

## Bestandsentwicklung und Strukturabhängigkeit von Brutvögeln in zwei Wohnquartieren der Stadt Solothurn

Thomas Sattler und Michael Tobler

**Development of breeding populations of birds in two residential areas in Solothurn and their dependence on habitat structure.** – From 1991 to 1998 breeding birds were surveyed in two study plots (11.2 and 8.3 ha) of the town of Solothurn, Central Plateau of Switzerland. The paper presents the results and relates habitat structure elements to species diversity on individual properties. Over the whole study period, 31 species were found in each area. Thirteen species were recorded as breeders in all years in both areas. Average number of territories was 125 for the study area «Vorstadt» (11.2 territories per ha) and 118 for the area «Steingrube» (14.2 territories per ha). For Vorstadt, species diversity declined over the monitoring period but there was no such trend for Steingrube. In both areas, territory numbers showed a decreasing tendency. In the area Vorstadt and in the area Steingrube, the same five species (*Passer domesticus*, *Turdus merula*, *Apus apus*, *Sylvia atricapilla*, *Parus major*) were found to be dominant species in all years. Their yearly density remained stable whereas the overall density for the other species showed a decreasing tendency. These findings are in line with other studies from urban areas reporting a decrease of rarer species that demand superior habitat quality. However, the study plots are too small to make general statements. Habitat structure elements (fraction of green area on property, height of building, tree, bush and ground vegetation) of the individual properties were brought in relation to a species index (average species number per property 1995–1998) on the individual properties. Highly structured properties had on average the highest species index. Although species number is primarily determined on a geographically larger scale, specific management of properties improving these structure elements may increase local bird diversity.

Key words: Urban avifauna, breeding density, population dynamics, habitat structure, spatial planning, Switzerland.

Thomas Sattler, Höhenweg 8, CH–4500 Solothurn, e-mail thomassattler@gmx.net; Abteilung Conservation Biology, Zoologisches Institut, Universität Bern, Baltzerstrasse 6, CH–3012 Bern; Michael Tobler, Amanz-Gresslystrasse 45, CH–4500 Solothurn, e-mail michael.tobler@gmx.net

Die Siedlungsfläche ist der in der Schweiz gegenwärtig am schnellsten zunehmende Bodennutzungstyp (Bundesamt für Statistik 2001). Dabei ist der Anstieg des Siedlungsanteils im Mittelland besonders hoch. Mittlerweile konzentrieren sich 58,2 % sämtlicher Siedlungsflächen in der Schweiz auf das Mittelland, welches nur 27 % der Gesamtfläche des Landes entspricht. Somit erreicht dort der Anteil der Siedlungsfläche den Wert von 14,6 % (alle Angaben Bundesamt für Statistik 1992, 2001). Das ausgeprägte Flächenwachstum führt dazu, dass benachbarte Städte nach und nach zusammenwachsen oder dass Zentralstädte benachbarte Siedlungen umschliessen und integrieren (Bundesamt für Raumplanung 1998). Damit verändert sich das Siedlungsgebiet auch struk-

turell: Gemeinden mit ländlichem Charakter verschwinden, solche mit städtischem nehmen zu (Weggler & Widmer 2000b). Das Siedlungsgebiet ist zwar in erster Linie Wohn- und Arbeitsumgebung des Menschen, dennoch bietet es vielfältige, kleinflächige Lebensräume für Pflanzen und Tiere (Adams 1994, Sukopp 1998). Ausdehnung und strukturelle Wandlung des Siedlungsraumes beeinflussen deshalb nicht nur die Lebensqualität des Menschen, sondern bestimmen auch die Zusammensetzung und Entwicklung der darin vorkommenden Tier- und Pflanzenbestände.

Die vorliegende Arbeit behandelt zwei Aspekte. Zum einen beschreibt sie die Dichte und die Entwicklung der Brutvogelbestände in zwei Wohnquartieren der Stadt Solothurn über

den Zeitraum von 1991 bis 1998. Zum anderen versucht sie abzuschätzen, inwiefern für Siedlungsgebiete typische Strukturelemente, wie z.B. der Versiegelungsgrad, die Artenzahl und Artenzusammensetzung beeinflussen. Von besonderem Interesse war dabei, ob spezifische Elemente die Artenzahl auch auf der Ebene der einzelnen Grundstücke bestimmen können.

## 1. Untersuchungsgebiete und Methode

### 1.1. Untersuchungsgebiete

Die beiden Untersuchungsgebiete liegen im Siedlungsgebiet der Stadt Solothurn (47°15' N, 7°30' E). Solothurn liegt am Jurasüdfuss, im zentralen schweizerischen Mittelland. Mit gut 15000 Einwohnern (Bundesamt für Statistik 2002) ist Solothurn eine Kleinstadt geblieben, obwohl sie eine grosse Zentrumsfunktion für die Region erfüllt (Bundesamt für Raumplanung 1998). Die Gemeindefläche umfasst 630 ha, wovon 374 ha als Siedlungsfläche bezeichnet werden können (Bundesamt für Statistik 2001). Industriareale nehmen mit gut 6 % einen vergleichsweise geringen Anteil der Siedlungsfläche ein. In der 30 km nordwestlich von Solothurn gelegenen Stadt Olten mit einer ähnlich grossen Siedlungsfläche liegt der entsprechende Anteil bei 21 %. Demzufolge könnte man Solothurn als «Wohn-» beziehungsweise «Gartenstadt» bezeichnen. Mitten durch die Stadt fliesst die Aare und trennt diese in einen grösseren Nord- und in einen kleineren Südteil.

Das grob dreieckige Untersuchungsgebiet «Vorstadt», unmittelbar südwestlich des Hauptbahnhofs im Südteil von Solothurn, umfasst 11,2 ha. 10,4 ha liegen auf dem Gemeindegebiet der Stadt Solothurn, 0,8 ha gehören zur südlich angrenzenden Gemeinde Biberist. Das Gebiet ist leicht nach N geneigt und steigt von 430 m auf 450 m ü.M. an. Es ist vorwiegend von Ein- bis Dreifamilienhäusern und Wohnblocks geprägt. Zudem sind auch einzelne Büro- und Gewerbegebäude vorhanden.

Das mit 8,3 ha etwas kleinere, ebenfalls dreieckige Untersuchungsgebiet «Steingrube» liegt im Nordteil der Stadt. 7,5 ha befinden sich auf dem Gemeindegebiet von Solothurn, 0,8 ha auf jenem von Rüttenen. Die minimale Distanz

zwischen der Fläche Vorstadt und der Fläche Steingrube beträgt 1450 m. Das Kartierungsgebiet liegt an einem Südhang, der von 460 auf 490 m ü.M. ansteigt. Die Steingrube hat einen unmittelbaren Bezug zum Wald, da sie sich nur etwa 200 m südwestlich der Verenaschlucht (Naherholungsgebiet im Rüttener Wald) befindet. Mehr noch als das Untersuchungsgebiet Vorstadt prägen Ein- bis Dreifamilienhäuser die Steingrube. Wohnblocks komplettieren die Gebäudestruktur. Gewerbegebäude fehlen vollständig.

### 1.2. Klima

Solothurn liegt im Klimagebiet des zentralen Mittellandes. Es herrschen ähnliche klimatische Verhältnisse wie in anderen grossen Flusstälern des Schweizer Mittellandes (genauere Beschreibung des Klimas der Region Solothurn in Christen 1996). Die durchschnittlichen Jahrestemperaturen 1991–1998 betragen 9,2–11,1 °C, die durchschnittliche Niederschlagsmenge lag zwischen 929 und 1270 mm pro Jahr (Schweizerische Meteorologische Anstalt briefl.).

### 1.3. Methoden

#### 1.3.1. Erfassung der Brutvogelbestände

Die Bestandsaufnahmen wurden im Rahmen des Projektes «Ornithologische Jahresübersichten» der Schweizerischen Vogelwarte Sempach durchgeführt (Schmid et al. 2001). Zur Erfassung des Brutvogelbestandes wurde auf beiden Flächen dieselbe Revierkartierungsmethode (Oelke 1980, Blattner 1991) mit jährlich sechs Begehungen in den frühen Morgenstunden (zwischen 4.35 h und 7.15 h MEZ) angewandt. Der Brutvogelbestand in der Steingrube, sowie 1993 in der Vorstadt, wurde durch MT ermittelt. Die restlichen 7 Bestandserhebungen in der Vorstadt führte TS durch. Die Kartierungen erfolgten jeweils in den drei Monaten April (1 Begehung), Mai (3 Begehungen) und Juni (2 Begehungen). Ausnahmsweise fanden 1991 in jedem Monat zwei Begehungen statt. Die früheste Kartierung erfolgte in der Vorstadt am 10., in der Steingrube am 13.

April, die späteste am 22. bzw. 16. Juni. Für das Kartierungsgebiet Vorstadt wurden jährlich durchschnittlich 584 (465–825) min aufgewendet, was einem mittleren Zeitaufwand von 52 min/ha entspricht. In der Steingrube betrug der Gesamtaufwand pro Jahr durchschnittlich 544 (510–595) min, das sind im Mittel rund 66 min/ha. Alle revieranzeigenden Verhaltensweisen wurden auf einer Tageskarte festgehalten. Dabei wurde besonders auf Simultanbeobachtungen und Bruthinweise geachtet. Die Revieranzahl wurde aufgrund unterschiedlicher Papierreviere errechnet, wobei für ein Papierrevier mindestens zwei Einträge mit Revierverhalten (z.B. singendes ♂) vorliegen mussten. Papierreviere, die teilweise ausserhalb des Untersuchungsgebiets lagen, wurden mitgezählt, wenn mindestens die Hälfte der Beobachtungen im Gebiet erfolgten. Die Revierausscheidungen aller Jahre wurden nach 1998 auf ihre Kohärenz überprüft und vereinheitlicht.

Für vier Arten war dieses Ausscheidungsverfahren aufgrund ihres andersartigen Brut- und Territorialverhaltens ungeeignet. Deshalb wurden spezifische Kriterien zur Bestimmung der Revierzahl verwendet: Beim Star genügte eine auf eine Brut hinweisende Registrierung für die Ausscheidung eines Papierreviers. Für Strassentaube und Haussperling, sowie für den Mauersegler in der Vorstadt, wurde auf jeder Begehung pro Standort die Gesamtzahl erhoben. Für die Ermittlung des Bestandes wurde die zu einem einzelnen Standort gehörige maximale Individuenzahl durch zwei geteilt (ohne Jungvögel), und eine halbe Zahl aufgerundet. Die Summe der so erhaltenen Standortzahlen wurde als Gesamtbestand gewertet. In der Steingrube wurde der Mauerseglerbestand wie folgt abgeschätzt: Die Gesamtzahl der während der Untersuchungsperiode zufällig entdeckten Brutplätze beträgt 12. Es wurde angenommen, dass im Durchschnitt zwei Drittel der Brutplätze besetzt waren. Damit ergibt sich eine Bestandschätzung von 8 Paaren für die gesamte Untersuchungsperiode. Diese Annahme ist konservativ, wenn man die Nistplatztreue und Langlebigkeit der Mauersegler berücksichtigt (Glutz von Blotzheim & Bauer 1980). Zudem wurden wohl nicht alle Nistplätze entdeckt.

Als dominant wurden Arten angesehen, die mindestens 5 % der Gesamtrevierzahl im jeweiligen Aufnahmejahr erreichten. In Anlehnung an Weggler & Widmer (2000a) wurden die Brutvogelarten gemäss ihrem Zugverhalten und ihrer Bindung an ein bestimmtes Hauptstrukturelement in verschiedene ökologische Gruppen eingeteilt (Bindung an ein bestimmtes Habitat, Zugstrategie; Tab. 2 und 3).

Um das Artenspektrum der beiden Untersuchungsgebiete zu vergleichen, verwendeten wir den Sørensen-Index (Qs) (Czekanowski 1913, Sørensen 1949). Dieser Index gibt den relativen Anteil der gemeinsamen Arten von verschiedenen Stichproben an: Er lässt sich mit folgender Formel berechnen:

$$Q_s (\%) = \frac{2C}{A+B} \times 100$$

wobei C = Anzahl Arten, die in beiden Gebieten vorkommen, A und B = Anzahl Arten in den jeweiligen Untersuchungsgebieten.

#### 1.3.2. Erfassung der Strukturelemente des Siedlungsgebietes

Um abschätzen zu können, inwiefern die Struktur der Quartiere die Artenzahl und -zusammensetzung beeinflusst, wurden anhand von zusätzlichen Begehungen und unter Verwendung eines Luftbildes (Orthophoto, 1 : 2000) des Solothurnischen Stadtbauamtes (Aufnahme vom 7. Mai 1998) die Grundstücke der Untersuchungsflächen in ihrem Zustand von 1998 klassifiziert. Es wurde an der anthropogenen Grundeinheit «Grundstücke» festgehalten, um die Übertragbarkeit in die raumplanerische Praxis zu fördern. Zur Klassifizierung der Grundstücke wurden folgende Kriterien verwendet: der Anteil der Grünfläche an der Grundstücksfläche, das Vorkommen der drei Strukturelemente Bodenvegetation, Strauch, Baum sowie die Gebäudehöhe (Anzahl Stockwerke). Pro Kriterium wurde eine bestimmte Anzahl Punkte vergeben (siehe Tab. 1). Daraus ergibt sich für jedes Grundstück ein so genannter «Habitatstrukturwert». Die Punktezahl spiegelt einen groben Gradienten bezüglich Versie-

**Tab. 1.** Kriterien, die zur Beurteilung der Habitatstruktur der Grundstücke verwendet wurden. Strassen wurden in der Regel nicht in die Grundstückskategorisierung miteinbezogen, ausser es handelte sich um eine Privatstrasse, die zum Grundstück gehört. Sehr kleine Grundstücke (<1 a) wurden einem der nächstliegenden, grösseren Grundstücke zugeordnet. – *Criteria used for the classification of the habitat structure on properties.*

Strukturelement	Beschreibung
Grünflächenanteil	Anteil Grünfläche pro Grundstücksfläche. Entspricht der unversiegelten Fläche. Eingeteilt in drei Klassen: < 1/3 (1 Punkt); 1/3 bis 2/3 (2 Punkte); > 2/3 (3 Punkte).
Gebäudehöhe <sup>a</sup>	Gebäudetypen wurden anhand der Anzahl ihrer Stockwerke klassifiziert. Drei Klassen: > 1 Stockwerk (1 Punkt); 1 Stockwerk (2 Punkte); ohne Gebäude (3 Punkte).
Baum	Vorhandensein von Bäumen. Zwei Klassen: weniger als 5 über 6 m hohe Bäume (0 Punkte); mindestens 5 über 6 m hohe Bäume (1 Punkt). Wenn weniger als 5 über 6 m hohe Bäume vorhanden waren, wurden diese als Büsche gezählt.
Strauch	Vorhandensein von Sträuchern. Zwei Klassen: weniger als 20 Büsche oder kleine Bäume (0 Punkte); mindestens 20 Büsche oder kleine Bäume (1 Punkt).
Bodenvegetation	Vorhandensein von Bodenvegetation (Rasen, Wiese, Gemüsegarten und Blumenrabatten). Zwei Klassen: alle Bodenvegetationstypen machen zusammen weniger als die Hälfte (0 Punkte) bzw. mehr als die Hälfte (1 Punkt) der Grünfläche aus.

<sup>a</sup> Falls ein Gebäude auf zwei Grundstücken stand, wurde es zweimal verwendet, um die Punktezahl für die Gebäudehöhe zu vergeben.

gelungsgrad, Gebäudehöhe, Grünflächenanteil und Vegetationsstruktur wider. Eine geringe Anzahl Punkte erhielten Grundstücke, die grossflächig und mit mehrstöckigen Häuserblöcken bebaut sind und deren Vegetation sich meist auf kleine Rasenflächen und/oder inselartige Busch- und Baumgruppen beschränkt. Eine hohe Punktezahl erhielten unbebaute

Grundstücke oder solche mit grossem Umschwung um die Gebäude. Charakteristisch für diese Typen sind reich strukturierte Gärten mit hochgewachsener Strauch- und Baumschicht und eine aufgelockerte Bebauungsweise. Auf der Basis dieses Gradienten lassen sich drei Punktebereiche den drei Grundstükkategorien «Gewerbegebäude und Wohnblock» (2–



**Abb. 1.** Beispiel für «Gewerbegebäude und Wohnblock». Versiegelte Flächen und einheitliche Rabatten mit einzelnen Bäumen prägen die Struktur. Vorstadt, Aufnahme T. Sattler, 21. Juli 2000 – *Property of the type «residential block» in the study area Vorstadt.*

4 Punkte), «Ein-/Mehrfamilienhaus» (5–6 Punkte), «Villa und unbebautes Grundstück» (7–9 Punkte) zuordnen (Abb. 1–3). Die Bezeichnung der Kategorien erfolgte in Anlehnung an die Gebäudetypen, da die Nutzung des Gebäudes oft die Strukturvielfalt des Grundstücks bestimmt. Wie bei der Ermittlung des Brutvogelbestandes erfolgte die Erfassung der Strukturelemente in der Vorstadt durch TS und in der Steingrube durch MT. Weiter wurden retrospektiv die Habitatveränderungen seit 1991 festgehalten.

Zusätzlich zu diesem Habitatstrukturwert wurden jedem Grundstück drei weitere Werte zugeordnet: «Artwert», «Nachbarwert» und «Randwert». Der Artwert ist ein Index und ist identisch mit der mittleren Artenzahl pro Grundstück 1995–1998. Es wurden nur diese vier Jahre zur Berechnung des Mittelwertes verwendet, um die Auswirkungen von Habitatveränderungen aufgrund von menschlichen Eingriffen auf den Artwert zu reduzieren. Diese erfolgten in der Vorstadt ausschliesslich, in der Steingrube mehrheitlich vor 1995. Zur Berechnung des Artwertes wurden dieselben Einträge auf den Artkarten verwendet, die auch zur Ausscheidung der Papierreviere herangezogen wurden. Pro Art und Grundstück kam es jedoch nur darauf an, ob eine Registrierung vorhanden war oder nicht. Einzeleinträge, die nicht zur Ausscheidung eines Papierreviers



**Abb. 2.** Beispiel für «Ein-/Mehrfamilienhaus». Kleinräumige, aber abwechslungsreiche Strukturvielfalt entsteht durch ein Mosaik von Sträuchern, Einzelbäumen, Blumenrabatten, Gemüseärten und Spielwiesen. Vorstadt, Aufnahme T. Sattler, 21. August 2003 – *Property of the type «detached house» in the study area Vorstadt.*

**Abb. 3.** Beispiel für «Villa». Grosszügige Grünflächen erlauben das Vorkommen von grösseren Baum- und Strauchkomplexen und stellenweise auch von Wiesen. Steingrube, Aufnahme T. Sattler, 21. August 2003 – *Property of the type «villa» in the study area Steingrube.*



fürten, sowie über die Aufnahmefläche hinwegfliegende Vögel wurden nicht berücksichtigt. Der Mauersegler wurde für die Berechnung des Artwerts nicht berücksichtigt, da aus der Steingrube keine jährlichen Bestandsangaben vorliegen. Daher fehlt diese Art auch bei allen Modellberechnungen (s. unten). Die Summe der Einträge aller Arten eines Grundstücks lieferte die Artenzahl pro Jahr. Schliesslich wurde der Durchschnitt für die Jahre 1995–1998 (= Artwert) berechnet, um den Einfluss von Extremwerten in einzelnen Jahren zu vermindern.

Der Nachbarwert eines Grundstücks ist der durchschnittliche Habitatstrukturwert aller angrenzenden Grundstücke. Der Randwert beträgt entweder 0 (für Grundstücke, deren Grenze teilweise identisch mit der Gebietsgrenze ist) oder 1 (für Grundstücke, die vollständig innerhalb des Untersuchungsgebietes liegen).

### 1.3.3. Statistik

Alle Analysen wurden mit dem Statistikprogramm SPSS 11.0 (SPSS Inc. 2004) durchgeführt. Zur Abschätzung der Bestandsentwicklung sowie der Änderung der Artenzahlen wurde als statistisches Verfahren die Rangkorrelation nach Spearman verwendet. Die Reduktion der Daten auf eine Rangskala befreit von vielen Voraussetzungen (z.B. Normalverteilung der Daten), von denen ein Standardregressionsmodell abhängig ist (Berthold et al. 1986). Zudem ist das Modell robust gegen Extremwerte und somit weniger anfällig gegenüber kurzzeitigen Populationschwankungen, die bei Singvogelpopulationen bis zu  $\pm 30\%$  zwischen zwei aufeinander folgenden Jahren ausmachen können (Tomiałojć et al. 1984, Berthold et al. 1986, Böhning-Gaese 1995). Der Rangkorrelationskoeffizient gibt an, um wie viele Rangeinheiten sich die Bestands- respektive Artenzahlen im Schnitt pro Jahr verändern. Grundstückervergleiche zwischen den beiden Untersuchungsgebieten erfolgten mit non-parametrischen Mann-Whitney-U-Tests. Mit Allgemeinen Linearen Modellen wurde der Effekt der Grundstückstruktur auf den Artwert abgeschätzt. In einem ersten Modell (Modell A) wurde der Habitatstrukturwert des Grund-

stücks (Punktwert) sowie dessen Grösse und Umgebung (Randwert, Nachbarwert) berücksichtigt. Punktwert und Randwert wurden als Faktoren, Grundstücksgrösse und Nachbarwert als Kovariablen verwendet. Bei der Analyse wurden die Grundstücke beider Untersuchungsgebiete verwendet, und Unterschiede zwischen den beiden Gebieten wurden durch die Hinzunahme des Faktors «Gebietszugehörigkeit» (Vorstadt oder Steingrube) berücksichtigt. Im Ausgangsmodell wurden alle Zweifach-Interaktionen zwischen allen Faktoren und Kovariablen miteinbezogen. Nicht signifikante Interaktionen, Faktoren und Kovariablen wurden durch schrittweise Rückwärtselimination nacheinander aus dem Modell entfernt. Um abzuschätzen, in welchem Ausmass die einzelnen Strukturelemente eines Grundstücks den Artwert beeinflussen, wurde basierend auf den Ergebnissen des Modells A eine weitere Analyse (Modell B) durchgeführt. Anstatt des Habitatstrukturwertes wurden die ihm zugrunde liegenden Strukturelemente (Tab. 1) als Faktoren verwendet. Die Grundstücksgrösse wurde wiederum als Kovariable verwendet. Zweifach-Interaktionen vom Typ «Grundstücksgrösse  $\times$  Strukturelement X» wurden ebenso im Ausgangsmodell miteinbezogen. Nicht signifikante Interaktionen und Faktoren wurden wie in Modell A schrittweise eliminiert. Ein Grundstück der Vorstadt wurden aus beiden Analysen ausgeschlossen, da es sich bezüglich Grösse und Parameterzusammensetzung deutlich von den übrigen Grundstücken unterscheidet. Alle statistischen Tests sind zweiseitig.

## 2. Ergebnisse

### 2.1. Bestandsentwicklung

In der Vorstadt wurden von 1991 bis 1998 insgesamt 31 Brutvogelarten festgestellt (Tab. 2), davon 4 Nichtsingvogelarten. Die Artenzahl pro Jahr schwankte zwischen 19 und 26 und war über den Zeitraum von 8 Jahren rückläufig ( $r_s = -0,75$ ,  $p = 0,03$ ). 15 Arten traten alljährlich als Brutvögel auf. Von den übrigen 16 Arten brüteten 5 in mehr und 11 in weniger als vier Jahren. Beim Zaunkönig, bei der Garten-

grasmücke und beim Wintergoldhähnchen konnte nur in je einem Jahr ein Revier ausgeschieden werden. Die Gesamtrevierzahl schwankte 1991–1998 zwischen 114 und 143 Revieren und war tendenziell abnehmend (statistisch nicht signifikant; Tab. 2).

Von 1991 bis 1998 wurden in der Steingrube insgesamt 31 Brutvogelarten registriert (Tab. 3). Vier davon sind Nichtsingvögel. Die Artenzahl pro Jahr schwankte zwischen 19 und 25. Für eine allfällige Zu- oder Abnahme der Artenzahl liess sich für die gesamte Untersuchungsperiode kein statistisch signifikanter Trend nachweisen ( $r_s = -0,55$ ,  $p = 0,15$ ). Von 15 Vogelarten wurden in jedem Jahr Reviere ausgeschieden. Von den restlichen Arten konnten 5 in mehr und 11 in weniger als vier Jahren als Brutvögel nachgewiesen werden. Kleinspecht, Bachstelze, Singdrossel, Feldsperling und Gimpel kamen nur in je einem Jahr auf der Probefläche vor. Die Gesamtrevierzahl blieb in den ersten sechs Untersuchungsjahren relativ konstant und schwankte zwischen 113 und 121 Revieren. 1997 und 1998 ging der Bestand abrupt zurück, so dass für diese Brutperioden nur noch 106 bzw. 79 Reviere ausgeschieden werden konnten. Der Untersuchungszeitraum ist

jedoch zu kurz, als dass diese Abnahme statistisch signifikant wäre ( $r_s = -0,23$ ,  $p = 0,59$ ).

### 2.2. Vergleich der Artenzahl und Artzusammensetzung der Untersuchungsgebiete

Insgesamt wurden 36 Arten als Brutvögel in den beiden Untersuchungsflächen festgestellt. Die Artenzahlen der beiden Gebiete über den ganzen Untersuchungszeitraum waren mit je 31 identisch. 13 Arten brüteten in allen Jahren in beiden Gebieten. In der Vorstadt traten zusätzlich Türkentaube und Grauschnäpper und in der Steingrube Sommergoldhähnchen und Kleiber alljährlich auf. Der Sørensen-Index beträgt 83,9 %. Er weist somit auf eine ähnliche Artengarnitur der beiden Gebiete hin.

Die fünf Arten Mauersegler, Amsel, Mönchsgrasmücke, Kohlmeise und Haussperling gehörten in beiden Gebieten und in allen Jahren zu den dominanten Arten (Revieranteil  $>5\%$ ). Ihre Dichte blieb über den Untersuchungszeitraum konstant, anders als jene der übrigen Arten, die abnahm (jedoch nicht signifikant, Abb. 4).

In der Vorstadt ergaben sich bei Brutvogelgruppen hinsichtlich der Bindung an die

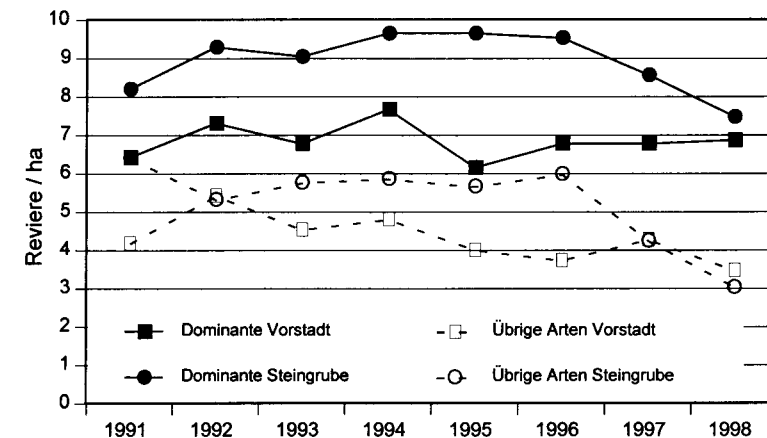


Abb. 4. Anzahl Reviere der in allen Jahren dominanten Arten (Mauersegler, Amsel, Mönchsgrasmücke, Kohlmeise, Haussperling) und aller übrigen Arten, aufgeteilt nach Untersuchungsgebieten. Spearman Rangkorrelation für dominante Arten: Vorstadt  $r_s = 0,07$ ,  $p = 0,86$ ; Steingrube,  $r_s = -0,13$ ,  $p = 0,76$ ; Spearman Rangkorrelation für übrige Arten: Vorstadt:  $r_s = -0,62$ ,  $p = 0,10$ ; Steingrube:  $r_s = -0,60$ ,  $p = 0,12$ . – Territorien per ha of the five species which were dominant in all years (*Apus apus*, *Turdus merula*, *Sylvia atricapilla*, *Parus major*, *Passer domesticus*) and all other species in the two study areas; indication of their respective Spearman rang correlation.

**Tab. 2.** Brutvogelbestand (Anzahl Reviere) des 11,2 ha grossen Untersuchungsgebietes Vorstadt, Solothurn, 1991–1998. Klassifizierung der Arten hinsichtlich ihrer Bindung an ein Hauptstrukturelement (HSE) und hinsichtlich ihrer Zugstrategie (ZS). H = Haus, G = Gebüsch (meist < 2 m), B = Baum (meist > 2 m); L = Langstreckenzieher, K = Kurzstreckenzieher, S = Standvogel. – Number of territories in the study area Vorstadt (11.2 ha), Solothurn, 1991–1998. Classification of species according to their habitat structure preference (HSE) and migration behaviour (ZS). H = house, G = bushes (mostly < 2 m), B = tree (mostly > 2 m); L = long distance migrant, K = short distance migrant, S = sedentary species.

Vogelart	HSE/ZS	1991	1992	1993	1994	1995	1996	1997	1998
Mauersegler <i>Apus apus</i>	H/L	11	10	10	11	6	11	12	11
Strassentaube <i>Columba livia dom.</i>	H/S	2	2	–	1	1	–	1	–
Türkentaube <i>Streptopelia decaocto</i>	H/S	2	5	4	4	1	5	4	1
Buntspecht <i>Dendrocopos major</i>	B/S	1	1	–	–	–	–	1	–
Bachstelze <i>Motacilla alba</i>	H/K	–	–	–	1	1	1	–	–
Zaunkönig <i>Troglodytes troglodytes</i>	G/S	–	1	–	–	–	–	–	–
Rotkehlchen <i>Erithacus rubecula</i>	G/K	–	2	3	1	–	–	1	–
Hausrotschwanz <i>Phoenicurus ochruros</i>	H/K	4	5	5	4	5	5	5	7
Gartenrotschwanz <i>Ph. phoenicurus</i>	B/L	1	–	–	–	–	1	–	–
Amsel <i>Turdus merula</i>	G/S	26	26	22	27	20	23	22	25
Mönchsgrasmücke <i>Sylvia atricapilla</i>	G/K	8	9	9	8	8	9	10	7
Gartengrasmücke <i>Sylvia borin</i>	G/L	–	–	–	–	–	–	–	1
Zilpzalp <i>Phylloscopus collybita</i>	G/K	2	2	2	1	1	2	1	2
Wintergoldhähnchen <i>Regulus regulus</i>	B/S	1	–	–	–	–	–	–	–
Sommergoldhähnchen <i>R. ignicapillus</i>	B/K	1	2	2	3	4	–	1	–
Trauerschnäpper <i>Ficedula hypoleuca</i>	B/L	–	1	1	–	–	–	–	–
Grauschnäpper <i>Muscicapa striata</i>	B/L	3	5	4	3	4	1	5	4
Sumpfmeise <i>Parus palustris</i>	B/S	1	–	–	–	1	–	–	–
Tannenmeise <i>Parus ater</i>	B/S	1	1	–	–	–	–	–	–
Blaumeise <i>Parus caeruleus</i>	B/S	3	4	5	6	4	6	2	4
Kohlmeise <i>Parus major</i>	B/S	7	7	6	9	11	9	9	8
Kleiber <i>Sitta europaea</i>	B/S	1	2	1	1	–	–	–	1
Gartenbaumläufer <i>C. brachydactyla</i>	B/S	–	1	1	2	1	1	–	–
Elster <i>Pica pica</i>	B/S	1	1	1	1	1	1	1	1
Rabenkrähe <i>Corvus corone</i>	B/S	1	1	–	1	1	1	1	1
Star <i>Sturnus vulgaris</i>	B/K	8	6	5	9	5	5	6	3
Hausperling <i>Passer domesticus</i>	H/S	20	30	29	31	24	24	23	26
Buchfink <i>Fringilla coelebs</i>	B/S	5	5	5	5	5	5	5	2
Grünfink <i>Carduelis chloris</i>	B/S	6	7	6	7	6	4	7	8
Girlitz <i>Serinus serinus</i>	B/K	3	6	6	4	4	4	5	3
Distelfink <i>Carduelis carduelis</i>	B/K	–	1	–	–	–	–	2	1
Anzahl Reviere		119	143	127	140	114	118	124	116
Anzahl Arten		24	26	20	22	21	19	21	19
Durchschnittliche Anzahl Reviere/ha		10,6	12,7	11,3	12,5	10,2	10,5	11,0	10,3

Hauptstrukturelemente keine signifikanten Veränderungen der Revierzahl pro ha (Abb. 5a). In der Steingrube hingegen haben die Brutvogelgruppen mit einer Bindung an die Hauptstrukturelemente «Baum» und «Gebäude» abgenommen, währenddem die Gruppe mit einer Bindung an das Element «Strauch» eine konstante Revierzahl aufwies (Abb. 5b).

Dadurch haben sich die Anteile der drei Gruppen in der Steingrube über die Untersuchungsperiode signifikant verändert. Der prozentuale Anteil der Vogelarten mit einer Bindung an das Hauptstrukturelement Strauch hat zugenommen ( $r_s = 0,95$ ,  $p < 0,01$ ), derjenige der Arten mit einer Bindung an das Element Baum hat hingegen abgenommen ( $r_s = -0,72$ ,  $p = 0,04$ ).

**Tab. 3.** Brutvogelbestand (Anzahl Reviere) des 8,3 ha grossen Untersuchungsgebietes Steingrube, Solothurn, 1991–1998. Klassifizierung der Arten hinsichtlich ihrer Bindung an ein Hauptstrukturelement (HSE) und hinsichtlich ihrer Zugstrategie (ZS). H = Haus, G = Gebüsch (meist < 2 m), B = Baum (meist > 2 m); L = Langstreckenzieher, K = Kurzstreckenzieher, S = Standvogel. – Number of territories in the study area Steingrube (8.3 ha), Solothurn, 1991–1998. Classification of species according to their habitat structure preference (HSE) and migration behaviour (ZS). H = house, G = bushes (mostly < 2 m), B = tree (mostly > 2 m); L = long distance migrant, K = short distance migrant, S = sedentary species.

Vogelart	HSE/ZS	1991	1992	1993	1994	1995	1996	1997	1998
Mauersegler <i>Apus apus</i>	H/L	(8)	(8)	(8)	(8)	(8)	(8)	(8)	(8)
Türkentaube <i>Streptopelia decaocto</i>	H/S	1	–	2	2	1	2	1	–
Buntspecht <i>Dendrocopos major</i>	B/S	1	1	1	1	1	1	1	–
Kleinspecht <i>Dendrocopos minor</i>	B/S	–	–	–	–	1	–	–	–
Bachstelze <i>Motacilla alba</i>	H/K	–	–	1	–	–	–	–	–
Zaunkönig <i>Troglodytes troglodytes</i>	G/S	–	–	–	–	1	1	–	–
Rotkehlchen <i>Erithacus rubecula</i>	G/K	5	6	4	6	7	6	4	3
Hausrotschwanz <i>Phoenicurus ochruros</i>	H/K	4	3	3	2	1	2	1	1
Gartenrotschwanz <i>Ph. phoenicurus</i>	B/L	1	–	–	2	3	1	1	1
Amsel <i>Turdus merula</i>	G/S	18	20	22	22	23	24	22	20
Singdrossel <i>Turdus philomelos</i>	B/K	1	–	–	–	–	–	–	–
Mönchsgrasmücke <i>Sylvia atricapilla</i>	G/K	10	10	11	11	12	12	10	10
Zilpzalp <i>Phylloscopus collybita</i>	G/K	3	3	3	4	3	5	3	3
Wintergoldhähnchen <i>Regulus regulus</i>	B/S	1	–	–	–	1	–	–	–
Sommergoldhähnchen <i>R. ignicapillus</i>	B/K	5	4	3	4	2	3	3	1
Grauschnäpper <i>Muscicapa striata</i>	B/L	2	4	6	6	5	3	5	–
Sumpfmeise <i>Parus palustris</i>	B/S	1	–	1	–	–	–	–	2
Tannenmeise <i>Parus ater</i>	B/S	1	1	1	1	2	2	–	–
Haubenmeise <i>Parus cristatus</i>	B/S	–	–	–	–	–	1	–	1
Blaumeise <i>Parus caeruleus</i>	B/S	6	5	6	5	4	7	3	4
Kohlmeise <i>Parus major</i>	B/S	9	9	7	8	9	9	8	7
Kleiber <i>Sitta europaea</i>	B/S	1	2	1	2	1	1	1	1
Elster <i>Pica pica</i>	B/S	1	1	1	–	–	–	–	–
Rabenkrähe <i>Corvus corone</i>	B/S	–	1	–	1	1	–	–	1
Star <i>Sturnus vulgaris</i>	B/K	6	4	1	5	3	4	3	2
Hausperling <i>Passer domesticus</i>	H/S	23	30	27	31	28	26	23	17
Feldperling <i>Passer montanus</i>	B/S	–	–	–	–	–	–	1	–
Buchfink <i>Fringilla coelebs</i>	B/S	4	3	5	2	3	3	4	3
Grünfink <i>Carduelis chloris</i>	B/S	7	4	8	5	6	6	2	1
Girlitz <i>Serinus serinus</i>	B/K	1	2	1	1	1	2	2	1
Gimpel <i>Pyrrhula pyrrhula</i>	B/S	1	–	–	–	–	–	–	–
Anzahl Reviere		121	121	123	129	127	129	106	87
Anzahl Arten		25	20	22	21	24	22	20	19
Durchschnittliche Anzahl Reviere/ha		14,6	14,6	14,8	15,5	15,3	15,5	12,8	10,5

Keine signifikante Veränderung zeigt sich beim Anteil der Arten mit Bindung an das Element Gebäude ( $r_s = -0,43$ ,  $p = 0,29$ ).

In Bezug auf das Zugverhalten liessen sich in beiden Untersuchungsgebieten keine signifikanten Veränderungen in der Artenzusammensetzung feststellen (Spearman Rangkorrelation,  $p > 0,1$  für alle Zugverhalten). Der Anteil der

Langstreckenzieher schwankte zwischen 9 und 14 % (Mittel 11 %) in der Vorstadt, und zwischen 9 % und 13 % (Mittel 12 %) in der Steingrube. Die Kurzstreckenzieher machten 20–25 % (Mittel 21 %) und 17–25 % (Mittel 22 %) des Bestandes aus. Standvögel erreichten 62–69 % (Mittel 68 %) und 66–70 % (Mittel 66 %) des Bestandes.

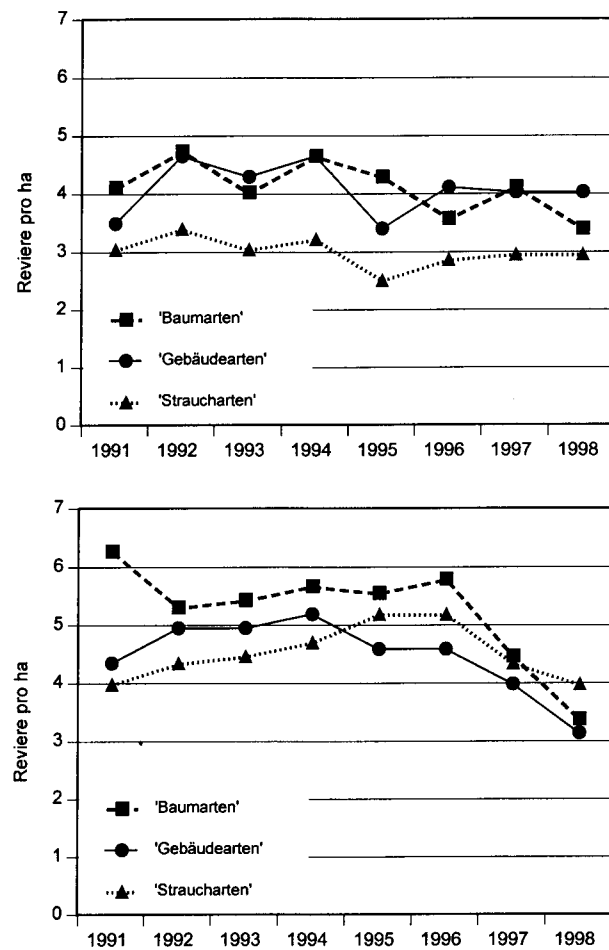


Abb. 5. Entwicklung der Brutvogelgruppen hinsichtlich ihrer Bindung an Hauptstrukturelemente. Angegeben ist die Anzahl Reviere pro ha für das jeweilige Element. Einteilung der Arten siehe Tab. 2 und 3. Oben Vorstadt, unten Steingrube. Statistische Hinweise im Text. – *Number of breeding pairs per ha for the three ecological groups tree, bush and building according to study areas. See Tab. 2 and 3 for the classification of the species to their group. Top: Vorstadt, bottom: Steingrube.*

### 2.3. Habitatstruktur der Untersuchungsgebiete

Die Untersuchungsflächen Vorstadt und Steingrube umfassen insgesamt 111 bzw. 73 Grundstücke. In beiden Gebieten sind die Grundstückstypen Ein-/Mehrfamilienhaus und Villa vorherrschend. Zusammen nahmen sie 1998 in der Vorstadt 68,4 % und in der Steingrube 84 % der Gesamtfläche ein, wobei sich dieser Anteil über die gesamte Untersuchungsperiode kaum verändert hat (–0,7 % bzw. –1,7 % für Vorstadt bzw. Steingrube). Verschieben haben sich jedoch in beiden Gebieten die jeweiligen Flächenanteile dieser beiden Grundstückstypen.

Sowohl in der Vorstadt wie auch in der Steingrube hat sich der Flächenanteil der Villa-Grundstücke zugunsten der Ein-/Mehrfamilienhaus-Grundstücke verringert (Abb. 6). Vorstadt und Steingrube unterscheiden sich merklich im Flächenanteil der Grundstückstypen Gewerbe-/Wohnblock und Villa, wohingegen der Anteil an Ein-/Mehrfamilienhaus-Grundstücken ähnlich hoch ist (Abb. 6). Der flächenmässige Anteil der Gewerbe-/Wohnblock-Grundstücke ist in der Vorstadt deutlich höher, derjenige der Villen-Grundstücke deutlich niedriger als in der Steingrube. Dieser Unterschied spiegelt sich auch im durchschnittlichen

Tab. 4. Allgemeines Lineares Modell (Modell A), welches den Artwert pro Grundstück beschreibt. Das Ausgangsmodell enthält Grundstückslage (Rand oder Zentrum), Grundstücksstruktur (Habitatstrukturwert) und Gebietszugehörigkeit (Vorstadt oder Steingrube) als Faktoren, sowie Struktur der Nachbargrundstücke und Grundstücksgrösse als Kovariablen. Mittels schrittweiser Rückwärtselimination wurde das Ausgangsmodell um alle nicht signifikanten Effekte bzw. Interaktionen reduziert. – *General linear model (final model A) on species number per property. The original model included property structure, property location (edge or center) and study area (Vorstadt or Steingrube) as factors and property size and structure of neighbouring properties as covariates. Backward elimination procedure was used to identify the variables significantly related to species number per property.*

Ausgangsmodell (alle Variablen)	R <sup>2</sup> 0,68
Schlussmodell (nur signifikante Effekte) <sup>a</sup>	R <sup>2</sup> 0,61

#### Reduziertes Modell

Effekt	Quadratsumme	df	F	P
Konstanter Term	0,98	1	0,63	0,428
Grundstücksgrösse	89,41	1	57,85	<0,001
Habitatstrukturwert	19,07	7	1,76	0,098
Habitatstrukturwert × Grundstücksgrösse	38,54	7	3,56	0,001
Fehler	256,54	166		
Korrigierte Gesamtvariation	654,99	181		

<sup>a</sup> nicht signifikante Effekte ( $p > 0,05$ ): Randeffect, Nachbareffect, Gebietseffect, alle Zweifach-Interaktionen ausser Habitatstrukturwert × Grundstücksgrösse.

Habitatstrukturwert der beiden Gebiete wider. Mit 5,3 Punkten ist derjenige der Vorstadt signifikant niedriger als derjenige der Steingrube mit 6,2 Punkten (Mann-Whitney-U-Test,  $p < 0,01$ ). Das bedeutet, dass die Grundstücke der

Steingrube im Durchschnitt etwas vielfältiger strukturiert sind und einen höheren Grünflächenanteil aufweisen. Dieses Resultat entspricht auch dem Versiegelungsgrad (Versickerung des Regenwassers verunmöglicht,

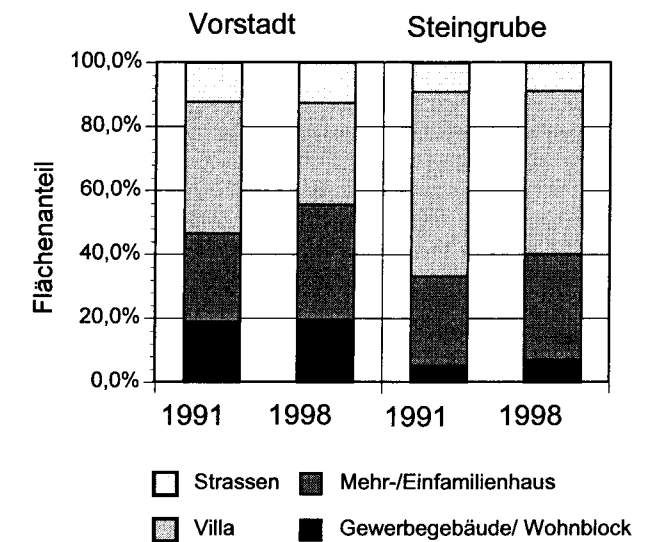


Abb. 6. Prozentuale Flächenanteile der verschiedenen Grundstückstypen und der Strassen in der Vorstadt und der Steingrube im ersten (1991) und letzten Jahr (1998) der Untersuchungsperiode. – *Relative composition of the three property categories and streets in the two areas Vorstadt and Steingrube in the first (1991) and the last year (1998) of the study period. Gewerbegebäude/Wohnblock = industrial and apartment buildings, Mehr-/Einfamilienhaus = multifamily residence/one-family house, Villa = villa, Strassen = paved roads.*

**Tab. 5.** Allgemeines Lineares Modell (Modell B) für den Artwert pro Grundstück mit Grundstücksgrösse als Kovariable. Das Ausgangsmodell enthält die Habitatstrukturelemente Baum, Strauch, Bodenvegetation, Anteil Grünfläche und Gebäudehöhe als Haupteffekte. Mittels schrittweiser Rückwärtselimination wurde das Gesamtmodell um alle nicht signifikanten Effekte reduziert. – *General linear model (final model B) on species number per property with property size as covariate. The original model included the habitat structure elements tree, bush, ground vegetation, proportion of green area and height of building (no. of storeys) as factors. Backward elimination procedure was used to identify the variables significantly related to species number per property.*

Ausgangsmodell (nur signifikante Effekte) <sup>a</sup>		R <sup>2</sup>	0,67	
Schlussmodell (alle Variablen)		R <sup>2</sup>	0,66	
<i>Reduziertes Modell</i>				
Effekt	Quadratsumme	df	F	P
Konstanter Term	13,95	1	10,74	0,001
Grundstücksgrösse	84,13	1	64,77	<0,001
Anteil Grünfläche	2,14	2	0,82	0,440
Baum	0,89	1	0,68	0,410
Strauch	11,11	1	8,55	0,004
Gebäudehöhe	8,77	2	3,38	0,037
Anteil Grünfläche × Grundstücksgrösse	19,21	2	7,39	0,001
Baum × Grundstücksgrösse	5,61	1	4,32	0,039
Strauch × Grundstücksgrösse	19,46	1	14,98	<0,001
Fehler	220,85	170		
Korrigierte Gesamtvariation	654,99	181		

<sup>a</sup> nicht signifikante Effekte ( $p > 0,05$ ): Alle Zweifach-Interaktionen ausser Anteil Grünfläche × Grundstücksgrösse, Strauch × Grundstücksgrösse und Baum × Grundstücksgrösse, sowie Bodenvegetation.

somit keine direkte Verbindung zum Grundwasser, d.h. Gebäude, asphaltierte Strassen und Plätze), der in der Vorstadt mit 60 % (6,7 ha) wesentlich höher ist als in der Steingrube mit 40 % (3,3 ha). Die durchschnittliche Grundstücksgrösse in der Vorstadt ist mit 8,9 a geringer als in der Steingrube mit 10,3 a (Mann-Whitney-U-Test,  $p < 0,01$ ).

Bei der Analyse der Strukturelemente liess sich im Modell A für Randeffekt, Nachbareffekt sowie Gebietseffekt kein signifikanter Einfluss auf den Artwert nachweisen ( $p > 0,05$  in allen Fällen). Das Schlussmodell enthielt daher noch die beiden Effekte Habitatstrukturwert und Grundstücksgrösse sowie deren Interaktion und «erklärte» 61 % der Gesamtvariation des Artwertes (Tab. 4). Die Interaktion kommt dadurch zustande, dass auf grossen Flächen trotz eines geringen Habitatstrukturwertes der Artwert im Mittel relativ hoch ist. Dies bedeutet, dass der Habitatstrukturwert insbesondere auf kleinen Flächen einen positiven Einfluss auf den Artwert hat.

Im Modell B, wo an Stelle des Habitatstrukturwertes die ihn bedingenden Faktoren Baum, Strauch, Bodenvegetation, Anteil Grünfläche und Gebäudehöhe verwendet wurden, hatte einzig das Strukturelement Bodenvegetation keinen signifikanten Effekt auf den Artwert eines Grundstücks ( $p > 0,05$ ). Das Schlussmodell bleibt daher relativ komplex (Tab. 5); es erklärt 66 % der Gesamtvariation des Artwertes. Vereinfacht lässt sich daraus ableiten, dass Grundstücke mit mit einem hohen Anteil an Bäumen, Sträuchern und Grünfläche sowie niedrigen Gebäuden die durchschnittlich höchsten Artwerte aufweisen. Der Einfluss von Bäumen und Grünflächen ist jedoch nur bei kleineren Grundstücken gegeben.

### 3. Diskussion

#### 3.1. Entwicklung der Brutvogelbestände

Die Siedlungsdichte ist über den Zeitraum der Untersuchungsperiode in beiden Untersu-

chungsgebieten rückläufig. Die Abnahme ist statistisch jedoch nicht signifikant und kann deshalb noch im Bereich der jährlichen Populationschwankungen liegen. In der Vorstadt zeigt sich ein Rückgang der lokalen Artenzahl pro Jahr, währenddem in der Steingrube keine statistisch signifikante Veränderung festgestellt wurde. Dagegen hat sich die Artenzusammensetzung in der Steingrube wesentlich verändert. Der prozentuale Anteil der Vogelarten mit einer Bindung an das Hauptstrukturelement Strauch hat zugenommen, derjenige mit einer Bindung an das Element Baum hat abgenommen. In der Vorstadt blieb eine solche Entwicklung aus. Die Untersuchung zeigt, dass Vogelpopulationen im Siedlungsgebiet dynamisch sind und sich auch über einen kurzen Zeitraum von acht Jahren deutlich verändern können. Umgekehrt sind die Bestände wohl wegen der kleinen Untersuchungsgebiete zu gering und die Untersuchungsperiode ist zu kurz, als dass (langfristige) Bestandsveränderungen signifikant erfasst werden könnten. Zudem wurden die Bestände von Mauersegler, Strassentaube, Haussperling und Star mit der Revierkartierungsmethode möglicherweise nicht genügend genau erfasst, wodurch allfällige Trends zusätzlich verfälscht werden können. Die tendenziell negative Entwicklung der Bestände einhergehend mit einer Trivialisierung der Artenzusammensetzung steht jedoch im Einklang mit Resultaten aus anderen Studien (Berthold et al. 1986, Böhnig-Gaese 1995, Schmid et al. 2001, Weggler & Widmer 2000b).

#### 3.2. Einfluss von Grundstücksgrösse und Habitatstruktur auf Artenzahl und Artenzusammensetzung

Mit Hilfe von statistischen Modellen wurde versucht, abzuschätzen, inwiefern die Habitatstruktur der einzelnen Grundstücke die mittlere Artenzahl pro Grundstück 1995–1998 (Artwert) beeinflussten. Für die nachfolgende Diskussion ist jedoch wichtig anzumerken, dass es sich hierbei um eine Vereinfachung der Zusammenhänge handelt und dass das Modell in gewissen Belangen unzureichend ist. Zum Beispiel sollten die einzelnen Grundstücke nicht

als unabhängige, sondern als vernetzte Einheiten betrachtet werden, auch wenn mit der Einbeziehung des Nachbareffekts diesem Umstand etwas Rechnung getragen wurde. Zusätzlich wurden die Grenzen für die Vergabe der Punktzahl eines Habitatstrukturelements aufgrund von subjektiven Kriterien festgelegt. Die Vielfalt von Vogelmenschen wird zur Hauptsache auf einer räumlich grösseren Skala als jener der Grundstücke bestimmt. Als wichtigstes Element, das den Artwert eines Grundstücks erklärt, wurde die Grundstücksgrösse gefunden. Dieses Resultat wurde aber wegen der Arten-Arealgrössen-Abhängigkeit erwartet und wird deshalb nicht weiter diskutiert.

Trotz dieser Vorbehalte kann dennoch vor allem bei kleinen Flächen von einem Einfluss der Habitatstruktur auf die Artenzahl auf der für Vögel kleinen Einheit «Grundstück» gesprochen werden. Die Versiegelung und Bepflanzung der Grundstücksfläche kann das lokale Vorkommen gewisser Vogelarten bestimmen. So könnte auch der Rückgang, respektive das vollständige Verschwinden einzelner Arten (z.B. Tannenmeise und Sommergoldhähnchen in der Steingrube) auf solche Lebensraumveränderungen zurückgeführt werden.

Die Artenzahl über den ganzen Untersuchungszeitraum ist in beiden Gebieten identisch. Auf Grund der obigen Ausführungen lässt sich jedoch darüber spekulieren, ob die flächenmässig kleinere Steingrube die gleiche Artenzahl wie die Vorstadt dank ihrem durchschnittlich höheren Habitatstrukturwert pro Grundstück erreicht. Der Sørensen-Index von rund 84 % bestätigt jedoch, dass sich die beiden Untersuchungsgebiete hinsichtlich der Artenzusammensetzung nicht wesentlich unterscheiden. Bei vier von fünf nur in der Vorstadt registrierten Brutvogelarten handelt es sich allerdings eher um «Parkarten» (Trauerschnäpper, Gartenbaumläufer, Distelfink) oder «städtische Arten» (Strassentaube), bei vier von fünf nur in der Steingrube registrierten Arten eher um «Waldarten» (Kleinspecht, Singdrossel, Haubenmeise, Gimpel). In der Vorstadt war ausserdem der Anteil der Arten mit einer Bindung an das Hauptstrukturelement Gebäude im Durchschnitt etwas höher als in der Steingrube (Vorstadt Mittelwert<sub>1991–98</sub> = 36,4 %; Stein-

grube Mittelwert<sub>1991-98</sub> = 31,3 %), der Anteil solcher mit einer Bindung an das Hauptstrukturelement Strauch dagegen etwas kleiner (Vorstadt Mittelwert<sub>1991-98</sub> = 27 %; Steingrube Mittelwert<sub>1991-98</sub> = 32,1 %). Dass es sich bei der Vorstadt um ein stärker urban geprägtes Gebiet handelt als bei der Steingrube, kommt zusätzlich im höheren Versiegelungsgrad und im geringeren Habitatstrukturwert pro Grundstück zum Ausdruck. Zudem dürfte die Nähe zum Wald ebenfalls auch einen Einfluss auf das Artenspektrum des Untersuchungsgebiets Steingrube haben.

### 3.3. Arten- und Revierzahlen: Vergleich mit anderen Gebieten in der Schweiz und im Ausland

Abgesehen von den erwähnten geringfügigen qualitativen Unterschieden der beiden Flächen weisen die Vorstadt und die Steingrube eine vergleichbare Siedlungsdichte und Artengarnitur auf und sollen im Folgenden gemeinsam anderen Untersuchungen aus dem Siedlungsgebiet gegenübergestellt werden.

Bevor Vergleiche mit anderen Artenzahlen und Dichteangaben angestellt werden, muss die Kleinheit der beiden Untersuchungsflächen (11,2 ha und 8,3 ha) betont werden. Die Grösse eines Gebietes hat einen grossen Einfluss auf die Artenzahl: Im Siedlungsraum kann erst bei einer Gebietsgrösse von 20–30 ha von einer Sättigung der Arten-Arealkurve gesprochen werden (Mulsow 1980).

Auch Dichteangaben sind stark abhängig von der Grösse des Untersuchungsgebiets, bei grösseren Flächen nehmen sie ab (Schermer 1981, Bezzel 1982, Vowinkel & Dierschke 1989). Weitere Faktoren, die bei Vergleichen eine Rolle spielen können, sind das Alter und der Typ (Agglomeration, Innenstadt etc.) des Siedlungsgebietes.

Aus der Schweiz sind wenige Arbeiten von quantitativen ornithologischen Untersuchungen aus dem Siedlungsraum bekannt (Balzari et al. 1994, Weggler & Widmer 2000b). In Europa dagegen gibt es eine Vielzahl von Arbeiten aus Städten, so z.B. aus Deutschland und Polen (Flade 1994, Braun 1999, Mitschke & Baumung 2001) und aus Italien (Dinetti et al. 1996).

Artenzahlen für Kartierungsgebiete mit einer Fläche von 2,5–91 ha aus europäischen Städten variieren zwischen 10 und 32, wobei die meisten Kartierungsflächen nur in einem Jahr bearbeitet wurden. Somit müssen diese mit den Durchschnittswerten der Jahre 1991 bis 1998 für die beiden Gebiete (21,5 Arten für die Vorstadt, 21,6 Arten Steingrube) verglichen werden. Hier sind die beiden Gebiete als durchschnittlich einzustufen. Dichtewerte derselben Studien schwanken je nach Überbauungsgrad und Fläche des Untersuchungsgebiets zwischen 3,9 und 29,4 Revieren pro ha (R/ha), mit einem Schwerpunkt zwischen 10 und 20 R/ha (alle Angaben Mulsow 1980, Dulisz & Nowakowski 1996, Luniak 1996, Clergeau et al. 1998, Braun 1999). Die durchschnittlichen Werte für die Vorstadt mit 11,2 R/ha, respektive für die Steingrube mit 14,2 R/ha, sind also im unteren Bereich dieser Zusammenstellung einzuordnen. Die höchsten Dichtewerte wurden grundsätzlich in den am stärksten überbauten Gebieten gefunden (Dulisz & Nowakowski 1996, Clergeau et al. 1998). Bis über 50 % der Vogelpopulation wurde dann aber von wenigen Arten ausgemacht (z.B. 59 % von Haussperling und Strassentaube, Braun 1999; 52 % von Strassentaube, Haussperling und Star, Clergeau et al. 1998). In Hamburg machen die dominanten Arten (Haussperling, Amsel, Grünfink und Kohlmeise) insgesamt 64,1 % der Reviere aus (Mulsow 1980). Die fünf Arten, die in allen Jahren dominant auftraten, begründeten in der Vorstadt durchschnittlich 61 %, in der Steingrube 63 % aller ausgeschiedenen Reviere. Haussperling, Amsel und Kohlmeise gehören in den meisten Untersuchungen zu den fünf häufigsten Arten. In Schweizer Siedlungsgebieten zählen zu diesen je nach Studie noch Grünfink und Buchfink (Weggler & Widmer 2000b), Buchfink und Mönchsgrasmücke (Balzari et al. 1994) oder Mauersegler und Mönchsgrasmücke (vorliegende Arbeit).

Verschiedene Autoren untersuchten den Zusammenhang zwischen der Strukturvielfalt einzelner Untersuchungsgebiete und der Artenzahl. Sie fanden einen positiven Zusammenhang zwischen Artenzahl pro Untersuchungsgebiet und Strukturiertheit des urbanen Lebensraums (Mulsow 1980, Dulisz & Nowa-

kowski 1996, Mirabella et al. 1996, Clergeau et al. 1998). Die Resultate unserer Untersuchung betreffend Artenzahl (ausgedrückt über den Index Artwert) in Abhängigkeit von der Grundstücksstruktur zeigen, dass diese Verknüpfung auch auf die kleinräumigere Skala der Grundstücke übertragen werden kann.

### 3.4. Bedeutung des Siedlungsgebiets für Brutvögel

Vielfach haben Siedlungsgebiete mehr Arten und höhere Dichten aufzuweisen als z.B. gleichgrosse ausgeräumte Landwirtschaftsflächen (Luder 1993). Aus dieser Tatsache und der vorliegenden Untersuchung könnte deshalb gefolgert werden, dass es für die Vogelwelt umso besser ist, je grosszügiger Grundstücke, respektive Siedlungsräume geplant werden. Dieser Schluss trägt: Falls sich die Siedlungsflächen weiter ausdehnen, werden vor allem häufige und weit verbreitete Arten gefördert. Das Siedlungsgebiet ist nur ein Ersatzlebensraum für Arten, die auch in anderen Lebensräumen wie Felsen (Mauersegler, Hausrotschwanz), Wald (z.B. Amsel, Rotkehlchen, Sommergoldhähnchen) sowie halboffenen Lebensräumen (z.B. Gartenrotschwanz, Girlitz) vorkommen. Nur wenige Arten dieses Lebensraumes sind akut gefährdet und figurieren auf der Roten Liste oder auf der Liste der für den Naturschutz besonders wichtigen Arten der Schweiz (Keller & Bollmann 2001). Es ist zu empfehlen, in bereits gebauten und in geplanten Siedlungsgebieten reich strukturierte Grünflächen zu schaffen und Flächen nur dort zu versiegeln, wo es ihre Funktion unabdingbar erfordert.

Das Siedlungsgebiet ist ähnlich wie das Landwirtschaftsgebiet ein Teil der Kulturlandschaft. Es ist und bleibt ein von menschlichen Eingriffen geprägter Lebensraum. Aufgrund des gärtnerischen Eingreifens erfährt der Siedlungsraum ständige, kleinräumige Veränderungen durch den Menschen. Sie bieten aber auch die Möglichkeit, positive Akzente im Siedlungsbereich zu setzen, so zum Beispiel durch das Öffnen von versiegelten Flächen. Grundstücksbesitzer haben durch die Gestaltung einer vielfältigen Grünfläche die Möglichkeit,

die lokale Artenvielfalt im Siedlungsgebiet mitzubestimmen. Dadurch kann der Lebensraum Siedlungsgebiet auch für anspruchsvolle Arten erhalten und aufgewertet werden.

**Dank.** Das Stadtbauamt Solothurn hat uns kostenlose Drucke hochauflösender Orthofotos überlassen. Michael Schaub hat uns in statistischen Fragen beraten. Walter Christen und Michael Schaub lasen das Manuskript kritisch durch und gaben wertvolle Verbesserungsvorschläge. Christian Marti, Hans Schmid und Axel Budde halfen mit richtungweisenden Gesprächen und anregender Kritik. Ihnen allen danken wir dafür herzlich.

### Zusammenfassung

Diese Arbeit beschreibt acht Jahre Bestandsaufnahmen in zwei Siedlungsgebieten der Stadt Solothurn (11,2 und 8,3 ha) und untersucht den Einfluss der Habitatstruktur auf die Anzahl der auf einem Grundstück vorkommenden Vogelarten. In den Untersuchungsgebieten «Vorstadt» und «Steingrube» wurden je 31 Brutvogelarten erfasst, 13 Arten davon alljährlich in beiden Probeständen. In der Vorstadt wurden pro Jahr durchschnittlich 125 Vogelreviere (11,2 Reviere pro ha), in der Steingrube 118 Reviere (14,2 Reviere pro ha) ausgeschieden. Die Artenvielfalt nahm in der Vorstadt im Verlaufe des Untersuchungszeitraums signifikant ab. Eine ähnliche Entwicklung zeigte sich in der Steingrube, die Veränderung war dort jedoch nicht signifikant. In beiden Gebieten war die Revierzahl tendenziell rückläufig. Dieselben fünf Arten (Haussperling, Amsel, Mauersegler, Mönchsgrasmücke, Kohlmeise) traten beidorts in allen Jahren dominant auf. Ihre Dichte blieb über den Untersuchungszeitraum in beiden Gebieten konstant, währenddem diejenige der übrigen Arten abnahm. Die Ergebnisse stehen im Einklang mit anderen Studien, die darauf hinweisen, dass seltener Arten mit höheren Habitatsansprüchen zunehmend aus dem Siedlungsgebiet verschwinden. Die untersuchten Flächen sind jedoch zu klein, als dass allgemein gültige Aussagen gemacht werden könnten.

Die Grösse und bestimmte Habitatstrukturelemente (Grünflächenanteil an Grundstücksfläche, Bodenvegetation, Strauch, Baum sowie Gebäudehöhe) jedes Grundstücks wurden erfasst. Mit einem Allgemeinen Linearen Modell wurde getestet, ob die Habitatstruktur der Grundstücke einen für die einzelnen Grundstücke berechneten Artindex, genannt Artwert, beeinflusst. Reich strukturierte Grundstücke wiesen durchschnittlich die höchsten Artindizes auf. Obwohl die Artenvielfalt in erster Linie auf einer geografisch grösseren Skala als derjenigen der Grundstücke bestimmt wird, zeigen diese Ergebnisse, dass ein Grundstücksbesitzer die Anzahl Brutvogelarten lokal positiv beeinflussen kann, indem er



die Strukturvielfalt auf seinem Grundstück gezielt fördert.

#### Literatur

- ADAMS, L. W. (1994): Urban wildlife habitats. Minneapolis.
- BALZARI, C. A., M. CAMICI, M. FREY, J. HOSTETTLER, M. ISELI & R. RICKLI (1994): Die Brutvögel von Muri-Gümligen. Gümligen.
- BERTHOLD, P., G. FLIEGE, U. QUERNER & H. WINKLER (1986): Die Bestandsentwicklung von Kleinvögeln in Mitteleuropa: Analyse von Fangzahlen. *J. Ornithol.* 127: 397–437.
- BEZZEL, E. (1982): Vögel in der Kulturlandschaft. Stuttgart.
- BLATTNER, M. (1991): Avifaunistik Merkblatt. Schweizerische Vogelwarte, Sempach.
- BÖHNIG-GAESE, K. (1995): Dynamik von Zugvogelgemeinschaften in verschiedenen Gebieten und Zeiträumen. *J. Ornithol.* 136: 149–158.
- BRAUN, H.-G. (1999): Auswirkungen der Altbauseanierung auf die innerstädtische Brutvogelfauna: Siedlungsökologische Untersuchungen in Berlin-Kreuzberg. *Vogelwelt* 120: 39–51.
- Bundesamt für Raumplanung (1998): Vademecum Raumplanung Schweiz. Bern.
- Bundesamt für Statistik (1992): Die Bodennutzung der Schweiz. Arealstatistik 1979/85. Bern – (2001): Arealstatistik Schweiz: Bodennutzung im Wandel. Neuchâtel. – (2002): Volkszählung 2000. Neuchâtel.
- CHRISTEN, W. (1996): Die Vogelwelt der Aareebene westlich von Solothurn. *Mitt. Nat.forsch. Ges. Kanton Solothurn* 37: 9–118.
- CLERGEAU, P., J.-P. SAVARD, G. MENNECHEZ & G. FALARDEAU (1998): Bird abundance and diversity along an urban-rural gradient: a comparative study between two cities on different continents. *Condor* 100: 413–425.
- CZEKANOWSKI, J. (1913): *Zarys Metod Statystycnek*. Warsaw.
- DINETTI, M., B. CIGNINI, M. FRAISSINET & M. ZAPPAROLI (1996): Urban ornithological atlases in Italy. *Acta Ornithol.* 31: 15–23.
- DULISZ, B. & J. J. NOWAKOWSKI (1996): The species diversity of the avifauna in built-up areas in the city of Olsztyn (NE Poland). *Acta Ornithol.* 31: 33–38.
- FLADE, M. (1994): Die Brutvogelgemeinschaften Mittel- und Norddeutschlands. Grundlagen für den Gebrauch vogelkundlicher Daten in der Landschaftsplanung. Echting.
- GLUTZ VON BLOTZHEIM, U. N. & K. M. BAUER (1980): *Handbuch der Vögel Mitteleuropas*, Band 9. Wiesbaden.
- KELLER, V. & K. BOLLMANN (2001): Für welche Vogelarten trägt die Schweiz eine besondere Verantwortung? *Ornithol. Beob.* 98: 323–340.
- LUDER, R. (1993): Vogelbestände und -lebensräume in der Gemeinde Lenk (Berner Oberland): Veränderungen im Laufe von 12 Jahren. *Ornithol. Beob.* 90: 1–34.
- LUNIAK, M. (1996): Inventory of the Avifauna of Warsaw – species composition, abundance, and habitat distribution. *Acta Ornithol.* 31: 67–80.
- MIRABELLA, P., M. FRAISSINET & M. MILONE (1996): Breeding birds and territorial heterogeneity in Naples city (Italy). *Acta Ornithol.* 31: 25–31.
- MITSCHE, A. & S. BAUMUNG (2001): Brutvogel-Atlas Hamburg. Revierkartierung auf 768 km<sup>2</sup> Stadtfläche zwischen 1997 und 2000. Hamburg.
- MULSOW, R. (1980): Untersuchungen zur Rolle der Vögel als Bioindikatoren – am Beispiel ausgewählter Vogelgemeinschaften im Raum Hamburg. *Hamb. avifaun. Beitr.* 17: 1–270.
- OELKE, H. (1980): Siedlungsdichte. S. 34–44 in P. BERTHOLD, E. BEZZEL & G. THIELCKE: *Praktische Vogelkunde. Empfehlungen für die Arbeit von Avifaunisten und Feldornithologen*. 2. Aufl., Greven.
- SCHERNER, E. R. (1981): Die Flächengröße als Fehlerquelle bei Brutvogel-Bestandsaufnahmen. *Ökol. Vögel* 3: 145–175.
- SCHMID, H., M. BURKHARDT, V. KELLER, P. KNAUS, B. VOLET & N. ZBINDEN (2001): Die Entwicklung der Vogelwelt in der Schweiz. *Avifauna Report Sempach* 1, Annex.
- SØRENSEN, T. A. (1949): A method of establishing groups of equal amplitude in plant sociology based on similarity of species content, and its application to analyses of the vegetation on Danish commons. *Kongelige Danske Videnskabernes Selskab Biologiske Skrifter*.
- SUKOPP, H. (1998): *Stadtökologie. Ein Fachbuch für Studium und Praxis*. Stuttgart.
- TOMIAŁOJCZAK, L., T. WESOŁOWSKI & W. WALANKIEWICZ (1984): Breeding bird community of a primeval temperate forest (Białowieża National Park, Poland). *Acta Ornithol.* 20: 241–310.
- VOWINKEL, K. & V. DIERSCHKE (1989): Beziehung zwischen Flächengröße und Abundanz am Beispiel der Feldlerchen *Alauda arvensis* mit Anmerkungen zur Arten-Areal-Kurve auf Ackerland. *Vogelwelt* 110: 221–231.
- WEGGLER, M. & M. WIDMER (2000a): Vergleich der Brutvogelbestände im Kanton Zürich 1986–1988 und 1999. I Was hat der ökologische Ausgleich in der Kulturlandschaft bewirkt? *Ornithol. Beob.* 97: 123–146 – (2000b): Vergleich der Brutvogelbestände im Kanton Zürich 1986–1988 und 1999. II Verstädterung der Siedlungsräume und ihre Folgen für die Brutvogelwelt. *Ornithol. Beob.* 97: 223–232.
- WOLDA, H. (1981): Similarity indices, sample size and diversity. *Oecologia* 50: 296–302.

Manuskript eingegangen 29. August 2003  
Bereinigte Fassung angenommen 22. Juni 2004