrfachzählung zu vermeiden bzw. im Datensatz zu berücksichtigen?

Genauere Dokumentation: Wir raten auch hier zu einer kleinen Simulation im Klassenraum, um schrittweise herauszufinden, wie genau eine Dokumentation einer Zählung sein muss, damit tatsächlich zweifelsfrei Fehler ausgeschlossen werden können. Da im Klassenraum alle Personen bekannt sind, bietet es sich als Lösung an, die Schülerinnen und Schüler mit Namen und gesuchter Eigenschaft (etwa „roter Pullover“) zu

aufzulisten. Dann spielt es keine Rolle, wie die gezählten Personen sich während der Zählung bewegt haben, wie oft sie gezählt worden sind etc. Lässt sich diese Methode auf eine Zählung mit vielen auch unbekanntenen Personen oder auf die Zählung von Vögeln im Winter übertragen? Offenbar geht das nicht.

Wie genau soll dokumentiert werden? Was geht sonst? Uns fällt dazu eine aufwendige Methode ein, bei der alle Beobachtenden ganz genau aufschreiben, zu welchem Zeitpunkt sie welche Fläche im Blick hatten. Der Aufwand steigt noch, wenn über einen längeren Zeitraum in kurzen Zeitabständen dieselben Flächen beobachtet werden – so entsteht ein kaum auswertbarer Datenfriedhof.

Momentane Beobachtung: Wenn der Beobachtungszeitraum so stark verkürzt wird, dass die Bewegung der zu beobachtenden Menschen oder Vögel keine Rolle spielt, ist das Problem gelöst. Die Anweisung wäre in einem solchen Versuch etwa: Zählt um Punkt 10 Uhr maximal 10 Sekunden lang. Im Grund genommen ist das die Idee des Fotos, aber ohne Fotoapparat und daher im Nachhinein nicht überprüfbar.

Wir halten als kleines Zwischenfazit fest, dass eine genaue Zählung selbst bei so scheinbar einfachen Merkmalen wie der Farbe von getragenen Bekleidungsstücken sehr schwierig oder sogar unmöglich ist. Wir können nicht einmal eine Prozentzahl für die Zuverlässigkeit einer Zählung angeben, weil dazu notwendige Parameter fehlen und z. T. prinzipiell nicht feststellbar sind. Hier eröffnet sich die Chance zu einer ersten Überlegung zu BIG DATA – aufgrund welcher Zählung und mit welcher Genauigkeit oder Zuverlässigkeit werden etwa Informationen über Personen, die das Internet nutzen, gespeichert und welche Information werden gespeichert?

Wenn der Wunsch besteht, viele Beobachtungen durchzuführen (etwa bestimmte Merkmale wie die Farbe von Bekleidungsstücken aller Menschen in der Fußgängerzone) und dafür zu wenige Personen zur Verfügung stehen, um alle gleichzeitig von fixen Beobachtungsposten aus zu zählen, kann an dieser Stelle die Idee der *repräsentativen* Zählung ins Spiel gebracht und ausprobiert werden.

Die Grundidee ist vermutlich in der Schulklasse schon irgendwie bekannt, auch wenn sie noch nicht unterrichtet wurde: Wenn wir etwa uns auf z. B. 10 % der Gesamtfläche der Fußgängerzone oder Schulhofes konzentrieren und zugleich annehmen, dass sich die Personen mit verschiedenfarbigen Kleidungsstücken auf der gesamten Fläche etwa gleichmäßig verteilen, können wir aus der Zählung von Personen

auf der kleineren Beobachtungsfläche hochrechnen, wie viele Personen mit welchen Bekleidungsstücken auf der gesamten Fläche sind (bzw. im Beobachtungszeitraum dort waren). Mit der Frage, ob wir die gezählten Werte einfach mit Zehn multiplizieren dürfen, eröffnen wir die Tür zu einem weiteren wichtigen Themengebiet der Statistik, nämlich der Planung der Datengewinnung und dem Einsatz von Zufall zur Ermittlung der Daten.

3 Schlüsse aus dem Unterricht für gutes Zählen

Aber was bedeutet das für die Vogelzählung? Offenbar ist es sehr schwer bis unmöglich, einen Vogelschwarm exakt zu zählen. Wenn die Vögel etwa in einer Hecke sitzen und von dort zu einem Futterhaus fliegen, kommen die beiden Faktoren schlecht erkennbar (in der Hecke) und viel Bewegung zusammen. Hier wird es schon ab ca. 10 Vögeln schwer, genau zu zählen. Wenn viele Krähen im Schwarm fliegen, ist es schwer, sie zu zählen, obwohl sie am Himmel gut erkennbar sind. Ab welcher Zahl von Vögeln ein Übergang vom Zählen zum Schätzen („das waren mindestens 20 Krähen!“) stattfindet, hängt von den Beobachtenden und vielen anderen Umständen (Sichtverhältnisse, Erfahrung der Beobachter etc.) ab. Wenn zwei oder mehr Personen dieselbe Gruppe von Vögeln beobachten und dann ihre Ergebnisse austauschen und abgleichen, wie viele Vögel sie gesehen haben, wird die Beobachtung meist genauer. Allerdings kann es auch sein, dass jemand mit viel Überzeugungskraft falsch zählt und sein Ergebnis gegen jene „durchsetzt“, die genauer gezählt haben.

Die hier aufgeschriebenen Ideen zum Mathematikunterricht (z. T. Fächer übergreifend, also in Kooperation mit Biologie) wurden in der Schule von E. Zanzeni („ich“) erprobt. Aus Platzgründen können wir hier darüber nur in Kürze berichten.

Erste Einheit: Fazit für die Vogelzählung

Die Schulklasse schaut sich den Meldebogen genauer an, und stellt fest, dass aus den eingesendeten Daten nur wenig über die genauen Umstände der Beobachtung zu schließen ist: Nur die Postleitzahl des Beobachtungsplatzes wird gefragt. Daraus lässt sich selbstverständlich nichts Genaueres über die tatsächliche Beobachtung (Sichtbereich, Einschränkungen, Genauigkeit und Qualifikation des Beobachtenden etc.) schließen. Es ist auch nicht möglich zu überprüfen, ob und inwieweit sich die Sichtbereiche überschneiden, ob also eventuell die gleichen Vögel mehrfach gezählt wurden. Es könnte es sogar sein,

dass eine Gruppe von Personen gemeinsam bei einem Spaziergang die Vögel zählt. Anschließend geben alle einzeln ihre Beobachtung ein – und verfälschen so das Gesamtergebnis.

In der nächsten Mathematikstunde wiederholten wir die wesentlichen Punkte zur Verbesserung des Erfolges bei einer Zählung. Folgende Stichwörter wurden von den Schülerinnen notiert: „Richtige“ Zählungen – Wie?; Momentaufnahme (Foto); Liste; Kennzeichnung der bereits Gezählten (Doppelzählungen vermeiden; Hochrechnung).

Eine Schülerin meinte, man sollte die beobachteten Personen „stoppen“, sprich ihnen jegliche Bewegung untersagen, um sie besser beobachten bzw. erfassen zu können. Ich erklärte in diesem Zusammenhang den Begriff der „Momentaufnahme“, sprich (gedanklich) ein Foto der Situation zu machen, um die Zählung einfacher vornehmen zu können. Vom Stichwort „Momentaufnahme“ ausgehend leitete ich die eigentliche Thematik der Wildvögel-Zählung ein.

Zweite Einheit: Adaption der Erkenntnisse auf die Zählung von Wildvögeln

Ich stellte die Frage, ob man Zugvögel auf den Vogel genau zählen könne. Nach der Auflistung der Probleme, die bei Zählungen auftreten konnten bzw. der Suche nach Lösungsmöglichkeiten dazu, verneinten alle Schülerinnen meine Frage eindeutig. In der Situation konnte ich niemand konkreten drannehmen, da sehr viele im Affekt lautstark auf meine Frage antworteten. Diese eigentlich kollektive Verneinung meiner Frage empfand ich als großen Erfolg dieser Lernsequenz. Ich denke, dass ohne die Vorbereitung der Kinder auf dieses Thema die meisten von ihnen intuitiv geantwortet oder vor einer Antwort sehr lange überlegt hätten. Die vermittelten Fakten machten aber eine klare und richtige Stellungnahme von Seiten der Mädchen möglich.

Nun ließ ich von den Kindern in Gruppenarbeit mögliche Gründe für die Verneinung meiner zuvor gestellten Frage erörtern. Ich habe nachstehend ihre Angaben zusammengefasst:

- Sie bewegen sich (Wasser, Luft, Erde).
- Sie können sich verstecken.
- Sie sind auf der ganzen Welt verstreut.
- Sie sind in großer Zahl vorhanden.
- Sie stürzen ab.
- Sie vermehren sich schnell.

Am Ende dieser Stunde stellte ich eine eigentlich rhetorische Frage, ob es sinnvoll ist, als Hausübung bis zum nächsten Tag eine Zählung der gesehenen Zugvögel zu geben. Dies verneinten die Schülerinnen

abermals, da ihrer Meinung nach keine aussagekräftigen Werte herauskommen könnten. Sie bekamen also keine Hausübung.

Dritte Einheit: Wildvögel effizient zählen

In der dritten Einheit erarbeiteten wir Ansätze, Wildvögel effizient zu zählen. Im Hinterkopf behielten die Schülerinnen, dass es unmöglich ist, alle lebenden Wildvögel genau zu zählen und dass Daten darüber höchstens approximativ richtig sein können.

Die Mädchen erkannten, dass eine Einzelperson aufgrund mangelnder Technik nicht in der Lage ist, eine solche Zählung vorzunehmen. Weiters erarbeiteten wir ein Konzept, wie grundsätzlich an eine Zählung solcher Dimension heranzugehen sei.

Im Unterricht kamen hier folgende drei äußerst valide Vorschläge:

Schwärme zählen: Die Schülerinnen meinten, man sollte nicht die einzelnen Tiere zählen, sondern die Schwärme. Die Anzahl der Tiere in den Schwärmen könnte entweder geschätzt oder ungefähr anhand der Größe des Schwarms ermittelt werden.

Hochrechnung: Da in der letzten Einheit der Begriff „Hochrechnung“ erklärt wurde, kam eine Schülerin auf diese zurück. Sie meinte, man könne die Vögel in der Körnerstraße zählen und daraus ungefähr schließen, wie viele es in ganz Linz gäbe.

Kennzeichnung: Eine Schülerin erinnerte sich an eine Sendung im Fernsehen über eine Naturschutzgruppe, die seltene Vögel beobachtete. Sie steckten den Tieren mit Nummern versehene Ringe an die Füßchen und konnten so die einzelnen Tiere identifizieren und zählen.

Die Schülerinnen haben mit ihren sehr passenden Vorschlägen eine gewisse Kompetenz bzw. Affinität in Bezug auf das Thema „Wildvögel-Zählung“ bewiesen. Abschließend ist noch anzumerken, dass die Mädchen mit Hilfe der beschriebenen Einheiten einen sehr vorteilhaften Zugang zum Thema erfahren haben. Sukzessive wurden sie für die mit einer Wildvögel-Zählung verbundenen Problematik sensibilisiert. Sie konnten sich sowohl mit den gebotenen Inputs der Lehrperson als auch mit ihren eigenständigen Überlegungen ihre eigene Meinung zum Thema bilden und bauten auf diese Weise besagte Kompetenz im Hinblick auf die Thematik auf.

Wie bereits zuvor erwähnt, war die kollektive Verneinung der Frage, ob man alle Wildvögel auf der Erde zählen könne, für mich als Lehrperson ein großes Erfolgserlebnis und letztendlich auch ein Feedback dafür, dass die Problematik von den Schülerinnen wirklich aufgenommen und verstanden wurde.

Es mag überraschen, dass die Schülerinnen auf den fächerübergreifenden Unterricht sehr positiv reagierten; durch ihre eigenen Analysen konnten sie die Möglichkeiten der Mathematik viel besser einschätzen. Sie hatten jedenfalls keine Schwierigkeit, anzuerkennen und zu erkennen, dass die Ergebnisse solcher Zählungen unscharf sind und nicht das messen können, was sie vorgeben, auch wenn das in der Öffentlichkeit weitgehend anders gesehen wird. Da werden die Zählergebnisse mit dem tatsächlichen Bestand oder dessen Veränderung assoziiert, und daraus Trends abgeleitet (siehe Thüringer Allgemeine, o. D.; Naturschutz in Bayern – Landesbund für Vogelschutz, o. D.; Südwestrundfunk, o. D.).

4 Wie Experten Vögel zählen

In diesem Abschnitt berichtet ein Ökologe, wie Naturwissenschaftler Vögel zählen. Dabei geht es um Methoden, die zum Erfassen des Bestands entwickelt worden sind, sowie um die besonderen Umstände, welche bei der Erfassung des Vogelbestands im Winter auftreten. Wie man professionell Vögel zählt, welche Ansätze es dazu gibt, welche spezifischen Probleme dabei auftauchen können, kann für den Statistikerunterricht weitere Anregungen liefern.

Generell werden Vogel-Erfassungen grob in flächenhafte (Revierkartierung), linienhafte und punkthafte Erfassungen unterteilt (Landmann et al. 1990, Bibby et al. 1995). Außerdem unterscheidet man Totalerfassungen (z. B. Weißstorch) und die Schätzung von Proportionen; (man spricht dann von relativen Abundanz). Je nach Fragestellung, Zeitbudget und Gelände wird die Methodik gewählt. So empfiehlt sich die Linientaxierung (Transekt-Kartierung) für Bestandsaufnahmen entlang linienförmiger Strukturen wie z. B. Bächen oder Hecken. Die meisten ökologischen Informationen gewinnt man aus der zeitaufwändigen Revier-Kartierung (z. B. Scherzinger 2006, Steiner 2014).

Zahlreiche Faktoren beeinflussen nun Wintervogelbestände an sich sowie die Bestandsaufnahme in Form einer Zählung etwa an einem Futterhaus (vgl. Gatter 2000, Berthold et al. 2003):

- Nahrungsangebot: vor Ort, alternatives Nahrungsangebot in den Wäldern (Mastjahre von Buche, Fichte u. a.); aber auch in den Herkunftsgebieten (Nordeuropa, Russland usw.).
- Witterung: Lokal (u. a. Schneedecke, Niederschlag, Raureif, Eisregen) aber auch in den Herkunftsgebieten (Nordeuropa, Russland).

- Zwischenartliche Interferenzen: positive wie negative Beeinflussung des Auftretens.
- Feinde: Feindspektrum (wer sind die Feinde; wie stark sind die vertreten); Deckung, Vegetation und Fluchtdistanz: ist die Entfernung der Deckung von der Futterstelle zu groß, nimmt das Risiko gegenüber Feinden zu.
- Seuchen und Krankheiten.

Nahrungsangebot: Die Frage, ob eine Futterstelle im Garten vorhanden ist und wie sie beschickt wird, spielt eine Rolle für das erwartbare Artenspektrum (nur Körnerfresser-Futter, oder auch Weichfutter: Rotkehlchen, Drosseln, Seidenschwänze etc.). Bei gutem Nahrungsangebot in den Wäldern durch Samenschüttung (durch warme Witterung, wie in den letzten Jahren) besteht für Arten wie Finken, Kleiber, Meisen und Spechte eine geringere Notwendigkeit, die Nähe von Siedlungen aufzusuchen.

Witterung: Hohe Schneelagen erschweren das Erreichen von Samennahrung im Wald und können zu verstärktem Aufsuchen von Siedlungen führen. Bei milder Witterung im hohen Norden bleiben mehr Zugvögel (Wintergäste) in diesen Breiten.

Interferenzen: Die Anwesenheit dominanter Arten kann eine unterlegene Spezies zurückdrängen. Wird ein Feind von Dritten verdrängt, so kann das für die Verbreitung von Vorteil sein (siehe die teilweise Verdrängung des Sperbers durch den Habicht weiter unten). Das Prädationsrisiko strukturiert Vergesellschaftungen von Meisentrupps (Krams & Thiede 2000). Subdominante Individuen müssen außen am Baum Nahrung suchen, wo das Prädationsrisiko durch Luftfeinde (Sperber, Sperlingskauz) am höchsten ist. Sogar der Tagesgang der individuellen Körpermasse wird vom Prädationsrisiko gesteuert (vgl. Gosler et al. 1995). Zu fette Individuen haben geringere Überlebenschancen, da ihre Fluchtfähigkeit abnimmt. Werden Singvögel zu stark gefüttert, so könnten sie gerade dadurch leichter zur Beute werden, sodass der Bestand abnimmt.

Feinde: Das Feindspektrum ist langfristig nicht konstant; die Sperberbestände (Beeinflussung von Kleinvögeln) waren in den 1970er Jahren durch Pestizide fast erloschen und haben sich seitdem wieder erholt (Gatter 2000). Der Hauptfeind des Sperbers, der Habicht, dringt neuerdings jedoch verstärkt in urbane Bereiche vor, verdrängt den Sperber und könnte dadurch Kleinvögel indirekt fördern (vgl. Sergio & Hiraldo 2008).

Die Nähe der Futterstelle zu Deckung ist ein wichtiger Faktor, weil die Flucht vor dem Sperber in die

Deckung für viele langsamere Arten wie z. B. Meisen eine überlebensnotwendige Strategie ist (Hinsley et al. 1995). Aber auch für schnellfliegende Arten wie z. B. Watvögel spielt die Nähe zur Deckung für das Überleben eine wichtige Rolle, aber umgekehrt; vorhandene Deckung dient nämlich ihren Flugfeinden zum „Anpirschen“ (z. B. Whitfield 2003) und stellt damit eine Gefahrenquelle dar. Auch die Zugwege werden vom Feindspektrum beeinflusst (Ydenberg et al. 2004).

Generell hat sich die Gartenkultur in der mitteleuropäischen Landschaft stark verändert; dominierten früher Nutzgärten, so sind heute Zierkoniferen stark verbreitet, was sich aufgrund der besseren Deckung stark auf die Zusammensetzung der Vogelwelt auswirkt; etwa wurde dadurch die Elster stark gefördert (Gatter 2000).

Arten mit großer Fluchtdistanz wagen sich kaum in die Nähe von Winterfütterungen. Die Fluchtdistanz ist dabei keine Konstante, sondern hängt von der regionalen Verfolgung durch den Menschen ab und kann sich auch zeitlich ändern, wie etwa bei Gänsen, Reiher, Greifvögeln, Uhu etc. Auch innerhalb derselben Art schwankt die Fluchtdistanz zwischen ruralen und urbanen Gärten, wie etwa bei der Amsel.

Am leichtesten lassen sich Schlussfolgerungen bei Arten ziehen, deren Bevölkerungsdichte in Invasionsjahren um mehr als das Hundertfache schwanken kann, wie beim Seidenschwanz.

„*Methodisch schwierige*“ Arten: Dazu zählen heimliche, akustisch unauffällige, in geringer Siedlungsdichte, in dichter Vegetation versteckt und/oder nächtlich lebende Arten wie manche Eulen, Rallen, Haselhuhn, Wachtel, Waldschnepfe, Kernbeißer, Turteltaube, Baumfalke, Wespenbussard und manche Spechte (vgl. Steiner 1998). Diese teils nur im Sommer anwesenden Arten sind oft von besonderer Naturschutzrelevanz; wegen ihrer Gefährdung stehen sie auf „Roten Listen“ oder im Anhang 1 der EU-Vogelschutzrichtlinie.

Diese Arten sind nur durch mehrjährige Felderfahrung und gezielt angepasste Suchmethoden erfassbar. Bei herkömmlichen Erfassungen (wie etwa bei Brutvogelatlant) durch durchaus versierte Amateurornithologen wird die Verbreitung dieser Arten um 50–80 % unterschätzt (Steiner 2003). Offenbar ist einiges Vorwissen über Vogelarten und Verhaltensweisen von Vögeln in verschiedenen Jahreszeiten unabdingbar, wenn genau gezählt bzw. geschätzt werden soll.

5 Statistische Notizen

Es ist bemerkenswert, dass man in der Schule in kurzer Zeit bereits so nachhaltige Ergebnisse erzielen kann. Man denke nur an das eine Fazit: Die Bedingungen, unter denen gezählt wird und die Aufgabenstellung müssen möglichst genau im Voraus durchdacht und geplant werden. Wenn wir die eine oder andere empirische Studie lesen, haben wir den Eindruck, dass diese Schlussfolgerung noch immer zu wenig Beachtung findet.

Systemanalyse

Egal, welches statistische Problem sich aus einer Frage in der „Realität“ ergibt, man muss durch eine so genannte Systemanalyse die eigentliche Frage präzisieren und auf eine statistische Frage transformieren. Man muss die genauen Bedingungen der Datenbeschaffung angeben, erst dann wird es möglich, sinnvolle Daten zu erhalten und die Ausgangsfrage einigermaßen zu beantworten. Ohne Vogelforscher zu sein (wobei wir nach dem Kapitel über professionelles Zählen von Wildvögeln jetzt nicht mehr unbedarft sind), könnte man das Problem des Zählens der Wintervogel so umreißen.

Beobachter: Interessen des Beobachters (bekommt den Preis, möchte zum Naturschutz beitragen), Genauigkeit, steht im Garten oder bewegt sich (rasch) durch die Gegend, sucht die Planquadrate systematisch ab.

Methode der Beobachtung: Vogelflug oder Nestsuche. Futterhaus oder nicht. Fernglas oder direkt.

Methode der Zählung: Direkte Zählung. Zählung in Quadranten. Zählung im Zeitfluss.

Ort der Beobachtung: Innerhalb oder außerhalb verbauten Gebietes. Garten, Futterhaus, Wald, Dorfstraße. Planquadrate oder zufällige Beobachtungseinheiten.

Umstände der Beobachtung: Tageszeit, Sonnenschein, Temperatur. Allgemeines Wetter wie Regen oder Schneefall, Jahreszeit etc.

Vögel: Arten verhalten sich unterschiedlich. Eine bestimmte Vogelart hat Präferenzen, wo sie sich aufhält. Vögel fliegen im Schwarm, in kleinen Gruppen, vereinzelt, in Paaren, oder allein.

Wenn sich Vögel ohne Präferenzen verhalten, also immer dieselben Übergangswahrscheinlichkeiten für den neuen Ort haben, unabhängig von Tageszeit oder Wetter, keine Bevorzugung des Ortes, so ist es egal, wo der Beobachter steht und man kann die Auswirkung seiner Bewegung gut simulieren.

Bewertung der Datenqualität

Hat man dann die Daten gewonnen, ist es ganz wesentlich, die Datenqualität zu überprüfen. Das was die Lernenden im Unterricht so eingehend hinterfragt haben, wird in der Praxis leider nicht immer so ernst genommen, wie es dem Anlass entspräche. Wir nehmen jetzt Daten aus einer Zählung von roten und grünen Pullovern (die nicht auf dem Schulhof entstanden sind) und zeigen, wie man einzelne Daten zur Gesamtheit in Beziehung setzen kann, um damit deren Validität zu prüfen. Folgende Daten seien zustande gekommen (Tabelle 1).

Es ist sehr schwierig, zu prüfen, wo und an welcher Stelle Fehler bei der Datenerhebung aufgetreten sind. Hier kann man sich durch sorgfältige Dokumentation helfen. Aber wie prüft man, dass beim Zählen tatsächlich Bedingungen geherrscht haben, dass die erhobenen Daten eine valide Basis zur Beurteilung der Gesamtzahl ermöglichen? Ein Weg ist, sich die Daten auf Plausibilität anzusehen. Eine mögliche Vorgangsweise wollen wir durch die folgenden Abbildungen (2 und 3) illustrieren.

Statt formaler Regeln zur Identifikation von Ausreißern anzuwenden, stellen wir die Daten in einer

Nr.	1	2	3	4	5	6	7	8
R	58	67	32	3	3	3	54	87
G	22	34	24	1	1	1	36	45
Nr.	9	10	11	12	13	14	15	16
R	76	65	36	61	223	5555	37	56
G	32	56	45	41	136	6666	76	67
Nr.	17	18	19	20	21	22	23	
R	81	63	28	49	76	65	47	
G	51	43	15	29	45	71	27	

Tab. 1: Ergebnisse von verschiedenen Beobachtern – Anzahl roter (R) und grüner (G) Pullover

Punktwolke dar und stellen rasch fest, dass die Beobachtungen Nr. 14 und dann Nr. 13 so weit weg von den anderen sind, dass sie als nicht valide gelten können; sie werden daher ausgeschieden (Abb. 2).

Der Rest der Daten (Abb. 3) erscheint nun recht homogen. Allerdings, wenn man berücksichtigt, dass die Proportion zwischen der Anzahl grüner und roter Pullover in der Gesamtheit einen bestimmten Wert hat (hier geschätzt 0,693), so fällt der Punkt Nr. 15 bzw. der dahinter stehende Beobachter gänzlich heraus: das Verhältnis ist beinahe 2. Auch dieser Wert

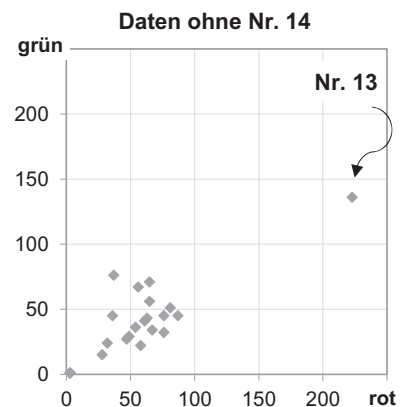
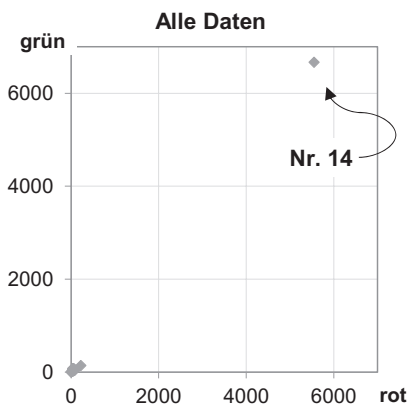


Abb. 2: Die ersten zwei Schritte zeigen, wie sehr Nr. 14 und 13 von den übrigen Beobachtungen abweichen

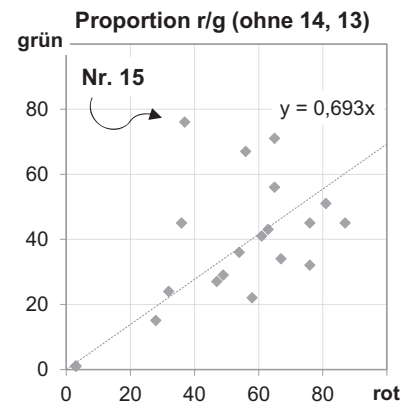
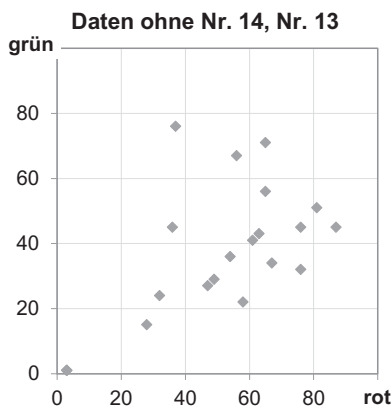


Abb. 3: Prüfen der Daten auf interne Konsistenz. Links: Die Daten scheinen zueinander zu passen. Rechts: Nach dem Kriterium ‚Proportion zwischen grün und rot‘, weicht auch Nr. 15 stark von den übrigen ab.

entspricht nicht einer validen Erfassung der Anzahlen roter und grüner Pullover.

Hier werden die einzelnen Beobachter validiert und als unzuverlässig ausgeschieden, wenn die Ergebnisse von denen der anderen zu extrem abweichen. Das haben wir einfach an den Punkten (in Abb. 2; rote, grüne Pullover) sehen können. Diese Beobachter (Nr. 13 und 14) haben in beiden Merkmalen viel zu große Anzahlen verzeichnet.

In Abb. 3 ziehen wir ein anderes Kriterium zur Beurteilung des Beobachters heran. Wenn die Beobachtungen „unabhängig“ von den speziellen Umständen sein sollen, dann müssten alle Beobachter die roten und grünen Pullover im selben Verhältnis zählen. Dies deshalb, weil man dann davon ausgeht, dass die Daten jedes Beobachters einer „Stichprobe“ entsprechen.

Nach dieser Bewertung hat Beobachter Nr. 15 viel zu viele grüne Pullover beobachtet im Verhältnis zu roten. Das nährt den Verdacht, dass hier andere, eben nicht repräsentative Verhältnisse einen wesentlichen Einfluss genommen haben. Im Extremfall könnte man auch annehmen oder überprüfen, ob sogar bewusst Manipulationen an den Daten vorgenommen wurden oder ob der Beobachter – etwa aufgrund von eigenen Präferenzen – ganz einfach auf grüne Pullover mehr geachtet hat als auf rote.

Auch hier ist nicht von vornherein festgelegt, ob man nur die Punkte selbst (wie gut sie zueinander passen) beurteilt, oder ob man die Abweichung einzelner Punkte von so genannten Trends (die Schätzung des Verhältnisses von grünen und roten Pullovern insgesamt) als Maßstab nimmt. Diese Offenheit ist typisch für eine explorative Datenanalyse im Sinne von Borovcnik & Ossimitz (1987).

Repräsentative Methoden zur Erhebung

Planquadrat oder ausgewählte Beobachtungsfelder können den Erhebungsaufwand enorm reduzieren. Wie wählt man aus? Da sowohl das Verhalten der einzelnen Vogelarten unterschiedlich ist und ferner Bestand und Bestandsaufnahme für die einzelnen Vogelarten extrem von lokalen Gegebenheiten beeinflusst werden (strenger Winter, Feinde, schlechtes Wetter, Tageszeit etc.; siehe Abschnitt 4), muss man hier – je nach Fragestellung – einen Erhebungsplan erstellen. Leichter ist es, wenn man einzelne Vogelarten monitoren will. Aber Birdlife will ja die Gesamtheit der Wintervögel überschauen.

Eine Idee ist es, repräsentative Beobachtungsfelder zu ermitteln und diese gezielter zu beobachten. Eine

andere Idee, welche man in „geschlossenen“ Lebensräumen anwenden kann, ist die Capture-Recapture-Methode. Wir geben dazu noch einige Hinweise weiter unten.

Zielfrage: Ermittlung des Bestands

Der Bestand, speziell der Wintervögel ist schwer zu schätzen, das haben die Kinder ja erstaunlich genau aufgearbeitet. Bei Birdlife wird die Meldung der maximalen Zahl innerhalb der Beobachtungsstunde gefragt: wenn man einmal 2, dann 6 und schließlich 3 Meisen gleichzeitig – am Futterhäuschen (oder sonst wo) beobachtet hat, so sind 6 Meisen zu melden. Die Angabe des Maximums vermeidet klarerweise Doppelzählungen. Der Nachteil ist aber, dass das Maximum nicht ganz so einfach mit dem Bestand zusammenhängt. Außerdem können die verschiedenen, angesprochenen Faktoren unterschiedlich Einfluss nehmen, wie das Maximum mit dem gegebenen Bestand zusammenhängt.

Die Grundannahme bei Birdlife scheint zu sein, dass sich diese unterschiedlichen Faktoren durch die vielen Zähler so ausgleichen, dass grobe Abweichungen dadurch herausgemittelt werden. Es ist nicht ganz klar, ob sie Datenfilter verwenden und wie sie diese verwenden, um auffällig abweichende Meldungen auszusortieren. Auf Rückfragen haben Mitarbeiter sehr zurückhaltend reagiert. Da wohl Kritik erwartet wurde, haben sie sich darauf zurückgezogen, dass das Hauptanliegen gar nicht die Zählung der Wintervögel ist, sondern auf das Problem des Schwindens aufmerksam zu machen.

Veränderungen im Bestand sollten aber erkennbar werden. Jedenfalls, wenn die Beobachter, das Wetter und alle andere Einflussgrößen wie Wetter, Strenge des Winters, Feinde etc. gleich geblieben sind (*ceteris paribus*). Wenngleich eine direkte Umrechnung auf Bestandsänderungen schwierig sein sollte wegen des Maximums. Man könnte von Simulationsstudien ablesen, wie sich das Maximum der Beobachtung verändern sollte, wenn sich der Bestand ändert; allerdings muss man dabei wieder auf die Annahme zurückgreifen, dass die Bedingungen in den verschiedenen Jahren und für die verschiedenen Vogelarten gleich sind.

Aufteilung der Vögel auf Arten: Es wäre ja immerhin interessant, zu wissen, wie sich die Anteile verschiedener Arten entwickeln. Wir haben ja die Proportionen untereinander betrachtet, allerdings um die Datengüte zu beurteilen. Man könnte Veränderungen in den Proportionen im Laufe der Jahre auf Änderungen in der Zusammensetzung der Wintervögel

zurückführen. Allerdings erweist sich das als relativ schwierig, weil sich die lokalen Bedingungen und die Bedingungen im Lauf der Jahre ändern und sich damit auf die Proportionen auswirken können. Wenn diese Faktoren wieder die alte Konstellation einnehmen, „stimmen“ dann die Proportionen wieder.

Die Aufteilung der Vogelarten ist allerdings auch von den Präferenzen der Vögel abhängig, nicht nur, weil ja viele Zählungen vor dem Futterhaus erfolgen. Bestimmte Vögel, die sich selbst versorgen oder die kein entsprechendes Futter bekommen, werden daher unterrepräsentiert sein.

Bleibt auch von der statistischen Seite das Fazit, dass Birdlife ein sehr ehrgeiziges Programm hat, aber die Ziele – sei es Bestandserhebung oder Entdecken von Bestandsveränderungen oder Aufteilung der Vögel auf Arten – nur schwer einlösen kann.

Wer hätte gedacht, dass Zählen so schwierig ist!

6 Epilog

Die Vorgangsweise im Unterricht entspricht einem explorativen Umgang mit Fragen und Daten. Borovcnik & Ossimitz (1987) beziehen sich auf bestehende Daten und zeigen, wie man Methoden interaktiv entwickeln kann, um anstehende Fragen aus dem Kontext zu erörtern. Borovcnik (1990) legt den Schwerpunkt auf Techniken der explorativen Datenanalyse im Vergleich zur traditionellen beschreibenden Statistik; diese explorativen Techniken sollen besonders gut geeignet sein, weil die verwendeten Kennziffern einfach zu verstehen und anzuwenden sind. Wie sehr man einfache Methoden der Beschreibenden Statistik benötigt, zeigt sich immer wieder im Umgang mit Daten in der öffentlichen Diskussion, etwa wenn es um die Erfassung von Arbeitslosen geht (Krüger 2012).

Der Unterricht in beschreibender Statistik kann gar nicht als wichtig genug eingeschätzt werden. Orientierung mag der Aufsatz von Sill (2014) liefern, die Möglichkeiten eines diesbezüglichen Unterrichts loten Krüger, Sill & Sikora (2015) eingehend aus.

Im vorliegenden Aufsatz soll aufgezeigt werden, wie spannend der Bereich der beschreibenden Statistik unterrichtet werden kann und wie sehr man sich mit den Problemen der Datenerfassung beschäftigen muss, damit die gewonnenen Daten aussagekräftig werden. Die Daten einfach hinzunehmen und in Verfahren einzusetzen führt zu wenig validen Ergebnissen. Wie artifiziell Daten eigentlich sein sollten, damit sie als Basis für die Bearbeitung realer Fragen taugen, sieht man auch an den Überlegungen in Borovcnik (2014).

Dass man trotz der Fülle schier unlösbarer Fragen den Unterricht bereichern und interessant gestalten kann, das war unsere Absicht hier.

Ein probabilistischer Ansatz zum Zählen

Hier sollen noch einige weitere, in der Literatur bekannte statistische Ansätze zum Zählen von Populationen, insbesondere von Tierpopulationen, angeführt werden. Im Einzelnen wollen wir noch auf Methoden eingehen, die in das Zählverfahren einen probabilistischen Ansatz einbringen, wie das bei Engel (2000, 2002) sowie bei Perry & Kader (1998) der Fall ist. Zuvor noch der Ansatz der Verhältnisschätzung.

Wir haben schon zur Beurteilung, ob ein Beobachter (ein Datum) valide ist oder nicht, das Verhältnis der beiden Beobachtungen (grüne, rote Pullover) herangezogen. Dabei war dieses Verhältnis für einen Datenpunkt so weit weg von den anderen, dass es sicherlich nicht valide sein kann (als Beurteilungsmaß kann uns hier auch die Zufallsvariation dienen, die auf der Annahme einer zufälligen Stichprobe berechnet oder simuliert werden kann). Diese Daten können natürlich auch dazu benützt werden, um das Verhältnis zwischen der Anzahl roter und grüner Pullover in der Population zu schätzen. Das führt zwar nicht zu einer Schätzung der Anzahl der Pullover, aber wenigstens ihrer relativen Größen.

Für die Singvögel kann man also das Verhältnis bestimmter Arten zueinander aus der Beobachtung schätzen und daraus Trends – wenn sich diese Verhältnisse ändern etwa – ablesen. Die Verhältnisschätzung eliminiert, im Vergleich zur Anzahlsschätzung, die unterschiedlichen Beobachtungsdauern und Beobachtungsfelder. Allerdings kann auch dies einer Störquelle durch den Beobachtungsplatz ausgesetzt sein, weil sich etwa durch die Futtervorgabe oder durch die vorhandene bzw. nicht-vorhandene Deckung bestimmte Vogelarten gar nicht sehen lassen oder unter- bzw. überrepräsentiert sein können. Dabei kann die Inspektion der Verhältnisse die Datenpflege erleichtern und mit den verbleibenden Daten wird eine verbesserte Schätzung der relativen Verbreitung der Vogelarten möglich.

Die Schätzung von Verhältnissen hat eine lange Tradition und ist in Standardwerken zu Stichprobentechniken zu finden (Cochran 1977, Kish 1995). Anstatt dass man das mittlere Verhältnis als Schätzwert für die relativen Größen in der Population heranzieht, kann man auch eine Regression zwischen den Anzahlen bestimmen, was i. A. zu besseren Schätzungen führt.

All die vorgenannten Überlegungen führen aber nur zu sinnvollen Schätzungen, wenn man davon ausgehen kann, dass die Daten (die Angaben der Beobachter) einer Zufallsstichprobe entstammen. Mit der Annahme von Zufallsstichproben verbunden sind auch die zwei weiteren Verfahren, die noch vorgestellt werden sollen.

Zur Rasterzählung stellen Perry & Kader (1998) ein Klassenexperiment zum Zählen von "Pinguinen" vor. Ein Gebiet wird mit einem Raster aus Planquadraten versehen, in welchen „Pinguine“ gezählt werden. Die Eigenschaften der Schätzung der Anzahl der Pinguine sind durch Simulation einfach zu erforschen. Man kann hierbei die Belegung von 10 Planquadraten simulieren und daraus die mittlere Anzahl pro Planquadrat schätzen. Hat man simulierte Daten von mehreren Schülern und Schülerinnen, so erhält man eine Verteilung der Schätzwerte. Jetzt untersucht man die Verbesserung der Schätzung, wenn man 20 Planquadrate auszählt.

Die Überlegungen führen direkt zum Gesetz der Großen Zahlen. Sie zeigen auch, wenn man unterschiedliche Verteilungen für die Anzahl der Pinguine auf den Planquadraten annimmt (etwa Poisson-Verteilung), welche Eigenschaften die Schätzungen haben. Allerdings verlaufen diese Schätzungen völlig innerhalb des mathematischen Modells und gehen an den methodologischen Überlegungen unseres Unterrichtsexperiments vorbei. Das Verfahren ist als Flächenstichprobe (mit Luftaufnahme) bekannt (siehe Engel 2000). Eine vollständige Abdeckung eines Gebietes wird man wohl kaum gewährleisten können. Wählt man aber Teile aus, sind viele Vorüberlegungen erforderlich, wie man die Planquadrate bestimmt, damit man eine repräsentative Auswahl bekommt, die man dann als Quasi-Stichprobe verwendet.

Ein ganz anderer Ansatz wird in geschlossenen Lebensräumen verwendet, die so genannte Capture-und-Recapture-Methode. Man fängt erst einige Tiere (nicht zu wenige) und kennzeichnet sie (etwa mit einem Ring am Bein). Nach einiger Zeit fängt man wieder einige Tiere (oder beobachtet sie nur) und bestimmt den Anteil der markierten Tiere. Wenn sich die Tiere in der Zwischenzeit im Lebensraum zufällig bewegen (und zum Zeitpunkt des Wiederfangens keine verzerrenden Umstände herrschten), so kann man den Anteil der markierten Tiere im Fang (in der Beobachtung) mit dem Anteil der markierten Tiere in der Gesamtheit gleichsetzen. Daraus ergibt sich eine Schätzung der Gesamtzahl.

Für ein unterrichtliches Experiment dazu sei auf Engel (2002) verwiesen. Eine mathematische Analyse

des Verfahrens findet sich in Engel (2000), wo auch Anmerkungen zu finden sind, wann die Methode nicht so gut funktioniert: die Tiere verlieren die Markierung, einige sind leichter zu fangen als andere, die Tiere durchmischen sich schlecht, Tiere sterben, einige kommen hinzu. Diese Methode funktioniert also nur bei guter Vermischung der anfangs markierten Tiere und bei geschlossenen Lebensräumen. Beim Wiederfang muss man aber nicht nur die zufällige Aufteilung der Tiere auf das Gebiet unterstellen, man muss auch beim Wiederfang eine Stichprobe gewährleisten. Welche Verzerrungen bei einer Beobachtung auftreten können, das haben wir in unserem Zugang ausführlich erörtert.

Zum guten Schluss

Es geht uns um plausible Messverfahren im Feld, um den Umgang mit schmutzigen Daten (dirty oder messy data). Es geht auch um die Operationalisierung der Frage „Was soll eigentlich gezählt werden?“ Wie kommt dann ein Schätzwert zustande? Proportionales Denken, Planquadrate mit zufälliger Auswahl von Gebieten (Flächenstichprobe) mit Hochrechnung? Die Mehrfachzählungen können gegebenenfalls sogar für eine Schätzung von Nutzen sein, wie dies bei der Capture-Recapture-Methode zum Ausdruck kommt.

Das sind z. T. universelle Fragen, die bei sehr vielen statistischen Untersuchungen von eminenter Bedeutung sind und die nicht nur von Seiten der Mathematik in der Statistik ignoriert werden. Zählergebnisse bekommen ein Eigenleben unbeschadet ihrer Validität wie auch die angesprochenen Ausschnitte aus den Medien zur Vogelzählung unterstreichen.

Manfred Borovcnik und Jürgen Maaß haben den Vorschlag entwickelt, Elena Zanzani hat ihn in der Schule (5. und 6. Schulstufe Gymnasium) ausprobiert, Helmut Steiner hat mit biologischem Fachwissen zum besseren Verständnis der Vogelwelt beigetragen.

Literatur

- Berthold, P.; Gwinner, E.; Sonnenschein, E. (Hrsg.) (2003): Avian migration. Berlin: Springer.
- Bibby, C. J.; Burgess, N. D.; Hill, D. A. (1995): Methoden der Feldornithologie: Bestandserfassung in der Praxis. Radebeul: Neumann.
- Borovcnik, M. (1990): Explorative Datenanalyse – Techniken und Leitideen. In: *Didaktik der Mathematik* 18(1), S. 61–80.
- Borovcnik, M. (2014): Vom Nutzen artifizieller Daten. In: Sproesser, U.; Wessolowski, S.; Wörn, C. (Hrsg.): Daten, Zufall und der Rest der Welt – Didaktische Perspektiven zur anwendungsbezogenen Mathematik. Berlin: Springer, S. 27–43.

- Borovcnik, M.; Ossimitz, G. (1987): Materialien zur Beschreibenden Statistik und Explorativen Datenanalyse. Wien: Hölder-Pichler-Tempsky.
- Cochran, W. G. (1977): Sampling techniques. 3rd ed. New York: J. Wiley.
- Engel, J. (2000): Markieren – Einfangen – Schätzen: Wie viele wilde Tiere? In: *Stochastik in der Schule* 20(2), S. 17–24.
- Engel, J. (2002): Aus Anteilen Anteile schätzen. In: *mathematik lehren* 114, S. 16–19.
- Gatter, W. (2000): Vogelzug und Vogelbestände in Mitteleuropa. 30 Jahre Beobachtung des Tagzugs am Randecker Maar. Wiebelsheim: Aula Verlag.
- Gosler, A. G.; Greenwood, J. J. D.; Perrins, C. (1995): Predation risk and the cost of being fat. In: *Nature* 377, S. 621–623.
- Hinsley, S. A.; Bellamy, P. E.; Moss, D. (1995): Sparrowhawk *Accipiter nisus* predation and feeding site selection by tits. In: *Ibis* 137(3), 418–420.
- Kish, L. (1995): Survey sampling. Rev. ed. New York: J. Wiley.
- Krams, I.; Thiede, W. (2000): Wo finden die Meisentrupps im Kiefernwald die Nahrung und wie sind die Trupps gegliedert? In: *Ökologie der Vögel – Ecology of Birds* 22, S. 107–118.
- Krüger, K. (2012): Was die Arbeitslosenzahlen (nicht) zeigen – Interpretation von Daten der Bundesagentur für Arbeit. In: *Der Mathematikunterricht* 58(4), S. 32–41.
- Krüger, K.; Sill, H.-D.; Sikora, C. (2015): Didaktik der Stochastik in der Sekundarstufe I. Berlin: Springer.
- Landmann, A.; Grüll, A.; Sackl, P.; Ranner, A. (1990): Bedeutung und Einsatz von Bestandserfassungen in der Feldornithologie: Ziele, Chancen, Probleme und Stand der Anwendung in Österreich. In: *Egretta* 33(1), S. 11–50.
- Naturschutz in Bayern – Landesbund für Vogelschutz (o. D.): Endergebnis Stunde der Wintervögel 2016. Kohlmeise ist erneut Bayerns häufigster Wintervogel. www.lbv.de/aktiv-werden/stunde-der-wintervoegel/ergebnisse-bayern0.html, Zugriff: 2016-11-10.
- Perry, M.; Kader, G. (1998): Counting penguins. In: *The Mathematics Teacher*, 91 (2), S. 110–116.
- Scherzinger, W. (2006): Reaktionen der Vogelwelt auf den großflächigen Bestandeszusammenbruch des montanen Nadelwaldes im Inneren Bayerischen Wald. In: *Vogelwelt* 127, S. 209–263.
- Sergio, F.; Hiraldo, F. (2008): Intraguild predation in raptor assemblages: a review. In: *Ibis* 150 (Suppl. 1), S. 132–145.
- Sill, H.-D. (2014): Grundbegriffe der Beschreibenden Statistik. In: *Stochastik in der Schule* 34(3), S. 2–9.
- Steiner, H. (1998): Faunistische Nachweise durch die Methode der Ruffungssuche auf der südlichen Traun-Enns-Platte. In: *Vogelkundliche Nachrichten aus Oberösterreich* 6(2), S. 23–27.
- Steiner, H. (2003): Methodenkritik und Interpretationsleitfaden. In: Brader, M.; Aubrecht, G. et al. (Red.): Atlas der Brutvögel Oberösterreichs. Linz: Oberösterreichisches Landesmuseum, S. 73–74.
- Steiner, H. (2014): Wie funktioniert die Kulturlandschaft? – Öko-Ornithologie der Traun-Enns-Platte und die Vögel Oberösterreichs. In: *Öko.L – Zeitschrift für Ökologie, Natur- und Umweltschutz* 36(2), S. 27–34.
- Südwestrundfunk (o. D.): Bitte einmal durchzählen – Vögel im Garten. www.swr.de/swrinfo/nabu-stunde-der-wintervoegel-bitte-einmal-durchzaehlen-voegel-im-garten/-/id=7612/did=16758458/nid=7612/x9i8ny/, Zugriff: 2016-11-10.
- Thüringer Allgemeine (o. D.): Zählung: Wie viele Wintervögel gibt es in Thüringen? www.thueringer-allgemeine.de/web/zgt/leben/detail/-/specific/Zaehlung-Wie-viele-Wintervoegel-gibt-es-in-Thueringen-1954589047, Zugriff: 2016-11-10.
- Whitfield, D. P. (2003): Redshank *Tringa totanus* flocking behaviour, distance from cover and vulnerability to sparrowhawk *Accipiter nisus* predation. In: *Journal of Avian Biology* 34(2), S. 163–169.
- Ydenberg, R. C.; Butler R. W.; Lank, D. B.; Smith, B. D.; Ireland, J. (2004): Western sandpipers have altered migration tactics as peregrine falcon populations have recovered. In: *Proceedings of the Royal Society of London B* 271(1545), S. 1263–1269.

Anschrift der Verfasser

Manfred Borovcnik,
 Universität Klagenfurt
 Institut für Statistik, Universitätsstraße 65
 9020 Klagenfurt
manfred.borovcnik@aau.at

Jürgen Maaß
 Universität Linz
 Institut für Didaktik der Mathematik
 Altenberger Straße 69
 4040 Linz
juergen.maasz@jku.at

Helmut Steiner
 Institut für Wildtierforschung
 Mühlbachgasse 5
 4533 Piberbach
steiner.raptor@aon.at

Elena Zanzani
 BG BRG Körnerschule
 Körnerstraße 9
 4020 Linz
elena.zanzani@gmail.com