

## Heuschrecken (Saltatoria) und Ohrwürmer (Dermaptera) im Immissionsgebiet des Düngemittelwerkes Steudnitz/Thüringen – eine Langzeitstudie (1978–2001)\*

Mit 24 Abbildungen, 10 Tabellen und 2 Anhängen

GÜNTER KÖHLER

\* Herrn Prof. em. Dr. rer. nat. habil. Gerhard Schaller in 30jähriger Verbundenheit nunmehr zum 80. Geburtstag gewidmet (und bereits zum 65. Geburtstag geplant)

**Zusammenfassung:** In umfangreichen, über knapp drei Jahrzehnte laufenden Freilandforschungen des Wissenschaftsbereiches und späteren Instituts für Ökologie (FSU Jena) wurde das durch Abstäube (P, Na, K, Mg, F, Cd) stark belastete Immissionsgebiet des Phosphatdüngemittelwerkes Steudnitz ab 1978 (während der Produktion) und ab 1990 nach deren Einstellung (während der Regeneration) vegetationskundlich, öko-faunistisch, produktions- und bodenökologisch untersucht. Dabei sind entlang einer Belastungskatena mit einartigen *Puccinellia*- und *Elymus*-Beständen sowie *Bromus-Festuca*-Rasen in 18 Jahren mit fünf Erfassungsmethoden (bes. quantitatives Keschern und Bodenfallen) insgesamt 6245 Heuschrecken und 151 Ohrwürmer gefangen worden. Von den insgesamt 16 Heuschreckenarten (8 Ensifera und 8 Caelifera) traten in der Immissionsphase nur 7 Gomphocerinae auf, zu denen in der Regenerationsphase (jährweise 4–11 Arten) allmählich erst die Ensifera hinzukamen. Die Assoziationen über den Gesamtzeitraum dominierten *Chorthippus biguttulus*, *Ch. albomarginatus* und *Ch. apricarius* in unregelmäßig wechselnden Anteilen in den Flächen und Jahren, mit  $\pm$  stabilen Verhältnissen (1981–92) im Salzschwaden. In den Jahren 1993–96 kamen in Hangmitte zuerst *Metriopectera roeselii*, danach *Phaneroptera falcata* als häufigere Arten hinzu. Die mittlere jährliche Kescherdichte, 1978–80 noch bei Null, stieg danach in der Immissionsphase stark an (max. 1985), schwankte 1990–93 auf hohem Niveau, erreichte 1994–95 ein Minimum und nahm 1996 erneut zu, wobei Emissionen, Klimaerwärmung und Sukzession in komplexer Weise einwirkten. Im Laufe der Immissionsphase waren von den beiden häufigen Arten *Ch. biguttulus* und *Ch. albomarginatus* zunehmend alle Entwicklungsstadien zu finden, was für die Etablierung einer weitgehend autochthonen Generationenfolge selbst in stark staubbelasteten Bereichen spricht. Dagegen schienen sich die imaginaldominierten Vorkommen von *Forficula auricularia* überwiegend durch Einwanderung zu rekrutieren. Der fangzahlbasierte Ensifera/Caelifera-Index, in der Immissionsphase noch bei Null, erreichte in der Regenerationsphase einen Wert von 0,17 und entsprach damit ein Jahrzehnt nach Produktionseinstellung etwa den regionalen naturnahen Verhältnissen. Die Ergebnisse werden hinsichtlich verarmter Artenspektren, individuenreicher Populationen und möglicher Ursachen im Kontext zu anderen Arthropodengruppen diskutiert.

**Abstract: Saltatoria and Dermaptera in the polluted area of a fertilizer factory in Thuringia/Germany – a long-term study (1978–2001)**

In extended field studies over three decades the Department of Ecology (Friedrich-Schiller-University of Jena) investigated the ecological relations between vegetation, fauna, biomass and soil in the heavily polluted area (P, Na, K, Mg, F, Cd) of a phosphate fertilizer factory from 1978 (during production) and from 1990 after cessation (during regeneration). Along an immission catena with monocoenotic *Puccinellia* and *Elymus* as well as mixed *Bromus-Festuca* meadows over 18 years with five methods (mainly quantitative sweep netting and pitfall traps) a total of 6245 Saltatoria and 151 Dermaptera were obtained. Out of the altogether 16 Saltatoria species (8 Ensifera and 8 Caelifera) in the immission phase only 7 Gomphocerinae occurred, whereas in the regeneration phase (yearly 4–11 species) the Ensifera added gradually. Over the whole period the associations were dominated by *Chorthippus biguttulus*, *Ch. albomarginatus* and *Ch. apricarius* in irregularly changing percentages in the catena plots and over the years, only  $\pm$  stable in *Puccinellia*: From 1993–96 first *Metriopectera roeselii*, after that *Phaneroptera falcata* occurred in higher individual numbers. The median sweep net density, 1978–80 still near zero, increased then rapidly (max. 1985), varied 1990–93 on a high level, decreased 1994–95 to a minimum, and increased again in 1996, with emissions, climate change and succession as complex influencing factors. In the course of the immission phase from both common grasshoppers *Ch. biguttulus* and *Ch. albomarginatus* all juvenile stages occurred, indicating autochthonous generations also in the

heavily polluted plots. In contrast to, the adult-dominated *Forficula auricularia* were believed to be mostly immigrated. The Ensifera/Caelifera-index, in the immission phase still at zero, in the regeneration phase amounted to 0.17, corresponding to regional values of non-polluted areas. The results are discussed with respect to impoverished species richness, high population densities and possible causes in the context to other arthropod taxa in the area.

## 1. Einleitung

Seit den 1970er Jahren beschäftigte sich die terrestrisch-ökologische Forschung in der damaligen DDR in zunehmendem Maße mit den immer gravierender werdenden Problemen der Umweltverschmutzung. Der Wissenschaftsbereich Ökologie (Sektion Biologie) der Friedrich-Schiller-Universität Jena war seit 1971 unter Prof. Dr. Hans Joachim Müller – im Forschungsverbund mit Arbeitsgruppen aus Halle und Görlitz – an umfangreichen Untersuchungen in naturnahem Grasland im Leutratal bei Jena beteiligt (zusf. MÜLLER et al. 1978, HEINRICH et al. 1998). Mit diesem Kenntnisstand im Hintergrund gab es dann 1978 unter Doz. Dr. Gerhard Schäller und initiiert von Dr. Wolfgang Heinrich erste Voruntersuchungen im extrem staubbelasteten Grasland im Umfeld des Düngemittelwerkes Steudnitz, aus denen sich letztlich das zweite ökologische Langzeit-Projekt der Jenaer Ökologie entwickeln sollte. Nach Vorgesprächen im Jahre 1979 kam es zu einer Vereinbarung und 1981 zu einer vertraglichen Bindung mit dem Betrieb. Das mit der Sektionsleitung Biologie und der Universitätsleitung abgestimmte Vorhaben „Untersuchungen zur Struktur und Funktion von belasteten und naturnahen Rasen-Ökosystemen durch syn- und autökologische Analyse“ war zunächst auf den Zeitraum 1981–85 begrenzt (SCHÄLLER et al. 2007).

Infolge der wendebedingten Einstellung der Produktion 1989/90 – und nunmehr unter dem Aspekt der Regeneration – wurden diese Untersuchungen 1990 wieder aufgenommen und intensiv weitergeführt, wobei Veränderungen in der Vegetationsstruktur (zusf. HEINRICH et al. 2001) und in den ökosystemprägenden, besonders trophischen Zusammenhängen im Mittelpunkt der Forschungen standen. Diese fanden nach fast 30 Jahren mit dem DFG-Graduiertenkolleg „Analysis of the Functioning and Regeneration of Degraded Ecosystems“ (1996–2006) einen gewissen Abschluß (VOIGT & PERNER 2004). In diesem Zeitraum wurden im Rahmen des von Beginn an ökosystemaren Ansatzes auch Status und Veränderungen von 10 Arthropodentaxa (vgl. Tab. 10) sowie von Kleinsäugetern, Moosen, Salzschwaden und Quecke untersucht, begleitet von Forschungen zu Elementgehalten, Bodenmikroben, Mykorrhizen und Sukzession, deren Ergebnisse in bislang >70 Qualifizierungsarbeiten und Publikationen ihren Niederschlag fanden (Kurztablette in RENKER 2003). So liegen aus der Zeit der Immissionsphase umfassende Bearbeitungen zu individuellen taxonischen Großtaxa vor, ebenso wie zu grundlegenden ökologischen Zusammenhängen (vgl. Tab. 10). Der bislang letzte Beitrag widmete sich den Langzeit-Veränderungen im Farbpolymorphismus der Kugelspinne *Neottiura bimaculata*, an deren Weibchen das Phänomen eines Industrialbinismus auf Populationsebene wohl überhaupt erstmalig beschrieben wurde (SCHÄLLER & KÖHLER 2009).

Ungeachtet einer seit 1978 nahezu durchgehenden Miterfassung (auch als Beifang) von Geradflüglern, vor allem Heuschrecken, kam es in dieser Gruppe nur zu einer kurzen Teilauswertung im Rahmen der Populationsdynamik (KÖHLER 1988), während experimentell ein Fraß- und Ablageexperiment (KÖHLER 1984) sowie stress-orientierte Untersuchungen anhand fluktuierender Asymmetrie (JENTZSCH 2000, JENTZSCH et al. 2003) hinzukamen. Das umfangreiche, seit den 1990er Jahren angefallene, konservierte Material konnte erst in letzter Zeit überhaupt aufgearbeitet werden. Somit ist eine Zusammenfassung sämtlicher Aufsammlungen und Beobachtungen seit langem überfällig, in deren Mittelpunkt sowohl die Folgen der Düngemittelstaubbelastung auf Assoziationen, Arten und Populationen (Immissionsphase) stehen als auch deren Veränderungen nach Auslaufen der Produktion (Regenerationsphase).

Im vorliegenden Zusammenhang und terminologisch meint Emission das Abgeben (Emittieren) von Düngemittelstaub an die Umgebung, wobei als Emittent die Produktions- und Abfällanlage fungiert. Unter Immission wird die Einwirkung (kein Verb bekannt) des Staubes auf das Öko-

system (Blattmasse, Boden) und seine Komponenten (Pflanzen, Tiere, Mikroben) verstanden. Da nicht alles Abgegebene auch unmittelbar ankommt, wird insgesamt mehr emittiert als lokal abgelagert.

## 2. Untersuchungsgebiet und Schadstoffbelastung

### 2.1 Geographische Lage, Untergrund und Klima

Das Immissionsgebiet befindet sich im Mittleren Saaletal (Thüringen) auf der westlichen Seite etwa 10 km nördlich von Jena und 1 km nordwestlich der Ortslage Steudnitz (heute Gemeinde Dorndorf-Steudnitz) in der Gemarkung Naschhausen, mit den geografischen Koordinaten 51.01 N und 11.41 E (Google Earth) im MTBQ 4936/3 (Blatt Camburg), Hochwert 565350, Rechtswert 447790. Hier begrenzt der mittig zwischen Dorndorf und Würchhausen unmittelbar an den Bahngleisen befindliche untere Steilhang den Westrand des an dieser Stelle 500 m breiten Saaletales (130 mNN) (Abb. 1 und 2).

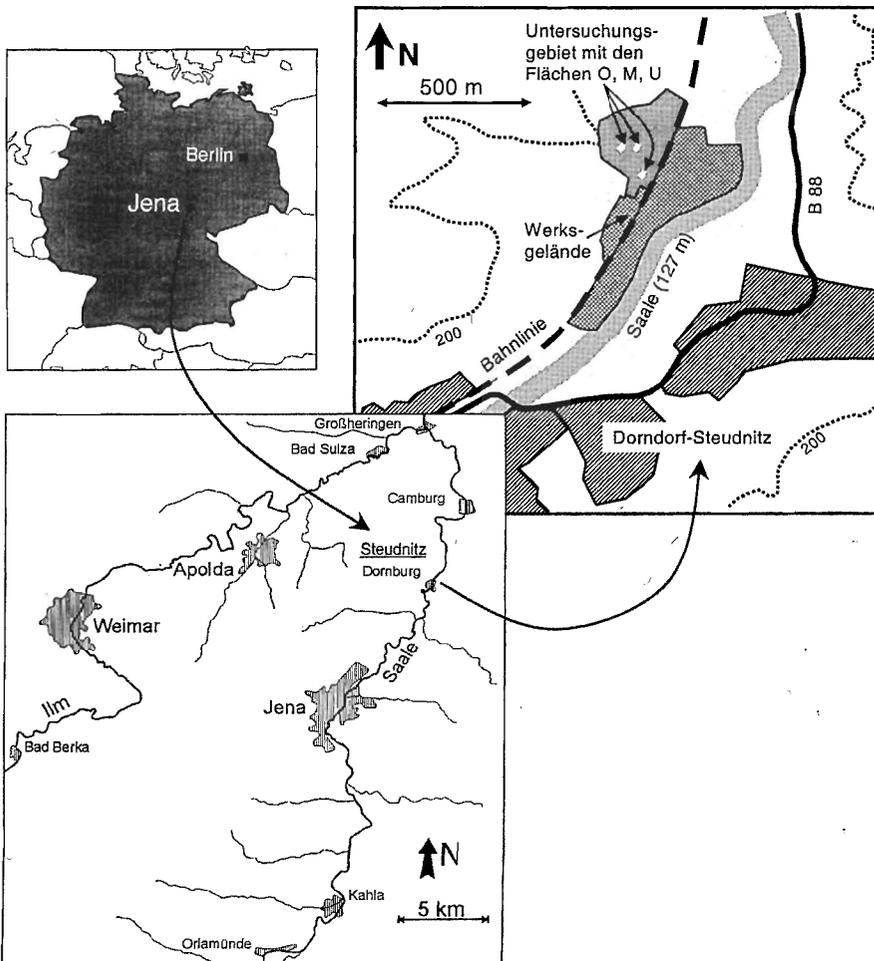


Abb. 1. Geographische Lage des Immissionsgebietes Steudnitz im Mittleren Saaletal nördlich von Jena, Thüringen. Aus HEINRICH et al. (2001).

Geologisch liegt das Untersuchungsgebiet (UG) am NO-Rand der Ilm-Saale-Platte (triasischer Muschelkalk), wobei unmittelbar über der Saaleaue der Untere Muschelkalk ( $\mu_2$  – Oberer Wellenkalk mit Terebratelhorizont und schmal auslaufend  $\mu_1$  – Unterer Wellenkalk) ansteht, während oberhalb des UG die Hochfläche (Goldberg mit 267 mNN) vom Oberen Muschelkalk (mo) gebildet wird. Abgesehen von kleinflächig aufliegenden lößartigen Hanglehmen sind die variablen Böden durchweg vom Rendzina-Typ (HEINRICH 1984, vgl. Kap. 2.2).

Wie partitionierte Langzeit-Untersuchungen (1971–1990) an Populationen heimischer Gomphocerinae im Leutratal ergaben, ist deren Dynamik vor allem temperatur- und niederschlagsabhängig, wenn auch in teils komplizierten Zusammenhängen (KÖHLER et al. 1999). Infolgedessen sind für eine Einschätzung der Populationsentwicklungen im UG zumindest auch die Durchschnittswerte von Lufttemperatur und Niederschlag im Untersuchungszeitraum zu berücksichtigen. Zur Messung des Lokalklimas wurde mitten im UG zwar eine Wetterstation errichtet, doch zahlreiche technische Ausfälle ihrer Speichermedien ließen keine vernünftige Datenauswertung zu (W. Voigt, in lit.). Deshalb werden zur Charakterisierung des Regionalklimas mangels adäquater langer Meßreihen für Temperatur und Niederschlag in der unmittelbaren Umgebung des UG die Werte der Meteorologischen Station Jena im Schillergäßchen (155 mNN) herangezogen. Die letzten langjährigen Mittel (1961–90) liegen hier bei 9,3°C (1951–80 bei 9,1°C) für die Jahrestemperatur und bei 587 mm (1951–80 bei 603 mm) für die Niederschlagssumme (Tab. 1), wobei im Durchschnitt 43% als Regen in der Vegetationszeit fällt. Das langjährige Mittel des Jahresniederschlags für das südlich des UG auf der Hochfläche gelegene Dornburg beläuft sich nach dortigen Messungen auf 564 mm (HEINRICH 1984) und ist damit, vor allem durch die etwas trockeneren Spätsommer, lokal geringfügig niedriger als in Jena.

Tabelle 1

Klimadaten der Untersuchungsjahre zu Heuschrecken. Jahresmitteltemperatur und mittlere jährliche Niederschlagssumme und ihre Abweichung zum langjährigen Mittel (hier 1951–1980) für die Meteorologische Station Jena (155 mNN). Nach verschiedenen Primär- und Sekundärquellen zusammengestellt und verrechnet.

Jahr	Lufttemperatur (°C)		Niederschlag (mm)	
	Jahresmittel	Abweichung	Jahressumme	Abweichung
1901–1950	8,6	–	577	–
<b>1951–1980</b>	<b>9,1</b>	<b>100%</b>	<b>603</b>	<b>100%</b>
1961–1990	9,3	–	587	–
1978	8,9	–2%	561	–7%
1979	8,8	–3%	649	+8%
1980	8,7	–4%	697	+16%
1981	9,4	+3%	843	+40%
1982	10,1	+11%	389	–35%
1983	10,2	+12%	585	–3%
1984	9,0	–1%	664	+10%
1985	8,6	–5%	486	–19%
1986	9,1	±0%	671	+11%
1990	10,7	+18%	508	–16%
1991	9,4	+3%	390	–35%
1992	10,4	+14%	555	–8%
1993	9,4	+3%	714	+18
1994	10,8	+19%	722	+20%
1995	9,9	+8%	736	+22%
1996	7,9	–13%	623	+3%
2000	11,1	+22%	541	–10%
2001	10,1	+11%	641	+6%



Abb. 2. Luftbild vom Werksgelände und nordwestlich angrenzenden Untersuchungsgebiet. Linkerhand Drehrohrofen, Speicher- und Verladegelände. U – Untere, M – Mittlere, O – Obere Untersuchungsfläche. ... 40 Reihung der Bodenfallenstandorte. Januar 2000, Foto: W. Nerb, bearb. W. Voigt.

Insgesamt wird deutlich, daß die langjährigen **Mitteltemperaturen** im letzten Viertel des 20. Jh. tendenziell zunehmen, während die Niederschlagssumme schwankt (Tab. 1). Im Untersuchungszeitraum für die Heuschrecken im UG (1978–2001), besonders aber seit 1990, liegt in den meisten Jahren die Mitteltemperatur teils beträchtlich (10–22%) über dem langjährigen Mittel (1951–1980). Demgegenüber läßt sich beim **Niederschlag** kein Trend festmachen, variiert dieser doch jahresweise erheblich im positiven (+40%) wie negativen Bereich (–19%, Tab. 1). Die einzelnen Jahre, in denen in Steudnitz auch Heuschrecken untersucht wurden (1978–86, 1990–96, 2000–01), lassen sich in Abwandlung von HEINRICH & MARSTALLER (1998, nach Wetterstation Jena) steckbriefartig in ihren klimatologischen Besonderheiten folgendermaßen charakterisieren (in Klammern Schneetage, ab 1995 keine Daten).

- 1978 – trockener Winter, kalter Sommer (30)
- 1979 – sehr kalter Winter, feuchtes Frühjahr, feuchter Sommer, kühler Herbst (76)
- 1980 – kalter und feuchter Frühling, feuchter und kühler Herbst (37)
- 1981 – warmer und feuchter Frühling, nasser Sommer (dritt-nassester seit 160 Jahren!) (72)
- 1982 – sehr kalter Winter, trockener Frühling, warmer und feuchter Sommer und Herbst (51)
- 1983 – warmer Winter, trockener Frühling, warmer Sommer, trockener Herbst (24)
- 1984 – kalter Frühling, feuchter Sommer (37)
- 1985 – sehr kalter und trockener Winter, trockener Herbst (53)
- 1986 – feuchter Winter, nasser Frühling, feuchter Herbst (64)
- 1990 – sehr warmer Winter, sehr warmer und trockener Frühling (7)
- 1991 – jahrüber sehr trocken (26)
- 1992 – warmer Winter, warmer Frühling, heißer (Jahrhundert-)Sommer (7)
- 1993 – warmer Frühling, nasser Sommer, sehr kalter Herbst (17)
- 1994 – warmer und feuchter Winter und Frühling, heißer und sehr nasser Sommer (22)
- 1995 – warmer/feuchter Winter und Frühling, warmer/nasser Sommer, feuchter Herbst
- 1996 – kalter und trockener Winter und Frühling, feuchter Sommer
- 2000 – warmer Frühling (erst naß, dann trocken), heißer Juni und August, warm-feuchter Herbst
- 2001 – warmer und trockener Winter, nasser März, warmer und teils nasser Sommer (Juli mit Spitzenniederschlägen), warmer und teils nasser Herbst

Ausschlaggebend für den Belastungsgradienten im Immissionsgebiet sind jedoch die **Windverhältnisse**, welche für Jena (1961–1990) zwar ein allgemeines Maximum aus Südwest (29%), jedoch ein sekundäres aus Süd (18%) aufweisen (schon KOCH 1953; sonst HEINRICH 1984, HEINRICH et al. 2001). Letzterer, durch die Orographie des S-N und SSW-NNO verlaufenden Saaletales bedingter Effekt führte hauptsächlich zu der starken Staubbelastung am Unterhang des UG, der im N unmittelbar an das Werksgelände angrenzt (Abb. 1 u. 2).

## 2.2 Hangkatena und Probeflächen

Über 25 Jahre (1978–2002) ist das Immissionsgebiet Steudnitz – je nach Forschungsthema – in unterschiedlich viele und verschieden aufeinanderfolgende Probenahmestellen unterteilt worden. Für die Erfassung der Heuschrecken blieb das engere UG unmittelbar nördlich des Werksgeländes (mit Drehrohrofen, Lager- und Verladeeinrichtungen – Abb. 2) – ein Osthang zwischen Schweigel-Berg im S und Pfaffen-Berg im N – über die gesamte Zeit maßgebend. Im ersten Untersuchungszeitraum (Immissionsphase) bestanden von 1978 (Voruntersuchungen) bis 1986 hier 6 Probeflächen (PF) entlang des am stärksten ausgeprägten Immissionsgradienten (vor allem Abstäube, weniger Abgase) über einen Höhenunterschied von 70 m, vom schwach belasteten Oberhangplateau hinunter zum extrem belasteten Unterhangfuß. Diese Flächen wurden 1978–83 von oben nach unten gemäß zunehmender Belastung nummeriert und folgendermaßen kurz charakterisiert (HEINRICH 1984, Abb. 3, Tab. 2). Die Schreibweise der wissenschaftlichen und deutschen Pflanzennamen entspricht ZÜNDORF et al. (2006, Flora von Thüringen).

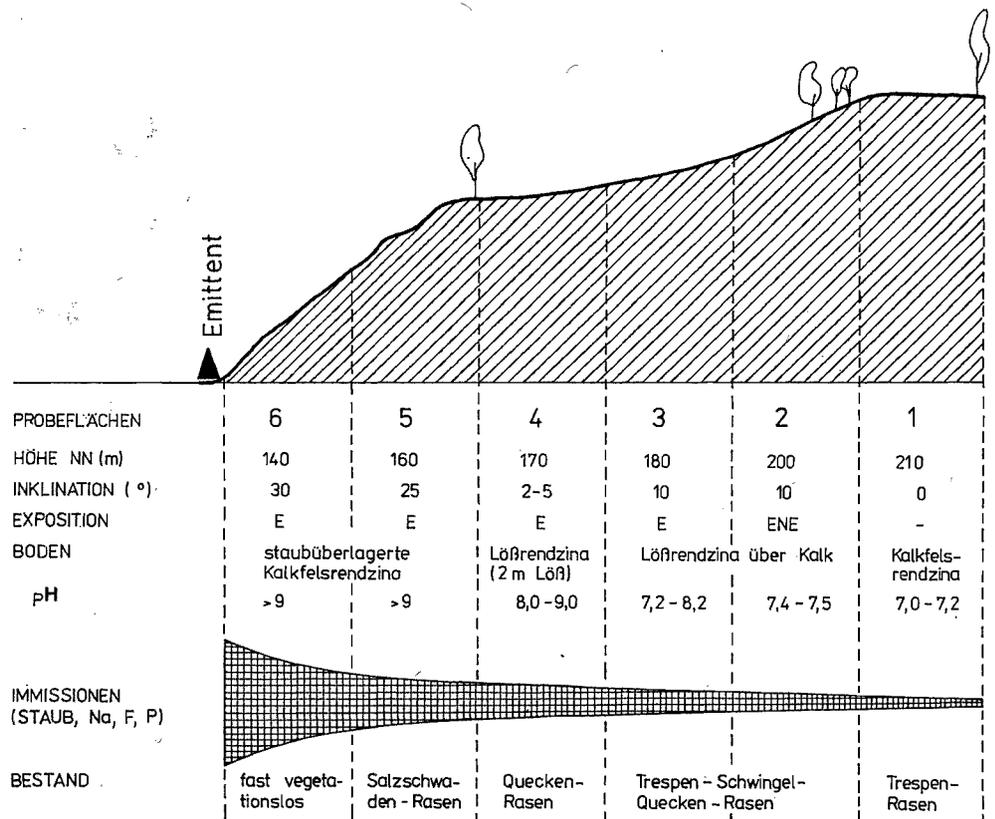


Abb. 3. Hangprofil mit den Probeflächen 1–6 und maßgebenden Parametern. Aus HEINRICH (1984).

**PF 1.** 210 mNN, Zwischenplateauartiger Oberhangabschluß (darüber noch sanft ansteigende Hochfläche), ca. 40 × 100 m und dreiseitig umbuscht. Trespen-Halbtrockenrasen (*Bromus erectus*) mit *Festuca rubra* (25 Pflanzenarten), Mähwiese, gelegentliche kurzfristige Schafweide. Flachgründige Kalkfels-Rendzina, geringe Staubbelastung (Abb. 4).

**PF 2.** 200 mNN, Oberhang unterhalb einer gebüschbestandenen Terrasse, Exposition 10° O-ONO. Trespen-Schwengel-Rasen mit einzelnen Sträuchern (*Cornus*, *Rosa*, *Crataegus*) durchsetzt (24 Arten). Löß-Rendzina über Muschelkalk.

**PF 3.** 180 mNN, Oberer Mittelhang, Exposition 10° O. Trespen-Schwengel-Quecken-Rasen von einzelnen Sträuchern (*Cornus*, *Rosa*, *Crataegus*) durchsetzt (10 Arten). Löß-Rendzina über Muschelkalk (Abb. 5).

**PF 4.** 170 mNN, Unterer Mittelhang oberhalb einer Steilstufe zum Saaletal, Exposition 2–5° O. Fast einartiger Bestand von Gewöhnlicher Quecke (*Elymus repens*) mit einzelnen Sträuchern (*Rosa*, *Clematis*) (6 Arten). Löß-Rendzina in Ø 1–2 m mächtigem Löß, starke Staubbelastung (Abb. 6).

**PF 5.** 160 mNN, Unterer Steilhang, Exposition 25° O-OSO. Boden völlig kahl oder fleckenweise von einer Salzschwaden-Monokultur (*Puccinellia distans*) bewachsen, stellenweise mit Trupps von Glanz-Melde (*Atriplex sagittata*), im N zur Mittelangante auch flächenhaft Quecke (2–3 Arten), Bäume alle abgestorben und entfernt. Kalkfels-Rendzina, stark staubüberlagert (Abb. 7, 8 u. 10).

**PF 6.** 140 mNN, Unterhangstufe, Exposition 25–30° O. Fast vegetationsfrei, spärlich *Puccinellia* (1 Art). Kalkfels-Rendzina, sehr stark staubüberlagert (Abb. 7).

Für die Regenerationsphase (1990–2001) liegen Heuschreckenfänge (vgl. Tab. 4) aus drei weiteren, jetzt nach abnehmender Belastung von unten nach oben aufsteigenden Unterteilungen der Katena vor (Abb. 2), die der obigen und sich untereinander in folgender Weise entsprechen:



Abb. 4



Abb. 5



Abb. 6



Abb. 7

Abb. 4. Oberhangplateau (PF 1) mit Trespen-Halbtrockenrasen. Dauereklektor (1 m<sup>2</sup>) mit Boden- und Mittelfalle sowie Kopfdose, die gerade von Jürgen Heyer (†) gewechselt wird, Sommer 1982. Foto: G. Köhler.

Abb. 5. Mittelhang (PF 3 u. 4) mit Trespen-Schwengel-Quecken-Rasen, Anf. Okt. 1994. Foto: G. Köhler

Abb. 6. Mittelhang (PF 4) mit Quecken-Rasen. Leerung eines Biozönometers (0,25 m<sup>2</sup>) mittels Saugsammler durch Bernd Rether, Sommer 1986. Foto aus RETHER (1987).

Abb. 7. Nahezu vegetationsfreier Unterhang (PF 6) unmittelbar nördlich des Werksgeländes mit im Gebiet abgestorbenen und beräumten Baumruinen. Sommer 1982. Foto: G. Köhler.

- (1) Bodenfallen (1990–96, 2000) – Fallen 1–17 (= U bzw. PF 6 u. 5), 18–27 (= M bzw. PF 4 u. 3), 28–40 (= O bzw. PF 2 u. 1). Im Jahre 2000 wurde nur jede zweite (= 20) BF eingesetzt.
- (2) Bodenfallen (2001): Insgesamt 5 Blöcke à 6 Fallen + je 1 Kontrolle (= 35 Fallen) in U oberhalb und entlang des Hangfußes auf ca. 12 m Länge, beginnend unmittelbar am Werkszaun (Störungsexperiment – WAGNER 2003; Rothe, in lit.).
- (3) Kescherfänge (1990–96) auf Dauerbeobachtungsflächen – U (unten, *Puccinellia*-Rasen = PF 6 u. 5), M (mittig, *Elymus*-Rasen = PF 4 u. 3), O (oben, Trespens-Halbtrockenrasen = PF 2 u. 1).

### 2.3 Werks- und Gebietsgeschichte

Einige **werksgeschichtliche** Eckdaten sind schon deshalb notwendig, um die regionalen Zusammenhänge der fast 100jährigen Steudnitzer Produktionsstätte östlich und westlich der Saale besser zu verstehen. Nach ersten Kalkbrennversuchen 1896 begann Dr. Frenzel (aus Berlin) im Jahre 1897 östlich der Saale unmittelbar nordöstlich der Ortslage Steudnitz auf dem Riebitzberg (296 mNN) mit dem Abbau von Kalkstein und an dessen Fuße mit seiner Verarbeitung zu Branntkalk (50–68% Ca, 3–20% Mg) in einem Kalkwerk (mit zwei Schachtöfen und einem Ringofen). Hier entstand 1908 auch das erste Zementwerk (mit einem 82 m hohen Schornstein). Um 1912 produzierte das östlich der Saale gelegene Zementwerk Steudnitz neben Portlandzement und Kalk noch 10 000 t Kalkmergel (32–40% Ca) zu Düngerzwecken. Zur Verschickung der Produkte mit der 1874 gebauten Saale-Bahn wurden 1899 eine erste Seilbahn über die Saale und an deren Westufer eine überdachte, seitlich ± offene Verladestation errichtet, 1908 eine zweite Seilbahn, 1911 ein Zementsilo (ZELO) neben der Kalkverladestation und 1925 ein Kraftwerk in Betrieb genommen. Nach konzerninterner Stilllegung des Werkes im Kriegsjahr 1942 und Abtransport der Produktionsmittel konnte nach Kriegsende 1946 die Produktion allmählich wieder aufgenommen und ab 1954 Alkalisinterphosphat (ASP) als Dünger hergestellt werden. Seit 1948 als Volkseigener Betrieb (VEB), gehörte der Betriebsteil Steudnitz im Laufe der Jahre verwaltungstechnisch zu verschiedenen DDR-Großbetrieben. Auf ZELO (so der betriebsinterne Sprachgebrauch) westlich der Saale entstand 1954 eine ASP-Mischhalle, 1961 wurden eine Zementmühle und eine Anlage zur Schlackentrocknung angefahren und 1967 im Zuge einer Produktionsumstellung ein 118 m langer Drehrohröfen für die Herstellung von granuliertem PKMg-Mischdünger (chloridhaltiges synthetisches Komplexdüngemittel) in Betrieb genommen. Da man bereits seit 1967 nur noch importierte Rohstoffe (vgl. Kap. 2.4) verwendete, wurde im selben Jahr auch der Steinbruchbetrieb am Riebitzberg eingestellt, doch 1993/94 wieder in Betrieb genommen (HEINRICH 1984, WEISE & SCHILLING 1997, HEINRICH et al. 2001, unveröff. Kopien von B. Flähmig in coll. Köhler).

Aus **landschafts- und vegetationsgeschichtlicher** Sicht war der Hang des späteren UG bis hin nach Würchhausen nach Signaturen in einer Karte „Jena und Umgegend“ von 1864 damals mehr oder weniger bewaldet. Dieser etwa in S-N-Richtung langgestreckte, durch vier 250–300 m lange und an der Hangbasis 10–20 m steil eingetiefte Runsen (W-O) zerteilte Hangbereich war auch 1929 (Meßtischblatt) noch mit Gebüsch und Laubwald bestanden. Auch in den 1950/60er Jahren (Luftbilder) stockten am Unterhang (U) noch Solitärgehölze sowie Gebüsch- und Baumgruppen (*Acer campestre*, *Quercus robur*, *Pyrus communis*), zwischen denen kleinere Rasenflächen lagen. Der Mittel- und Oberhang – in den 1940er Jahren noch in Grünland- und Ackernutzung – wurde Anfang der 1950er Jahre mit Obstbäumen (Kirsche, Pflaume) bepflanzt, deren Nutzung aber nur bis in die 1960er Jahre währte (HEINRICH 1984; Köhler, in lit.). In den 1970er Jahren wurde die Nutzung aller Hangflächen, bis auf gelegentliche Schafbeweidung, aufgrund der zunehmenden Schadstoffbelastung aufgegeben. Eine Fahrt mit der Saalealbahn in den 1970er Jahren führte hier an einer gespenstisch anmutenden, von abgestorbenen Baumruinen durchsetzten Hangkulisse vorbei. Kam es doch infolge der anhaltenden und zunehmenden Immissionen großflächig zu Blattnekrosen und Baumauflichtungen (BUSSE 1982, zuseh. HEINRICH 1984), bis letztlich alle Gehölze abstarben und beseitigt wurden.

Im Laufe der Immissionsphase (wohl verstärkt seit 1967) hatte sich die Vegetation in der Katena hangaufwärts ausgeprägt sprunghaft verändert (Tab. 2, HEINRICH 1984, HEINRICH et al. 2001), was letztlich auch die Aufteilung der Probeflächen bestimmte. Seit Ende der 1970er Jahre (und vermutlich dem Jahrzehnt zuvor) blieben die werksnahen Bereiche völlig ohne Pflanzenbewuchs und waren hangwärts lückig mit gewöhnlichem Salzschwaden bewachsen (Abb. 7, 8 u. 10). Ausgehend vom unteren Mittelhang etablierte sich darüber ein nahezu einartiger Kriechquecken-Rasen mit

Tabelle 2

Veränderungen in der Vegetation der Hangkatena am Düngemittelwerk Steudnitz von der Immissions- zur Regenerationsphase (ab 1990). Verändert nach HEINRICH (1984) und HEINRICH et al. (2001). PG – Probegebiet (U – Unterhang, M – Mittelhang, O – Oberhang), SD – Strauchdeckung (nur Oberhang).

Parameter	PG	Regenerationsphase			
		Immissionsphase 1978–83	1990–92	1993–96	1997–99
Artenzahl	U	1–3	2–9	14–36	39–55
	M	6–10	13–18	21–35	36–38
	O	24–25	37–39	41–49	40–48
Dominante Arten	U	<i>Puccinellia distans</i>	<i>Puccinellia distans</i> <i>Atriplex sagittata</i>	<i>Puccinellia distans</i> <i>Atriplex sagittata</i>	<i>Artemisia vulgaris</i>
	M	<i>Elymus repens</i> <i>Atriplex sagittata</i>	<i>Elymus repens</i> <i>Poa angustifolia</i>	<i>Elymus repens</i> <i>Galium aparine</i> <i>Cirsium vulgare</i>	<i>Elymus repens</i> <i>Arrhenatherum elatius</i> <i>Galium aparine</i>
	O	<i>Bromus erectus</i> <i>Festuca rubra</i>	<i>Festuca rubra</i> <i>Poa angustifolia</i>	<i>Festuca rubra</i> <i>Elymus repens</i>	<i>Festuca rubra</i> <i>Brachypodium pinnatum</i> <i>Chenopodium album</i>
	SD (m <sup>2</sup> )		25–33	34–60	76–92

eingestreuter Glanz-Melde, der bis Ende der 1980er Jahre unverändert bestand. Einige Gehölze (*Rosa canina*, *Crataegus* spec.) fanden sich noch vereinzelt an den Rändern. Im oberen Katena-Bereich stockte ein dichter Trespen-Halbtrockenrasen mit Rotschwengel (vgl. Abb. 4 und 5). In der Regenerationsphase der 1990er Jahre kam es am Unterhang zum dynamischsten und strukturell einschneidendsten Vegetationsumbau (Tab. 2, Abb. 8–11; Samenbank – WAGNER et al. 2006). Hier dominierte zwar zunächst der Salzschwaden noch weitere fünf Jahre nach Produktionseinstellung, er war jedoch von Beginn an mit der rasch aufwachsenden Glanz-Melde assoziiert (Abb. 9 u. 11). In den späten 1990er Jahren dominierte dann Gewöhnlicher Beifuß, welcher auf großen Parzellen wiederum fast einartige Bestände ausbildete. Am Mittelhang hielt sich weiter die Kriech-Quecke, doch hier kamen Schmalblättriges Rispengras, Kletten-Labkraut, Gewöhnliche Kratzdistel und Glatthafer hinzu. Der Oberhang blieb von Rot-Schwengel geprägt, während die Aufrechte Trespe zugunsten anderer Grasarten zurücktrat (Tab. 2). Bemerkenswert war hier eine rasche Verbuschung (bes. *Clematis*, *Crataegus*), die bereits nach knapp 10 Jahren der Regeneration das Dreifache an Fläche beanspruchte (Tab. 2). Insgesamt nahm im Laufe der Regenerationsphase die Zahl an Pflanzenarten auf allen Probestellen deutlich zu: am Unterhang von einzelnen Arten (1978–83) bis auf 39–55 (1997–99), am Mittelhang stieg sie im selben Zeitraum auf das 4–6fache und am Oberhang auf knapp das Doppelte (Tab. 2), was jeweils auch erhebliche Veränderungen in der Vegetationsstruktur (Dichte, Höhe) mit sich brachte.

#### 2.4 Abstoffbelastung

Die Stoffeinträge in das UG kamen ausschließlich von den Anlagen auf der westlichen Saalseite (von ZELO). Von hier aus gingen seit Beginn des 20. Jh. bis in die 1950er Jahre zunächst nur vergleichsweise geringe Mengen an Abstäuben von Be- und Entladungen sowie von der Lagerhaltung aus. Zu diesen diskontinuierlichen Quellen kamen 1961–1970 (Zementmühle – Ca, Si, Al, Fe) und vor allem 1967–1990 (Drehrohrofen) zwei kontinuierliche Quellen hinzu, von denen letztere die Hauptemissionen stellte. In den 1980er Jahren belief sich die Jahresproduktion an Phosphatdüngemitteln auf 100 000 t, was etwa einem Drittel der DDR-Produktion entsprach (LANGER 1999). Die chemische Zusammensetzung der weißgrauen Abstäube ergab sich im wesentlichen aus den eingesetzten Importrohstoffen (Kola-Apatitkonzentrat, Marokko-Phosphat) sowie Soda und Sand und den Endprodukten (Alkalisinterphosphat, PKMg-Dünger – 6–7% P, 16–17% K, 1–2% Mg)



Abb. 8

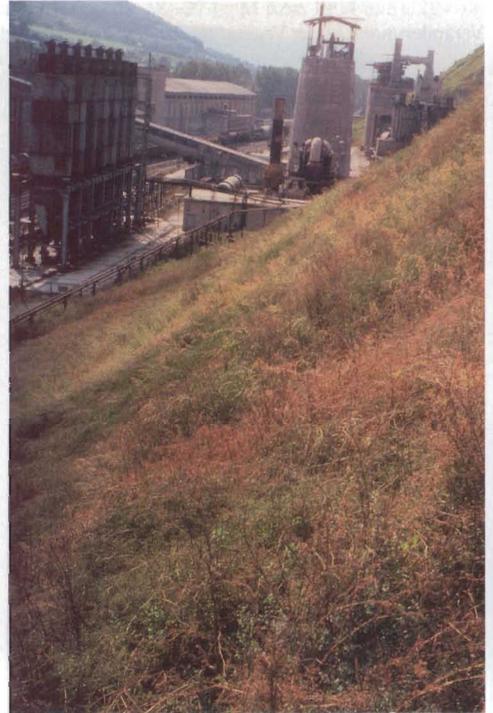


Abb. 9



Abb. 10

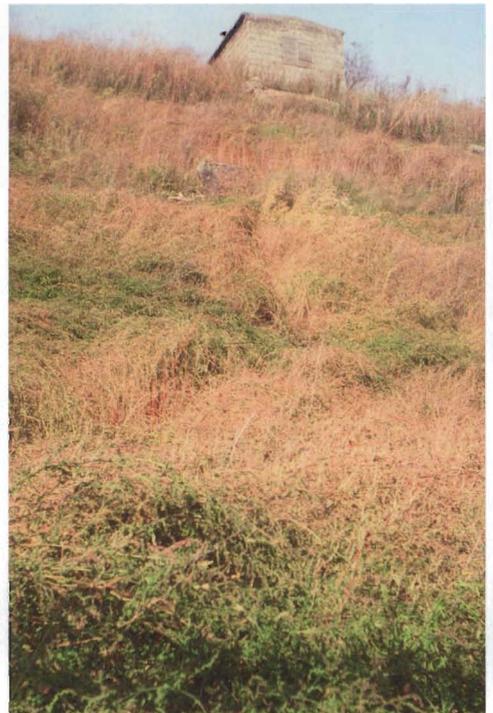


Abb. 11

(HEINRICH 1984). Nach verfahrenstechnischen Untersuchungen wird an einem solchen Drehrohrofen der Staub (1) beim freien Fall der Rohmaterialien von der Förderschnecke auf das Schüttgutbett im Offenraum, (2) beim beginnenden Einmischen, (3) an der Kühltrommel und (4) an der Phosphat-Kali-Düngeranlage freigesetzt (SCHMITZ et al. 1980). Anfang 1980 wurden in der Steudnitzer Anlage neue Staubfilter getestet und Schutzteile an der Verladerrampe angebracht, während man gleichzeitig die Düngemittelproduktion etwas zurückführte und dadurch die Staubbelastung verringerte (Mitt. Schäller). Zur selben Zeit wurden nach großräumigen Bonitierungen Anfang der 1980er Jahre die Immissionsfolgen auf einer Fläche von 1000 ha nachgewiesen (BUSSE 1982, HEINRICH 1984). Vor allem die hohen Gehalte an Phosphor, Natrium und Cadmium in den Abstäuben führten über einen Überdüngungseffekt zu erheblichen Strukturveränderungen in den oben skizzierten Gefäßpflanzen- (Tab. 2), aber auch Kryptogamenbeständen (HEINRICH 1981, 1984; HEINRICH & SCHÄLLER 1987; MARSTALLER 1987, HEINRICH et al. 2001). Nach der politischen Wende wurde die Düngemittelproduktion 1990 endgültig eingestellt, womit auch jegliche Emissionen entfielen. Damit läßt sich nachträglich der Untersuchungszeitraum – hier für Heuschrecken – in zwei Phasen einteilen: eine Immissionsphase (mit Erhebungen 1978–1986) und eine Regenerationsphase (mit Erhebungen 1990–1996, 2000–2001).

Zur Veranschaulichung der lokalen Belastungssituation und ihren Veränderungen sollen von den über die Jahre zusammengetragenen zahlreichen Meßdaten die Durchschnittswerte (aus teils erheblichen punktuellen Minima und Maxima) zu einigen ausschlaggebenden Parametern betrachtet werden (Tab. 3). Zur Erfassung des Staubeintrages wurde bereits 1974 vom Bezirkshygieneinstitut Gera ein Staubmeßnetz (11 Meßpunkte nach dem Bergerhoff-Verfahren) in unmittelbarer Werksnähe eingerichtet. Für die obere Bodenschicht liegen aus den Jahren 1979 und 1981 erste Meßwerte von Einzelproben aus dem mittleren und oberen Hangbereich vor (HEINRICH 1984, 1985). Nach Auslaufen der Produktion ist für die Jahre 1990/91 und 1996/97 ein aus 40 Punkten (mit je 10 Probenahmen) bestehender 200 m langer Transekt vom Unter- zum Oberhang mittels Bohrstock beprobt worden (METZNER et al. 1997).

Der **Staubeintrag** in Werksnähe wurde im Jahre 1969 mit  $51,5 \text{ g/m}^2 \times 30\text{d}$  (Staubmeßnetz), 1972/73 mit etwa  $35 \text{ g}$  und 1979 mit  $26,7 \text{ g}$  bestimmt – letzterer Wert entsprach immerhin noch dem Doppelten des damals gesetzlich vorgeschriebenen Grenzwertes von  $15 \text{ g}$  (VOGLER & GEBAUER 1981) – und Einzelwerte lagen sogar bei weit über  $100 \text{ g/m}^2 \times 30\text{d}$  (HEINRICH 1984, LANGER 1999). Für die obere **Bodenschicht** wurde zunächst deutlich, daß der windrichtungsabhängige Belastungsgradient in der Regel zwar vom Unter- zum Oberhang abnahm, es aber mitunter auch am Mittelhang zu Spitzenwerten kommen konnte. Bei noch genauerer Betrachtung ergab sich eine erhebliche kleinräumige wie auch zeitliche Variabilität der Meßwerte. Mit Ausnahme von Mg waren die Konzentrationen aller anderen Parameter durchweg höher als es normalerweise zu erwarten gewesen wäre, wobei beim pH-Wert Erhöhungen um 1–2, bei einzelnen Elementen um das 3–50fache (und vereinzelt noch weit mehr) erreicht wurden (Tab. 3). Die höchsten pH-Werte wiesen die Oberböden Anfang der 1980er Jahre auf, danach fielen sie zumeist ab, lagen aber 1996 in U und M noch immer über dem regionalen Normalwert für Kalkböden. Dagegen kam es bei den Elementen erwartungsgemäß durch die Produktion von PKMg-Dünger zu einer teils drastischen Zunahme von P, K und Mg im Oberboden des UG zwischen 1981/82 und 1990/91, bei P selbst noch bis 1996 und bei Mg bis 1999. Dadurch reicherten sich auch die vordem als magnesiumarm geltenden Böden weit über den Normalwert an. Ebenfalls hoch waren die Konzentrationen von Fluor, das normalerweise mit  $0,2 \text{ ppm}$  in der pflanzlichen Trockensubstanz vorkommt, und besonders vom persistenten Cadmium, das auch mit der Nahrungskette weitergegeben wird (ANKE et al. 1992). Die Meßwerte von 1996 und 1999, also 6 und 9 Jahre nach Stilllegung des Werkes, belegten trotz partiellen Rückgangs aber noch immer erhöhte Konzentrationen in allen ehemals immissionsbelasteten Bodenbereichen.

Zur **Staubauflage auf Blättern** liegen hingegen nur einzelne ephemere Zahlen vor, die aufgrund der unvorhersehbaren Persistenz der Auflagen (Abwaschen nach Niederschlägen) auch schwieriger zu interpretieren sind. Eine momentane Staubauflage (07. IV. 1981) auf Blättern von *Puccinellia* und *Elymus* ergab Mittelwerte von  $0,03\text{--}0,08 \text{ mg/cm}^2$  bei Entfernungen von 250–600 m vom Emittenten (KÖHLER 1984).

Eine teilweise Belastung ließ sich in der Immissionsphase (Juni 1981) auch in gewaschenen **Pflanzenmischproben** der Flächen 1 bis 5 nachweisen, so bei N (1,35–1,81%), K (1,08–1,17%), Na (0,13–0,80%) und F (319–370 ppm), während sich die prozentualen Anteile von P, Ca und Mg in den Pflanzen über die Katena kaum unterschieden (HEINRICH 1984).

Abb. 8. Unterhang (PF 5, mit Salzschwaden) während der Immissionsphase mit Werksteil im Hintergrund sowie Dauerelektor und Fanggerätschaften im Vordergrund. Sommer 1982. Foto: G. Köhler

Abb. 9. Derselbe Unterhang (PF 5, mit Glanz-Melde durchsetzt) vier Jahre nach Stilllegung des Werkes, Anfang Oktober 1994. Foto: G. Köhler.

Abb. 10. Unterhang (PF 5–6) mit bodenoffenen Bereichen und lückiger Salzschwaden-Monozönose während der Immissionsphase, Sommer 1982. Foto: G. Köhler.

Abb. 11. Derselbe Unterhang (PF 5–6) vier Jahre nach Werksstilllegung mit geschlossener Vegetationsdeckung (bes. Glanz-Melde) durchsetzt, Anfang Oktober 1994. Foto: G. Köhler.

Tabelle 3

Durchschnittliche pH-Werte und Elementgehalte (ppm) des Oberbodens (0–10 cm) entlang eines Hangtransektes. Gerundete Mittelwerte ohne Standardabweichung von 1979 und 1981 aus HEINRICH (1984), von 1990/91 und 1996/97 aus METZNER et al. (1997) und HEINRICH et al. (2001), von 1999 aus WAGNER (2003). Fett – Maximalwerte je Parameter und Hangbereich.

pH/Element (Normalwert)	Jahr	Unterhang (PF 6 u. 5)	Mittelhang (PF 4 u. 3)	Oberhang (PF 2 u. 1)
pH-Wert (7–7,5 ppm)	1979	–	7,6	7,3
	1981	<b>9,3</b>	<b>8,6</b>	7,3
	1990	9,0	8,3	<b>7,8</b>
	1996	7,9	7,6	7,3
	1999	8,1	–	–
P (0,7–1,6 ppm)	1979	–	28,2	12,0
	1981	37,5	<b>43,1</b>	<b>33,7</b>
	1991	64,6	15,0	5,7
	1996	<b>76,3</b>	–	–
Na	1979	–	24,7	5,9
	1981	<b>58,2</b>	<b>53,4</b>	<b>17,8</b>
	1990	13,8	9,6	7,4
	1996	10,6	3,0	1,8
	1999	7,9	–	–
K (2,0 ppm)	1979	–	5,5	4,2
	1981	5,6	7,6	3,2
	1990	<b>7,3</b>	<b>15,1</b>	<b>15,1</b>
	1996	4,4	5,8	5,4
	1999	4,9	–	–
Mg (2,0 ppm)	1979	–	0,6	1,0
	1982	0,4	0,8	1,0
	1990	4,5	<b>5,1</b>	<b>4,9</b>
	1996	4,1	4,9	5,0
	1999	<b>8,5</b>	–	–
F (0,2 ppm)	1991	10,2	3,0	1,2
	1997	3,1	2,1	0,9
Cd	1991	9,2	3,1	1,9
	1996	6,7	1,4	2,3
	1999	9,6	–	–

### 3. Material und Methode

Im Immissionsgebiet des Düngemittelwerkes Steudnitz sind von 1978–2001 in umfangreichen ökologischen Untersuchungen unter vielfältigen Fragestellungen meist auch Heuschrecken mit erfasst worden. Der vorliegenden Auswertung liegen Daten von 18 Jahren (1978–83, 1985–86, 1990–96 und 2000–01), 246 Fang- bzw. Leerungsterminen und 6245 Individuen (davon ca. 70% bis zur Art bestimmt) zugrunde, wobei fünf Erfassungsmethoden in unterschiedlicher Intensität zum Einsatz kamen (Tab. 4). Das gesamte eingetragene Material wurde nach dem Auslesen in Großgruppen, darunter auch Geradflügler (meist Heuschrecken, wenige Ohrwürmer), sortiert und in 75%igem Ethylalkohol konserviert, nach unterschiedlich langen Zeitabständen weiter ausgewertet und danach meist verworfen. Relativ wenige Individuen liegen genadelt und trocken präpariert vor (coll. Köhler).

### 3.1 *Kursorisches Beobachten und Verhören*

Zu Beginn der Arbeiten ab 1978, als es nur wenige Arten und Individuen auf den Probeflächen und in deren Umgebung gab, spielte das kursorische Beobachten und Verhören (adulter Männchen) beim Durchstreifen der Wiesenteile die entscheidende Rolle. Im Jahre 1980 wurden an zwei Spätsommerterminen (08. IX. und 18. IX.) die Katena und deren nordwärts anschließende Umgebung dementsprechend nach Heuschrecken abgesucht. Weitere verstreute Einzelbeobachtungen fanden in den probeflächenbezogenen Artenspektren ihren Niederschlag (vgl. Tab. 5 und 6).

### 3.2 *Standardisierte Kescherfänge (KF)*

Dieses einfache Verfahren erlaubt Vergleiche von Heuschrecken-Assoziationen der Krautschicht (KÖHLER 1987a). Es wurde nahezu über die gesamte Untersuchungszeit angewandt (Tab. 4; in 16 Jahren, außer 2000 und 2001 – WEIPERT 1986, RETHER 1987, PERNER et al. 1996). Eingesetzt wurden robuste Spitzboden-Stoffbeutelkescher (Ø 30 cm, Länge 50 cm) mit Stock (80–100 cm lang), die man beim langsamen Vorwärtsgehen in sogenannten Doppelschlägen (DS, links-rechts, rechts-links) kräftig und tief durch die Vegetation zog (WITSACK 1975). Je Probefläche und Termin wurden in der Regel 10 × 10 DS ausgeführt, wobei nach jeweils 10 DS (entsprechend ca. 11 m<sup>2</sup> bekescherter Fläche bzw. 2,6 m<sup>3</sup> bekescherten Volumens – KÖHLER 1987a) das Material in einen Plastbeutel mit Filterpapierblättchen und etwas hinzugetropftem Essigsäureethylester kam und dieser mit Bindfäden verschlossen wurde. Diese Beutel wurden am Abend des jeweiligen Fangtages in einen Kühlschrank (ca. 5–7°C) gebracht und meist anderntags ausgelesen.

### 3.3 *Standardisierte Bodenfallen (BF)*

Zur Erfassung der epigäischen Fauna wurden standardisierte Bodenfallen eingesetzt, aus denen Heuschrecken von 1990–96 und 2000–01 vorlagen (Tab. 4). Sie wurden entweder je Probefläche in waagerechter Reihe am Hang oder in senkrechter Reihung entlang der gesamten Hangkatena jeweils im Abstand von 5 m zueinander eingesetzt (PERNER et al. 1996, ROTHE 2003). Für eine Falle mußte zunächst ein Loch gegraben werden, in das eine Führungshülse aus Hartplaste (Ø 6 cm, Länge 12 cm) senkrecht und mit ebenerdigem Abschluß eingesetzt wurde. In diese Hülse kam dann die auswechselbare Bodenfalle, ein Plastbecher (Ø 4,5 cm mit Wulstrand, Länge 9 cm), welcher zu drei Viertel mit einer 3,5%igen Formaldehyd-Lösung unter Zusatz von etwas handelsüblichem Spülmittel „Fit“ zur Senkung der Oberflächenspannung gefüllt wurde. Auf drei randlich eingesteckten Holzstöckchen oder festen Eisendrahtstäben wurde ein vor Regen und Überspülung bzw. vor starker Besonnung und damit Austrocknung schützendes Dach (umgedrehter Blumentopfuntersetzer, Ø 10 o. 11 cm) gelegt, mit einem Stein oder Erdbatzen beschwert und mit etwas trockenem Gras als Sichtschutz bedeckt. Die über die Vegetationsperiode oder mitunter auch über den Winter stehenden Fallen sind alle 2–3 Wochen durch frische ausgetauscht worden. Die mit Tiermaterial gefüllten Fallen wurden beim Wechseln mit einem Gummistopfen verschüttsicher verschlossen und in halben Paulaner-Bierkästen mit ausklappbarem Tragegriff vom Untersuchungsang ins Auto und mit ihm ins Labor gebracht.

### 3.4 *Biozönometer (BZ)*

Diese Methodik erlaubt eine relativ gute Abschätzung der Individuendichten in Graslandbiotopen (KÖHLER 1987a). Die aufwendigen Erhebungen erfolgten in Steudnitz allerdings nur einmal 1986 im Quecken-Bestand (RETHET 1987), wobei auch Heuschrecken anfielen. Das Grundgerüst des Biozönometers bestand aus einem Metallring von 10 cm Höhe und 0,25 m<sup>2</sup> Grundfläche, an dem 4 angeschweißte Streben von unten nach oben an ein quadratisches Winkeleisen führten. Über dieses 1 m hohe Gestell wurde eine Feingazebespannung mit waagerechtem und senkrechtem Eingriff (mit Reißverschluss) gezogen. Die Arthropoden im rasch und an zufällig gewählter Stelle in die Vegetation geworfenen Biozönometer sind anschließend mit einem Saugsammler (Typ ILO-Burkard/England, mit lautem Benzinmotor) in 2–3 Durchgängen angesaugt, die jeweils gefüllten Gazebeutel aus den Saugsammlern entnommen, mit Essigsäureethylester betropft und in einem Plastikbehältnis aufbewahrt worden. Auf diese Weise wurden über die Vegetationsperiode 1986 an 8–16 Stellen des Quecken-Rasens jeweils 2–3 Biozönometer gesetzt und untersucht (RETHET 1987; Tab. 4, vgl. Abb. 6).

Von einer weiteren flächenscharfen Methode, der Erfassung mittels **Dauereklektoren** (1 m<sup>2</sup> Grundfläche, mit Boden- und Mittelfalle sowie Kopfdose – vgl. Abb. 4 u. 8) liegen keine Heuschreckenauswertungen vor (keine oder zu niedrige Fangzahlen). Hier wurde 1982–84 je PF ein Eklektor dauerhaft installiert und in größeren Zeitabständen kontrolliert, während 1996–97 eine größere Zahl eingesetzt wurde, bei denen die Leerungen dann 14-tägig erfolgten (Mitt. Bährmann).

Tabelle 4

Untersuchungen an Geradflüglern (zumeist Heuschrecken) im Immissionsgebiet Steudnitz. Termin: BF – Leerungstermine, KF – Fangtermine, Gesamttermine in Klammern, vor Klammer – nur Termine mit Heuschrecken; Methode: B – Beobachten/Verhören, BF – Bodenfallen, BZ – Biozönometer (mit Saugsammler), GS – Gelbschalen, KF – Kescherfänge, quantitativ (10×10 Doppelschläge, andernfalls vermerkt); Probe-fläche: PF 1–5 und O-M-U entsprechend der Hangkatena (vgl. Kap. 2.2); Fangzahl<sup>+</sup> – mit *Forficula auricularia*; Quelle: IfÖ – Institut für Ökologie, WB – Wissenschaftsbereich Ökologie. Doppellinie – Jahresunterbrechungen. Jahr\* – Qualifizierungsarbeit, in lit. – Material nicht Bestandteil der Arbeit.

Jahr	Zeitraum	Ter-mine	Methode	Probe-fläche	Fangzahl	Erfassung durch
<b>Immissionsphase (1978–1986)</b>						
1978	20. VI.–18. IX.	3 (?)	KF	1–4	7	WB
1979	14. V.–18. IX.	4 (?)	KF	1–6	0	WB
1980	24. V.–16. IX.	4 (?)	KF	1–6	7	WB
1980	23. VI.	1	KF	1–5	6	Praktikum
1980	4. VII.–IX.	3	KF	4 + Aue	20 (+136)	END (1980*), in lit.
1980	8. IX., 18. IX.	2(3)	B, KF	1–5	>20 (B)	leg. Köhler
1981	7. V.–30. IX.	6	KF	1–5	123	WB
1982	12. V.–4. X.	6	KF	1–5	113	WB
1983	21. IX. + 5. X.	2	KF	1–5	46	WB
1983	4. V.–16. XI.	13	BF	1–5	unbekannt	WB
1984	3. V.–29. XI.	16	BF	1–5	unbekannt	WB
1985	1. IV.–9. XII.	17	GS (je 6)	4, 5	1503!	WEIPERT (1986*), in lit.
1985	1. IV.–28. X.	14	KF (PF 5 : 200 DS)	4, 5	441	WEIPERT (1986*), in lit.
1986	29. IV.–5. XI.	14	BZ (je 16)	4	23	RETHER (1987*)
1986	12. V.–5. XI.	13	KF (4×10 DS)	4	108	RETHER (1987*)
<b>Regenerationsphase (1990–2001)</b>						
1990	16. V.–17. IX.	5	KF (Grenzfl.)	4–5 (je 5 Teilfl.)	250	PERNER et al. (1996, leg. Samietz)
1990	28. III.–23. X.	14	BF (Grenzfl.)	4–5 (je 5 Teilfl.)	178	PERNER et al. (1996, leg. Reinhardt & Samietz)
1990	22. X.–3. XII.	2(4)	BF	O-M-U	59 <sup>+</sup>	IfÖ
1991	3. I.–20. XII.	10(23)	BF	O-M-U	176 <sup>+</sup>	IfÖ
1992	26. V.–2. XI.	12	KF	O-M-U	661	IfÖ
1992	13. I.–16. XII.	14(25)	BF	O-M-U	275 <sup>+</sup>	IfÖ
1993	21. IV.–19. X.	13	KF	O-M-U	922	IfÖ
1993	20. I.–7. XII.	14(19)	BF	O-M-U	130	IfÖ
1994	21. IV.–25. X.	12	KF	O-M-U	389	IfÖ
1994	14. I.–6. XII.	10(20)	BF	O-M-U	71 <sup>+</sup>	IfÖ
1995	26. IV.–23. X.	11	KF	O-M-U	175	IfÖ
1995	18. I.–21. XI.	7(17)	BF	O-M-U	7	IfÖ
1996	31. V.–15. X.	10	KF	O-M	405	IfÖ
1996	28. II.–4. XII.	5(14)	BF	O-M-U	7	IfÖ
2000	31. V.–8. XI.	9	BF (20 Fallen)	O-M-U	80	ROTHE (2003*), in lit.
2001	5. IV.–20. XII.	10	BF (35 Fallen)	U (Störung)	448 <sup>+</sup>	ROTHE, in lit.

### 3.5 Gelbschalen (GS)

Dieses Verfahren kam ebenfalls nur einmal (1985), und zwar für die Erfassung der Chloropidae zum Einsatz (WEIPERT 1986), doch wurden damit die meisten in Steudnitz je Saison überhaupt gefangenen Heuschrecken erbeutet (Tab. 4, vgl. Abb. 15). Je PF wurden 6 Gelbschalen (rechteckige Fotoschalen 18 × 23 cm, Höhe 4,5 cm) im Abstand von 3 m bodennah in einem Rechteck angeordnet. Als Fangflüssigkeit diente – wie in Bodenfallen – eine 3,5%ige Formaldehyd-Lösung, wobei zuvor jeweils 5 l davon mit 50 ml Glycerin (Verdunstungsschutz) und 0,5 ml handelsüblichem Spülmittel „Fit“ zur Oberflächenentspannung versetzt wurden. Die Proben wurden nach jeder Leerung in 75%igen Ethylalkohol überführt und darin konserviert.

### 3.6 Separate Grenzflächenstudie (BF, KF)

In einer separaten Studie wurden 1990 am steilen Unterhang die relativ scharfen Grenz- und Übergangsbereiche zwischen (1) vegetationsloser Fläche und *Puccinellia* und (2) *Puccinellia* und *Elymus* untersucht, wobei von den epigäisch aktiven Arthropoden auch die Heuschrecken erfaßt wurden (PERNER et al. 1996, leg. Samietz). Je Übergangsbereich wurden hang- und grenzlinienparallel 5 Reihen (A–E, im Abstand von 2,5 m) zu je 4 Bodenfallen (im Abstand von 2 m) angelegt, von denen sich die mittlere Reihe C genau auf der Grenzlinie befand. Die am 28. 03. 1990 ausgebrachten Fallen wurden in etwa zweiwöchigem Abstand gewechselt und nach 14 Leerungsterminen am 23. 10. 1990 wieder eingeholt. Zusätzlich wurden im Grenzflächenbereich noch quantitative Kescherfänge an 5 Terminen (Mitte Mai–Mitte September) ausgeführt und damit nur Heuschrecken erfaßt. Hier lag die erste Fläche im Grenzbereich von vegetationsloser Fläche zu *Puccinellia*, die zweite im *Puccinellia*- und die dritte Fläche im *Elymus*-Rasen. Je Fläche und Fangtag wurden 100 Doppelschläge ausgeführt (PERNER et al. 1996, leg. Samietz).

### 3.7 Auswerten des Tiermaterials

Die in 75%igem Ethylalkohol konservierten Heuschrecken (und Ohrwürmer) wurden entweder noch im selben Jahr oder mitunter erst viele Jahre später entnommen, determiniert und dabei (je PF und Datum) Art, Stadium und Geschlecht in Urlisten notiert. Als Bestimmungsschlüssel dienten vorzugsweise jene von GÖTZ (1965, Imagines), OSCHMANN (1969, Juvenilstadien) und INGRISCH (1977, Juvenilstadien der Tettigonoidea).

Vor allem aufgrund der überragenden Dominanz von 4 *Chorthippus*-Arten blieben zu den jeweils frühen saisonalen Fangterminen im Mai/Juni zahlreiche Juvenile im ersten und zweiten Stadium unbestimmbar und wurden deshalb in den Urlisten und Tabellen als „indet.“ geführt. Eine zweite unsichere Gruppe ist als *apricarius/biguttulus* bezeichnet, da hier trotz des phänologisch früheren Auftretens von *apricarius* mitunter späte Juvenilstadien beider Arten doch nicht sicher zuzuordnen waren. Bei den Ensifera gab es mitunter Schwierigkeiten in der Juvenilzuordnung von *Metrioptera roeselii* und *Platycleis albopunctata* sowie einige unsichere *Tettigonia*-Larven. Diese ca. 30% an nicht genau bis zur Art bestimmbaren Individuen waren der ausschlaggebende Grund, weshalb die Heuschrecken des Immissionsgebietes zu keiner Zeit in umfassende ökosystemare Analysen (SCHÄLLER et al. 1987, PERNER et al. 2003, VOIGT et al. 2003) einbezogen wurden.

## 4. Ergebnisse

Die ökologische Grundlagenforschung im Immissionsgebiet Steudnitz begann mit der Dokumentation des Zustandes nach der Hauptabstoffbelastung in den letzten 1970er Jahren. Im Zuge der politischen Wende eröffnete sich völlig überraschend im Jahre 1990 die Möglichkeit, nach Einstellung der Düngemittelproduktion die nunmehr einsetzenden Regenerations- und Sukzessionsprozesse weiter wissenschaftlich zu begleiten. So lassen sich auch die nachfolgend abgehandelten ökofaunistische Parameter an Heuschrecken während der Düngemittelproduktion und nach deren Auslaufen darstellen und offensichtliche Veränderungen und Trends herausarbeiten. Je nach Datenlage bedeutet dies eine jeweilige Bewertung der Situation 1978–1986 (während der Immissionsphase) sowie 1990–1996 und 2000–2001 (während der Regenerationsphase), und damit letztlich auch die Möglichkeit eines Vergleichs beider Zeiträume.

#### 4.1 Artenspektren

Im Zeitraum 1980–2001 traten entlang der Katena im Immissionsgebiet Steudnitz insgesamt 16 Heuschreckenarten (8 Ensifera und 8 Caelifera) auf (Tab. 5 u. 6). Das sind 80% des Artenspektrums im Leutratl (KÖHLER 1998) und reichlich 70% von jenem im Mittleren Saaletal (KÖHLER 1987b). Dazu kam noch ein Nachweis (1993) von *Omocestus viridulus* nördlich der Katena nahe der ersten Runse (vgl. Abb. 2). Mit Ausnahme des Jahres 1980, in dem Einzeltiere von *Tettigonia cantans* und *Metrioptera roeselii* festgestellt wurden, fehlten in der **Immissionsphase** (mit jährweise 3–7 Arten) sämtliche Ensifera und Tetrigidae (Tab. 5). Es kamen über diese Jahre nur 7 Caelifera-Arten in wechselnden Kombinationen vor, wobei *Chorthippus brunneus* überhaupt nur einmal verhört wurde (1 ♂ auf PF 4, 26. VIII. 82), *Stenobothrus lineatus* in der Katena nur 1980–83 auftrat und danach nur noch einmal 1993 nördlich der Katena in 3 Exemplaren gefangen wurde und *Gomphocerippus rufus* über die Jahre nur sporadisch auftauchte. Von den vier mehr oder wenigen omnipräsenten, euryöken *Chorthippus*-Arten waren besonders *Ch. apricarius* und *Ch. biguttulus* durchgehend vertreten, während *Ch. albomarginatus* (trotz vorheriger Dominanz) und *Ch. parallelus* in manchen Jahren mit den eingesetzten Methoden nicht erfaßt wurden (Tab. 5 und 6). Während im Salzschwaden nur 2–3 *Chorthippus*-Arten auftraten, waren es im Quecken- und im Trespemischrasen alle 4 Arten (Tab. 5 u. 6).

In der **Regenerationsphase** wurden jährweise 4–11 Arten nachgewiesen, und damit war vielfach die doppelte Artenzahl der Immissionsphase präsent (Tab. 6). Dies war dem Hinzukommen von drei stetigen (*Phaneroptera falcata*, *Tettigonia viridissima*, *Metrioptera roeselii*), zwei sporadischen (*Platycleis albopunctata*, *Pholidoptera griseoptera*) und drei vereinzelt nachgewiesenen Ensifera-Arten (*Meconema thalassinum*, *Tettigonia cantans*, *Myrmecophilus acervorum*) zu verdanken (Tab. 6). Regional bemerkenswert war das gemeinsame Vorkommen von *Tettigonia viridissima* (als der weitaus häufigeren) und *T. cantans* im Untersuchungsgebiet. Dieser auffällige

Tabelle 5

Artnachweise an Heuschrecken in der Katena des Immissionsgebietes Steudnitz während der Immissionsphase, unter Berücksichtigung aller Erfassungsmethoden und Probeflächen. 1978/79 nicht bis auf Artniveau bestimmt, 1984 keine Daten. Fett – verwendete Artkürzel in Tabellen und Abbildungen.

Art/Jahr	1978	1979	1980	1981	1982	1983	1984	1985	1986
<b>Ensifera</b>									
<i>Meconema thalassinum</i>									
<i>Phaneroptera falcata</i>									
<i>Tettigonia viridissima</i>									
<i>Tettigonia cantans</i>			X						
<i>Platycleis albopunctata</i>									
<i>Metrioptera roeselii</i>			X						
<i>Pholidoptera griseoptera</i>									
<i>Myrmecophilus acervorum</i>									
<b>Caelifera</b>									
<i>Tetrix tenuicornis</i>									
<i>Stenobothrus lineatus</i>			X		X	X			
<i>Gomphocerippus rufus</i>					X	X			
<i>Chorthippus apricarius</i>			X	X	X	X		X	X
<i>Chorthippus biguttulus</i>			X	X	X	X		X	X
<i>Chorthippus brunneus</i>					X				
<i>Chorthippus albomarginatus</i>			X	X	X			X	X
<i>Chorthippus parallelus</i>			X	X		X			X
<b>Artenzahl</b>			<b>7</b>	<b>4</b>	<b>5</b>	<b>5</b>		<b>3</b>	<b>4</b>

Tabelle 6

Artnachweise an Heuschrecken in der Katena des Immissionsgebietes Steudnitz während der Regenerationsphase, unter Berücksichtigung aller Erfassungsmethoden und Probeflächen. <sup>1</sup> *Tettigonia* spec., <sup>2</sup> *M. roeselii* möglich.

Art/Jahr	1990	1991	1992	1993	1994	1995	1996	2000	2001
<b>Ensifera</b>									
<i>Meconema thalassinum</i>	X								
<i>Phaneroptera falcata</i>					X	X	X		
<i>Tettigonia viridissima</i>				X <sup>1</sup>	X	X	X		
<i>Tettigonia cantans</i>							X		
<i>Platycleis albopunctata</i>					X		X <sup>2</sup>		X
<i>Metriopectera roeselii</i>			X	X	X	X	X		X
<i>Pholidoptera griseoaptera</i>				X			X		
<i>Myrmecophilus acervorum</i>							X		X
<b>Caelifera</b>									
<i>Tetrix tenuicornis</i>								X	X
<i>Stenobothrus lineatus</i>									
<i>Gomphocerippus rufus</i>			X	X	X	X		X	X
<i>Chorthippus apricarius</i>	X	X	X	X	X	X	X	X	
<i>Chorthippus biguttulus</i>	X	X	X	X	X	X	X	X	X
<i>Chorthippus brunneus</i>									
<i>Chorthippus albomarginatus</i>	X	X	X	X	X	X	X		
<i>Chorthippus parallelus</i>	X	X	X	X	X	X	X	X	
<b>Artenzahl</b>	<b>5</b>	<b>4</b>	<b>6</b>	<b>8</b>	<b>9</b>	<b>8</b>	<b>11</b>	<b>5</b>	<b>7</b>

Artenzuwachs setzte sichtbar erst 1993 (also 2–3 Jahre nach Produktionseinstellung) ein und erreichte 1996 einen Höhepunkt. Bei den Caelifera blieben die oben genannten vier euryöken *Chorthippus*-Arten und *Gomphocerippus rufus* (mit Lücken) über den gesamten Zeitraum assoziationsbestimmend, und erst im Jahre 2000 kam mit *Tetrix tenuicornis* die erste Dornschrecke hinzu (Tab. 6), während *T. bipunctata* in keinem Jahr nachgewiesen werden konnte. Auffällig blieb außerdem das Fehlen der sich seit den 1980er Jahren regional ausbreitenden *Euthystira brachyptera*, einer sonst auf vergleichbaren Flächen des Mittleren Saaletales häufiger gewordenen Art, sowie der im Mittleren Saaletal verbreiteten Grillenarten *Gryllus campestris* und *Nemobius sylvestris*.

Ein ebenfalls auffälliges Phänomen war das (bis auf ein Tier) völlige Fehlen ektoparasitischer Laufmilben (*Eutrombidium*), die sonst regelmäßig Gomphocerinae-Populationen des Mittleren Saaletales befallen und regional weit verbreitet sind. Nur einmal, am 29. VI. 1993 (KF) wurde eine solche Milbe an einem adulten Weibchen von *Ch. biguttulus* festgestellt.

#### 4.2 Assoziationen (Dominanzspektren)

Die Heuschrecken-Assoziation(en) im Immissionsgebiet Steudnitz war(en) über den gesamten Untersuchungszeitraum in ihrer zahlenmäßigen Zusammensetzung maßgeblich von den euryöken Gomphocerinae der *Chorthippus*-Gruppe sowie vereinzelt von *S. lineatus* und *G. rufus* geprägt, die während der **Immissionsphase** (mit wenigen Ausnahmen) faktisch die einzigen Heuschrecken stellten. Die orthopterologische Situation in dieser Phase ist im wesentlichen durch die Kescherfänge, und nur einjährig durch Gelbschalen erschlossen. Mit Bezug auf die **Kescherfänge** waren die Dominanzspektren von 1981–92 über die drei unterschiedenen Vegetationseinheiten durch 2–5(6) Arten geprägt (Abb. 12). Über alle Probeflächen dominierte 1981/82 *Ch. albomarginatus*

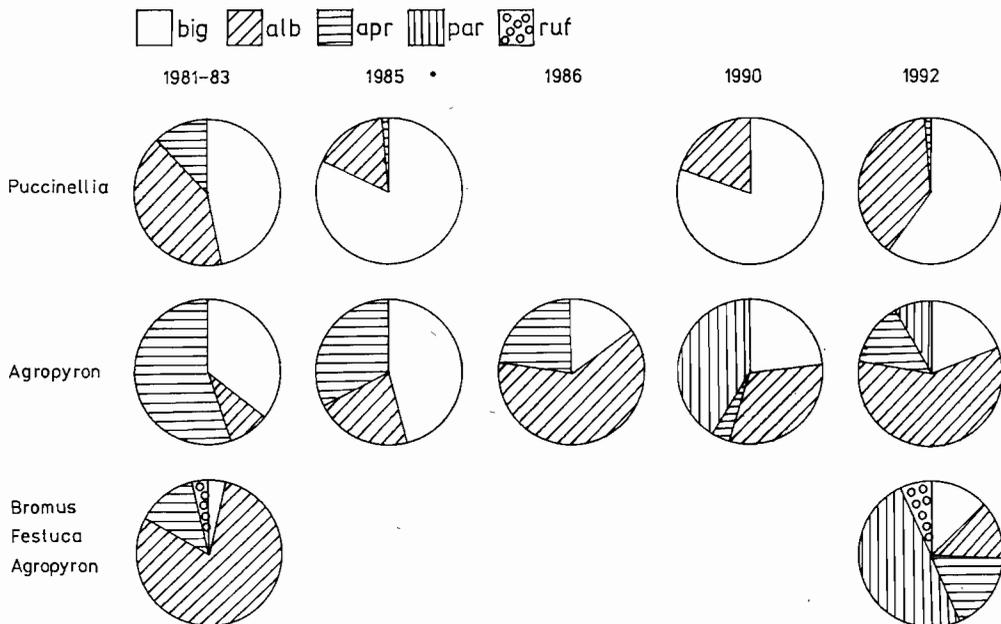


Abb. 12. Dominanzverteilung (KF) der Gomphocerinae (Artkürzel, vgl. Tab. 5) in den drei Hauptvegetationseinheiten im Immissionsgebiet Steudnitz, 1981-92. *Agropyron* = *Elymus*. N = 238 (1981/83), 441 (1985), 33 (1986, Biozönometer), 250 (1990) und 412 (1992).

(40/50%) vor *Ch. apricarius* (30/23%) und *Ch. biguttulus* (28/9%), mit den Rezedenten *S. lineatus*, *G. rufus* und *Ch. parallelus* (Abb. 13). Diese Anteile bestimmten maßgeblich die Fangzahlen auf den Probeflächen 1-3. Die mit Abstand meisten Tiere wurden auf dem am wenigsten belasteten Oberhangplateau (PF 1) gekechert, während die Fangzahlen in den mittleren Trespenmischrasen (PF 2 u. 3) weniger als die Hälfte ausmachten, und im Quecken-(PF4) und Salzschwaden (PF 5)-Bestand insgesamt nur wenige Heuschrecken auftraten (Abb. 14). Auch kamen im Zeitraum 1981-85 in den Trespen-Mischrasen alle 5 Arten vor, doch blieb *Ch. albomarginatus* jahrweise assoziationsbestimmend. Hingegen dominierten im *Elymus*(*Agropyron*)-Bestand *Ch. apricarius* und *Ch. biguttulus*, während letzterer im *Puccinellia*-Rasen und hier wieder mit *Ch. albomarginatus* die Assoziation dominierte (Abb. 12). Dabei verschoben sich die Dominanzanteile nicht nur von Fläche zu Fläche, sondern auch von Jahr zu Jahr. Im an Heuschrecken „artenreichsten“ Trespenmischrasen bestimmte anfangs (1981-83) *Ch. albomarginatus* mit >75% Anteil das Bild, während zu Beginn der **Regenerationsphase** (1992) *Ch. parallelus* etwa die Hälfte aller Heuschrecken stellte. Im Quecken-Rasen waren die Wechsel sehr viel ausgeprägter, und es dominierte jeweils *Ch. apricarius* (1981-83), *Ch. biguttulus* (1985), *Ch. albomarginatus* (1986, 1992) und *Ch. parallelus* (1990). Im Gegensatz dazu ergaben sich im Salzschwaden sehr stabile Dominanzverhältnisse von 1981-83 bis 1992, wobei in allen Jahren *Ch. biguttulus* und *Ch. albomarginatus* zusammen mindestens drei Viertel aller Individuen stellten, und in den Zwischenjahren 1985 und 1990 *Ch. biguttulus* vollends vorherrschte (Abb. 12). Ein besonderes Phänomen waren die ungewöhnlich hohen Fangzahlen, die 1985 mittels Gelbschalen (eigentlich zur Erfassung von Chloropiodae - WEIPERT 1986) erzielt wurden. Wie auch in den zeitgleichen Kescherfängen (siehe oben) dominierte in den Gelbschalen ebenfalls *Ch. biguttulus* besonders herausragend in *Puccinellia*, aber auch noch in *Elymus*, während *Ch. albomarginatus* und *Ch. apricarius* deutlich abfielen und *Ch. parallelus* nur mit einem Tier in der Quecke vertreten war (Abb. 15).

In diesem Zusammenhang warf die flächenscharfe Ausbildung der beiden in Werksnähe aufgewachsenen Monokulturen von Salzschwaden (*Puccinellia distans*) und Kriech-Quecke (*Elymus*

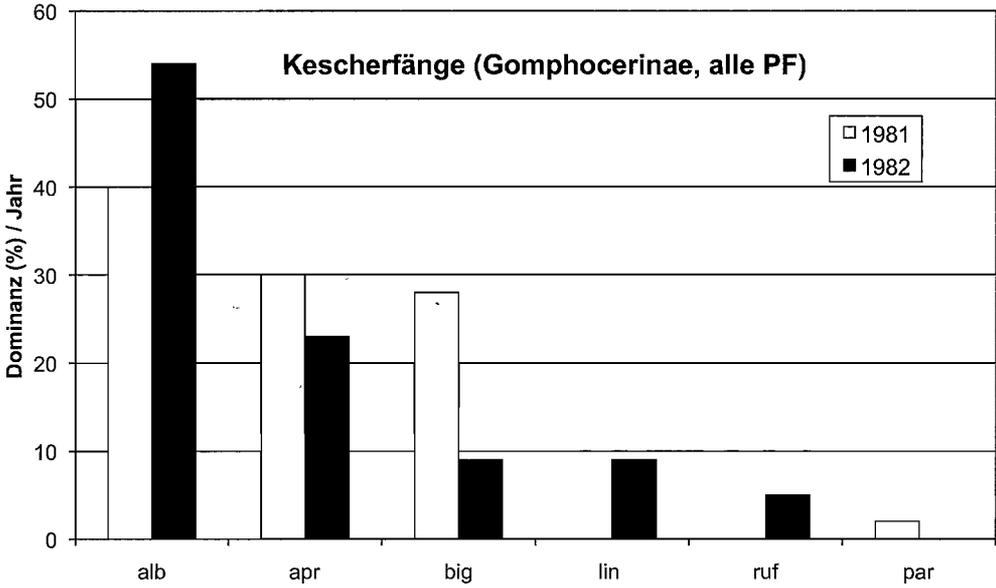


Abb. 13. Dominanzverteilung der Gomphocerinae (Artkürzel, vgl. Tab. 5) über alle Probeflächen (KF 1981–82). N = 96 (einheitlich hochgerechnet auf 236).

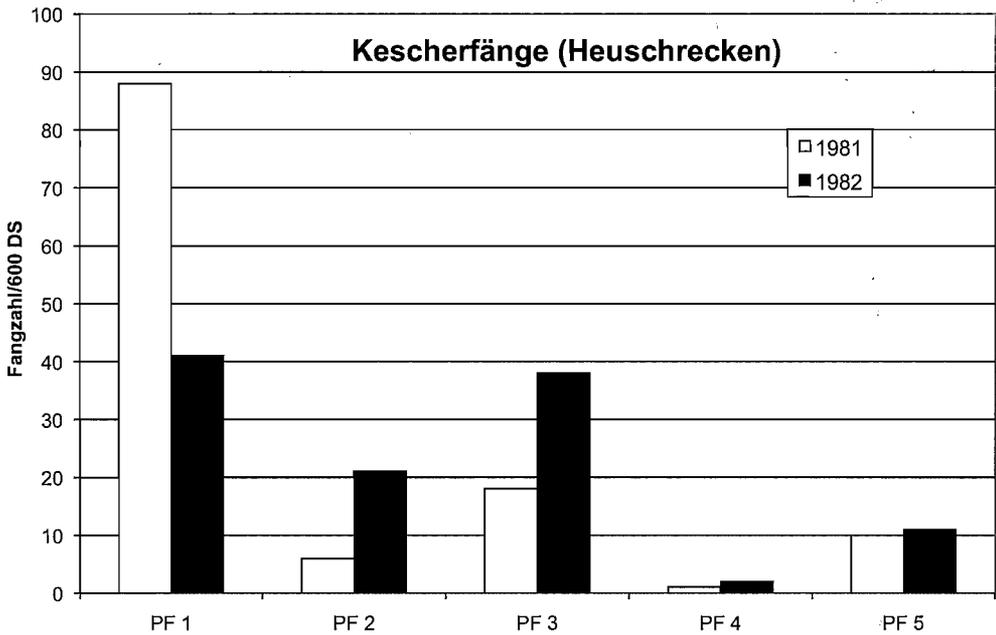


Abb. 14. Kescherfangzahlen auf den PF 1–5 während der Immissionsphase, 1981/82. N = 96 (einheitlich auf 600 Doppelschläge berechnet).

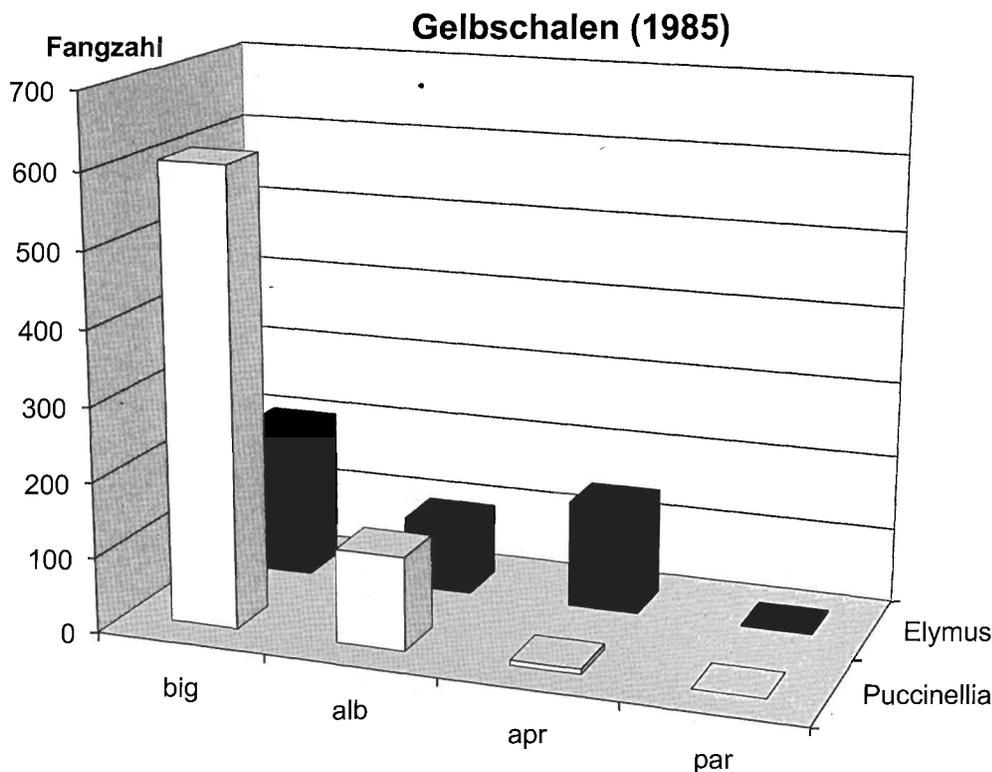


Abb. 15. Gelbschalenfänge (leg. J. Weipert) im Salzschwaden- und Quecken-Rasen, 1.4.–9. 12. 1985.  
N = 1503!

*repens*) die Frage auf, wie die Heuschrecken-Arten an Grenzflächen reagierten und wie sie in diesen Übergängen verteilt waren. Eine separate Aufnahme mittels Bodenfallen (und Kescherfängen) am Ende der Immissionsphase (1990, PERNER et al. 1996) ergab insgesamt ebenfalls 5 Arten, von denen wiederum *Ch. biguttulus* (N = 127) und *Ch. apricarius* (N = 41) das Bild bestimmten. Über den Grenzbereich von ± vegetationsfreiem Boden zu Salzschwaden nahm die Aktivitätsdichte des dominanten *Ch. biguttulus* drastisch ab, bei gleichzeitig allmählichem Hinzukommen von *Ch. albomarginatus* (Abb. 16, links). Über den Grenzbereich von Salzschwaden zu Quecke nahm *Ch. biguttulus* wieder stark zu, und mit *Ch. apricarius* und *Ch. parallelus* traten weitere Arten auf (Abb. 16, rechts). Wie bei anderen hierbei noch untersuchten Arthropodengruppen (Isopoda, Chilopoda, Auchenorrhyncha, Carabidae, Diptera) blieb die qualitative Artenzusammensetzung weitgehend die gleiche, während es zu abrupten Wechseln in den Aktivitätsdichten wohl infolge veränderter Umweltvalenzen kam (PERNER et al. 1996).

Für die weitere **Regenerationsphase** liegen vergleichbare quantitative **Kescherfänge** im unmittelbaren zeitlichen Anschluß an die oben genannten für den Zeitraum 1993–96 vor (Anhang I), wobei 1996 nur Daten aus dem mittleren und oberen Bereich existieren (in dieser Phase dann Unterteilung in die drei Hangbereiche Unten, Mitte und Oben). In der bekescherten Krautschicht waren die Artdominanzen über alle Probestellen 4–5 Jahre nach Werksstilllegung bereits deutlich verschoben (vgl. Abb. 17 mit Abb. 13). Unter den nunmehr 10 Arten waren jetzt 5 Ensifera-Arten, während bei den Caelifera *S. lineatus* fehlte (Anhang I). Dennoch dominierten 1993 noch *Ch. albomarginatus* (41%) und *Ch. biguttulus* (22%), doch *Ch. parallelus* (16%) war bereits häufiger geworden und auch *M. roeselii* (9%) trat in die Assoziation ein. Und genau Roesels

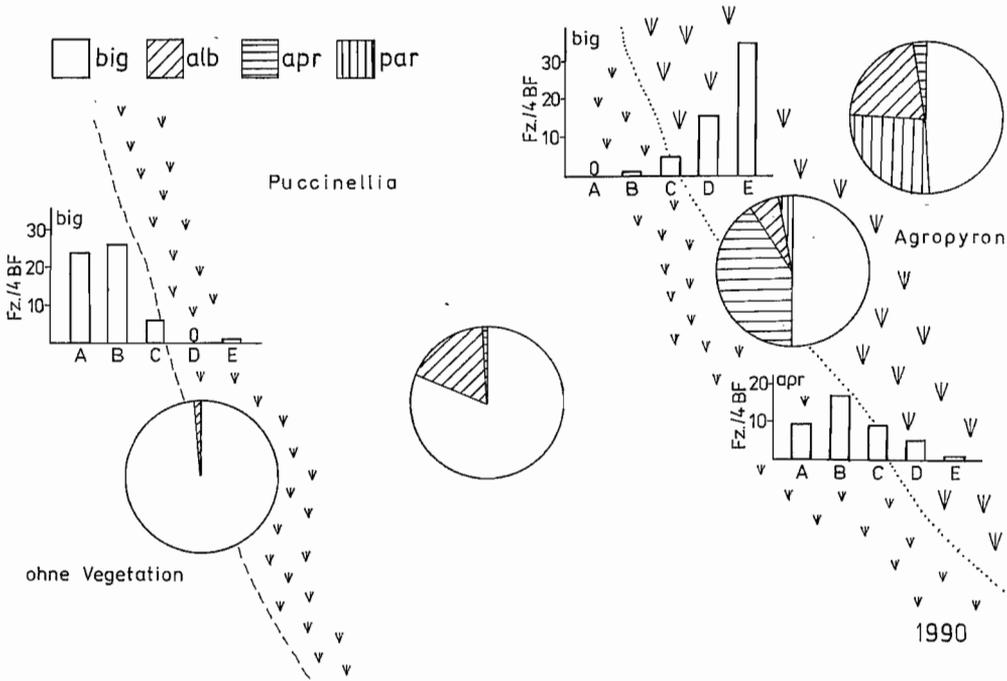


Abb. 16. Dominanzen und Fangzahlen (BF) der Gomphocerinae-Arten an Grenzflächen der beiden Monozö-nosen *Puccinellia* und *Elymus* (= *Agropyron*) im Hauptimmissionsbereich des Düngemittelwerkes Steudnitz, 1990. N = 178.

Beißschrecke wurde in den Folgejahren 1994 und 1995 mit 51% und 39% (viele Juvenile!) die mit Abstand häufigste Art, gefolgt von *Ch. biguttulus* (16% und 16%) und *Ch. albomarginatus* (15% und 13%). In den Jahren 1994/95 kamen als Rezedente auch *Ph. falcata* und *T. viridissima* hinzu (Abb. 17, Anhang I).

In den drei Probegebieten (Unten, Mitte, Oben) wechselten die Arthäufigkeiten und -anteile ebenfalls erheblich. Im sich allmählich regenerierenden Starkimmissionsbereich (Unten) dominierte 1993 noch *Ch. albomarginatus*, dagegen 1994 und 1995 *Ch. biguttulus* (72% und 59%). In Hangmitte blieb über drei Jahre (1993–95) *M. roeselii* mit 31%, 74% und 63% unangefochtener Spitzenreiter, doch wurde sie 1996 von *Ph. falcata* mit 48% (viele Juvenile!) verdrängt. Im oberen, seit jeher am wenigsten belasteten Halbtrockenrasen blieb 1993–95 *Ch. parallelus* mit 56%, 36% und 27% assoziationsbestimmend, flankiert bereits 1994 und wieder 1996 von *M. roeselii* mit 33% und 43% sowie 1995 und 1996 von *Ph. falcata* mit 27% und 35% (Anhang I).

Für die Regenerationsphase liegen parallel zu den Kescherfängen und darüber hinaus aber die umfangreichsten Daten aus **Bodenfallen** (bis 2001) vor (Anhang II, Abb. 18) Über alle PF erreichte *Ch. biguttulus* mit etwa 60% (1990–96) anfangs die mit Abstand höchste Dominanz, fiel aber im Jahr 2000 auf 16% ab. Ihm folgten *Ch. albomarginatus* (1990–92 >> 1993–96 >>> 2000) und *Ch. apricarius* (1990–92 << 1993–96 <<< 2000), der dann im Jahre 2000 die Hang-Assoziation bei weitem dominierte. Über den gesamten Zeitraum blieb *Ch. parallelus* bei 10–5%. In der ersten Phase kamen allmählich *M. roeselii* (1993), *P. albopunctata* (1994), *Ph. falcata* und *Ph. griseoptera* (beide 1995/96) hinzu. Weiterhin wurden *T. tenuicornis* und *G. rufus* gefangen (beide je einmal 1992, dann wieder ab 2000; Anhang II).

In den drei Probegebieten unterschieden sich die jeweils dominanten Bodenfallen-Arten in ihren Anteilen und von Jahr zu Jahr teils erheblich. Im unteren Bereich dominierte 1990 noch *Ch. apricarius* (56%), ab 1991–96 jedoch *Ch. biguttulus* (86–49%) und um 2000 erneut *Ch. apricarius*

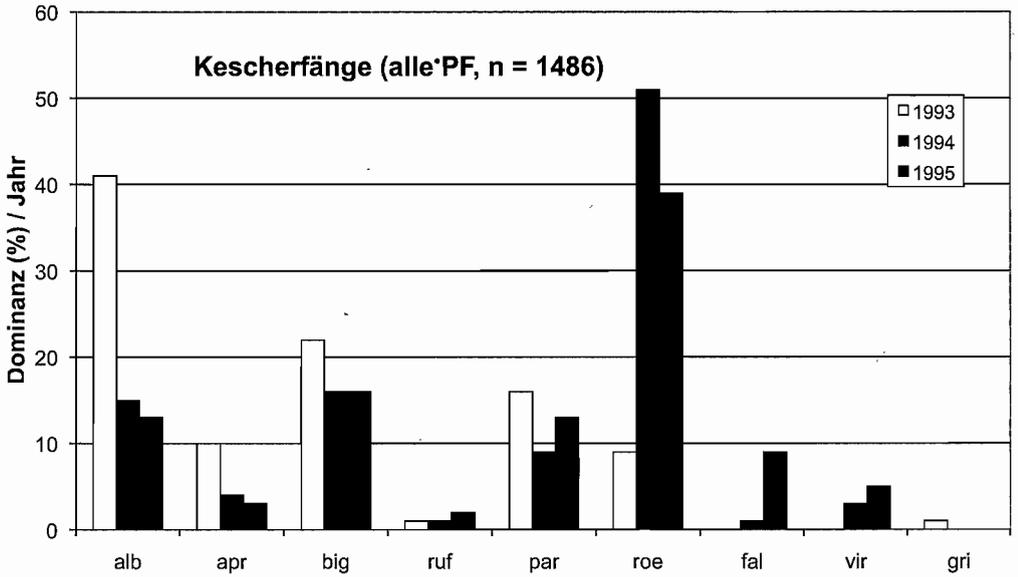


Abb. 17. Dominanzverteilung der Arten (Kürzel, vgl. Tab. 5) über alle Probeflächen (KF 1993–95), Artreihung wie in Abb. 13.

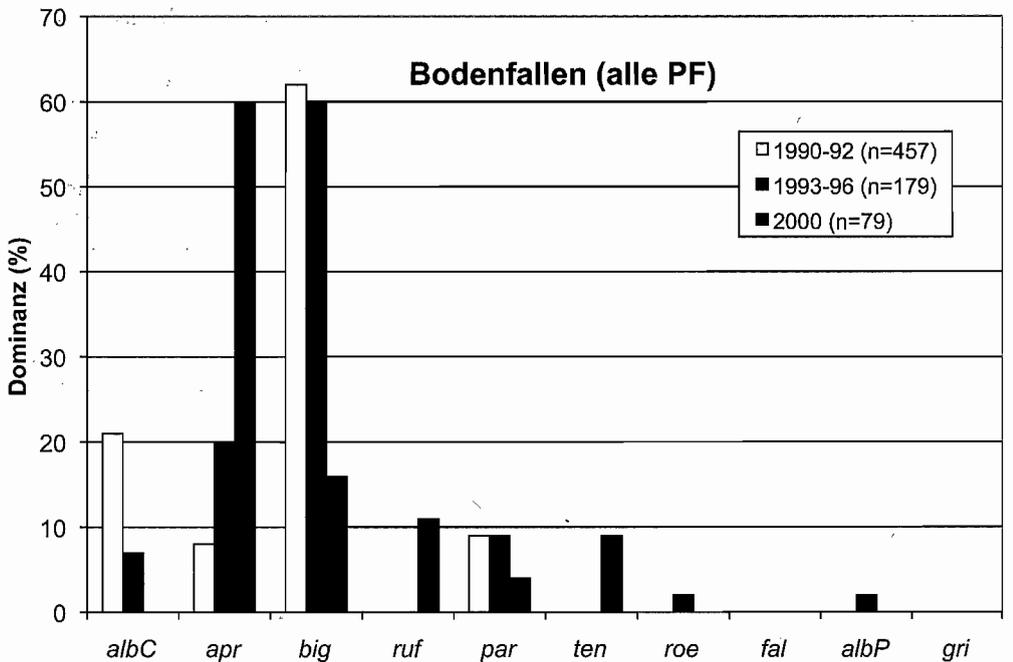


Abb. 18. Dominanzverteilung der Arten (Kürzel, vgl. Tab. 5) über alle Probeflächen (BF 1990–2000), Artreihung wie in Abb. 13.

(64%). In der Mitte herrschte 1990 *Ch. biguttulus* (77%) vor, 1991 und 1992 dann *Ch. albomarginatus* (55% und 52%), 1993 dann *Ch. apricarius* (50%) und 1994 wieder *Ch. albomarginatus* (33%), während 1995/96 die Fangzahlen für eine Reihung zu niedrig waren. Im Jahre 2000 lag dann bei insgesamt schon mehr Arten *Ch. parallelus* (32%) vorn. Der obere, am wenigsten belastete und am stärksten verbuschende Bereich zeigte 1990 eine hohe Dominanz von *Ch. parallelus* (64%), 1991 von *Ch. biguttulus* (45%), 1992 von *Ch. parallelus* (38%) und *Ch. albomarginatus* (31%), 1993 von *Ch. biguttulus* (39%) und *Ch. apricarius* (33%), 1994 von *Ch. parallelus* (53%) und *Ch. apricarius* (47%); 1995/96 und 2000 waren hier oben die Fangzahlen ebenfalls zu niedrig (Anhang II).

Damit bestimmten in den Bodenfallen die vier auch schon in der Immissionsphase vorherrschenden Gomphocerinae-Arten selbst ein Jahrzehnt nach Einstellung der Düngemittelproduktion noch die Dominanzspektren, mit erheblichen gebiets- und jahrweisen Wechseln ohne erkennbare Tendenzen.

### 4.3 Populationsdynamik (Kescherdichten)

In der **Immissionsphase** zu Beginn der Untersuchungen (1978–80) fehlten Heuschrecken an vielen Stellen entweder völlig oder sie traten insgesamt in so niedrigen Dichten auf, daß sie mit den eingesetzten Fangverfahren so gut wie nicht erfaßt wurden. Etwas genaueren Aufschluß ergab dagegen eine **Kartierung** des UG und seiner unmittelbaren nördlichen Umgebung im September 1980. Demnach konnten im intensiv staubbeeinflussten Umfeld von ca. 500 m nördlich des Emitenten Heuschrecken weder beobachtet und verhört noch gekeschert werden (Abb. 18, Null-Flächen). Erst in den anschließenden Randbereichen mit Magerrasen wurden Einzeltiere – und oft erst nach längerem Suchen – gefunden. Die wiederum benachbarten Ackerflächen waren mit Getreide (an Hängen) oder Mais (in Saale-Aue) bestanden und damit ohnehin heuschreckenfeindlich (Abb. 18). Ein Vergleich der ± staubbelasteten Flächen in Steudnitz mit strukturell ähnlichen Halbtrockenrasen im Leutratal ergab Verhältnisse in der realen Keschernfangdichte (500 DS) von 4:64 (Juni) und 5:117 (September), also anteilig nur etwa 5% auf den Steudnitzer Flächen bzw. das 16- bzw. 23-fache im unbelasteten Leutratal.

Aufgrund der geringen quantitativ erhobenen Fangzahlen zu Untersuchungsbeginn wurden die wenigen Heuschrecken aus den **Keschernfängen** 1979 und 1980 nicht weiter bearbeitet, da sie keine weiteren Aussagen ermöglichten. Für die Folgejahre ließen sich anhand der standardisierten Keschernfänge (hier Fangzahl/100 DS) für die einzelnen Probeflächen aber mittlere Dichten errechnen, die eine insgesamt sehr breite Variation aufwiesen (Abb. 20, Tab. 7). Allen PF gemeinsam war, daß vor und in 1980 sehr wenige Heuschrecken im Gebiet lebten und oft Null-Dichten (im Rahmen der vorgegebenen Methodik) zu verzeichnen waren. Danach stiegen die Dichten bis Mitte der 1980er Jahre auf das teils 4-10fache der Ausgangswerte an, doch flächenbezogen in verschiedenen Jahren. Am raschesten erfolgte der Anstieg auf dem Trespenrasen (max. 1981), gefolgt vom Trespen-Mischrasen (1982), und erst später vom Salzschwaden- (1985) und Queckenrasen (1986). Die niedrigsten Dichten (um 20 Ind./100 DS) wiesen die drei mittleren Flächen auf, während über die Jahre sowohl der Salzschwaden als auch der Trespenrasen das Doppelte und Dreifache davon aufwiesen, wenn auch jeweils verschiedene Arten daran beteiligt waren (vgl. Abb. 12). Solche niedrigen Werte im Quecken-Rasen verdeutlichen auch Biozönometer-Erfassungen, bei denen jeweils 24 bzw. 48 BZ (= 6 bzw. 12 m<sup>2</sup>) an 13 Fangterminen 1986 insgesamt nur 33 Heuschrecken erbrachten, davon *Ch. albomarginatus* mit anteilig 58% (RETHNER 1987).

Grundsätzlich stellte sich dabei die Frage, ob aus der Umgebung Individuen in Größenordnungen zuwanderten oder sich die Populationen aus sich heraus rekrutierten. Die Gebietsstruktur erlaubt eine Zuwanderung sowohl am Hangfuß (Wegrand, Bahndamm) als auch von Norden her über die Halbtrockenrasen, während im Süden zum Werk hin eine steil abfallende, stark immissionsbeeinflusste Felspartie und im Westen am Oberhang ein dichter Gebüschriegel als effektive Barrieren dies unmöglich machen sollten. Es ist davon auszugehen, daß unmittelbar nach Rückgang der Staubbelastung 1980 zumindest die Gomphocerinae aus Nachbargebieten in die vorher 'leerstehenden' Katena-Flächen eingewandert und sich dort rasch etabliert haben sein müssen (KÖHLER

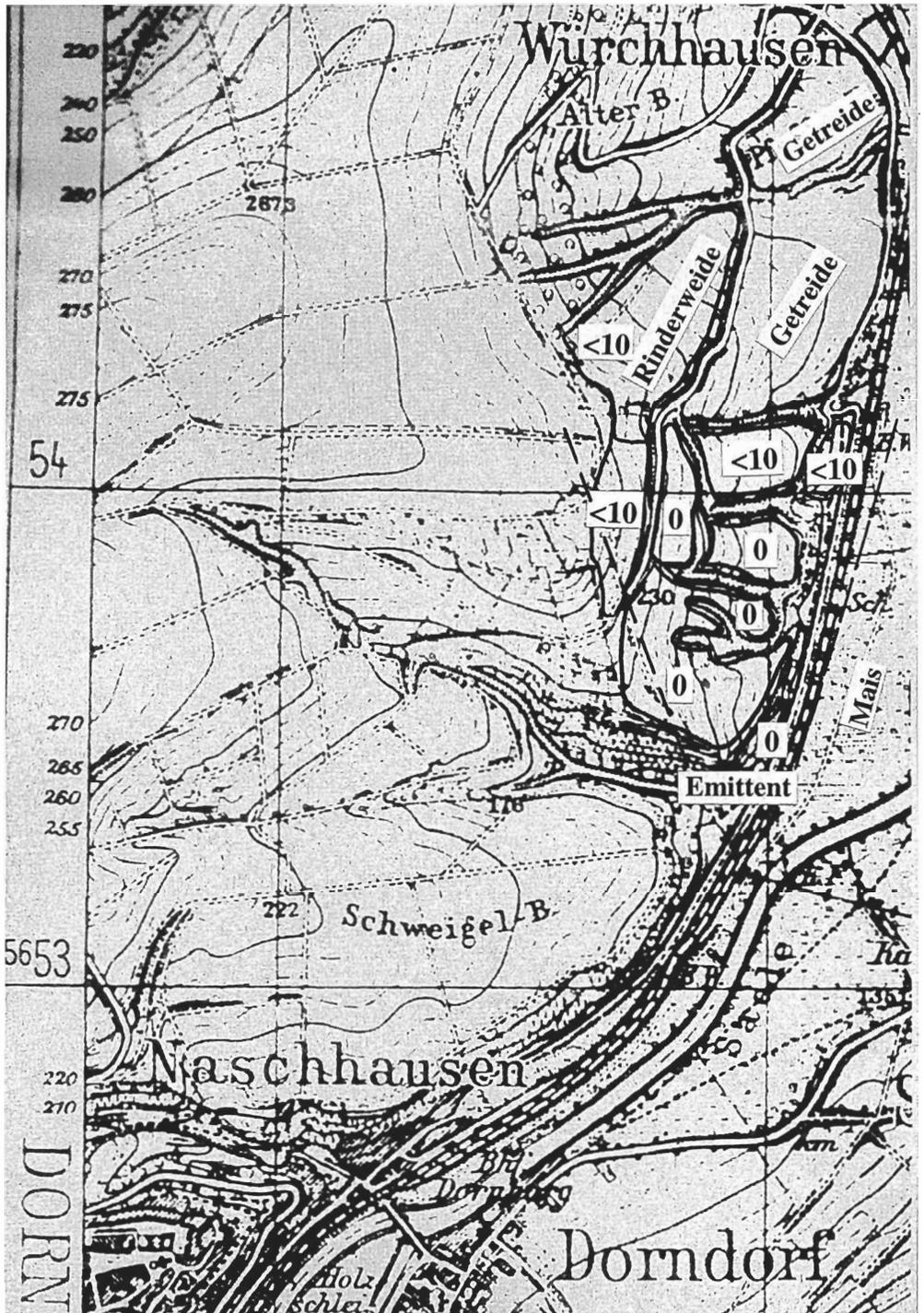


Abb. 19. Grobquantitative Heuschrecken-Kartierung (G. Köhler) im näheren und weiteren Immissionsgebiet des Düngemittelwerkes Steudnitz (MTBQ-Ausschnitt 4936/3, Blatt Camburg), 8./18. IX. 1980.

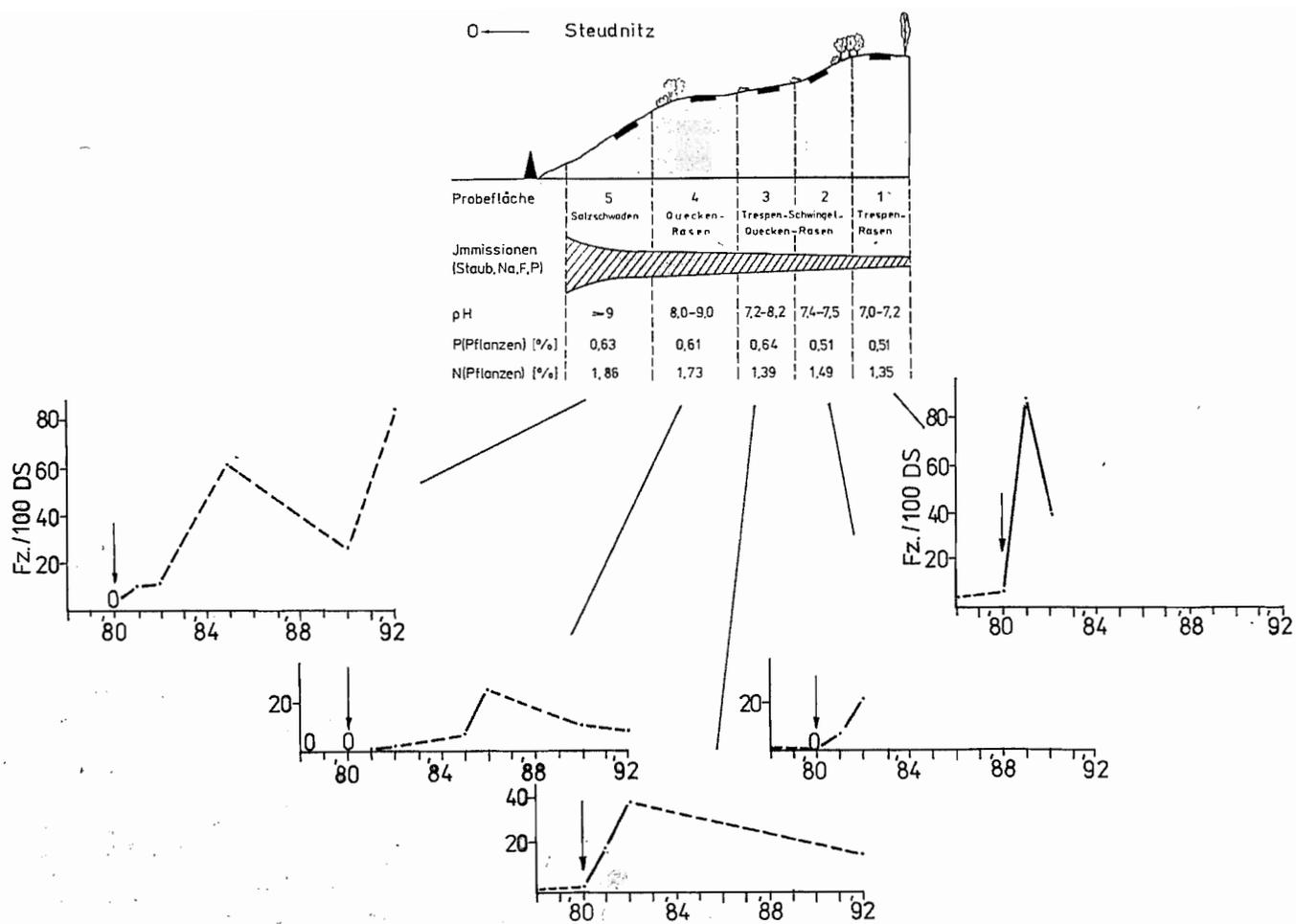


Abb. 20. Populationskurven aller Gomphocerinae (KF 1978-92) auf den PF 5-1 der Hangkatena (oben) im Immissionsgebiet Steudnitz. Strichlinien markieren fehlende Jahre.

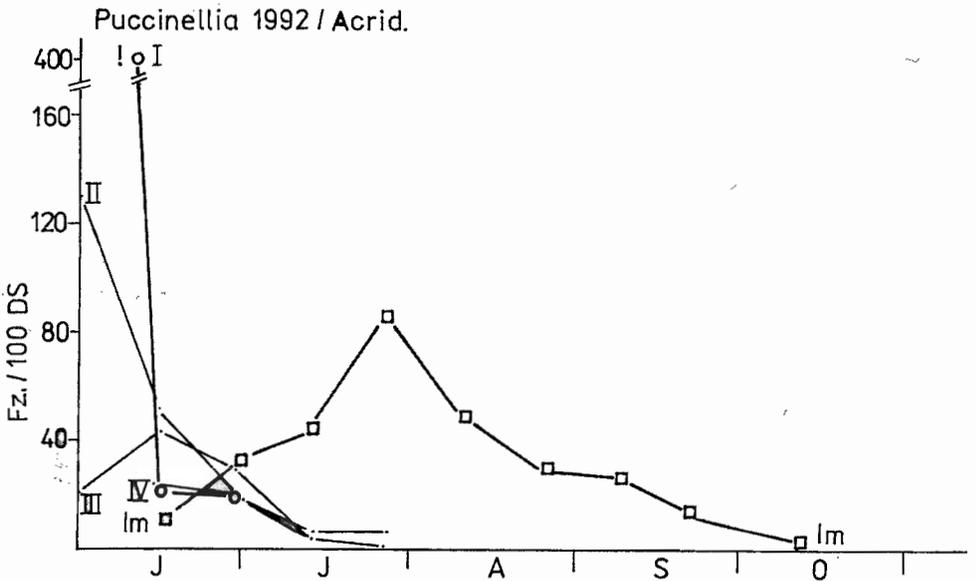
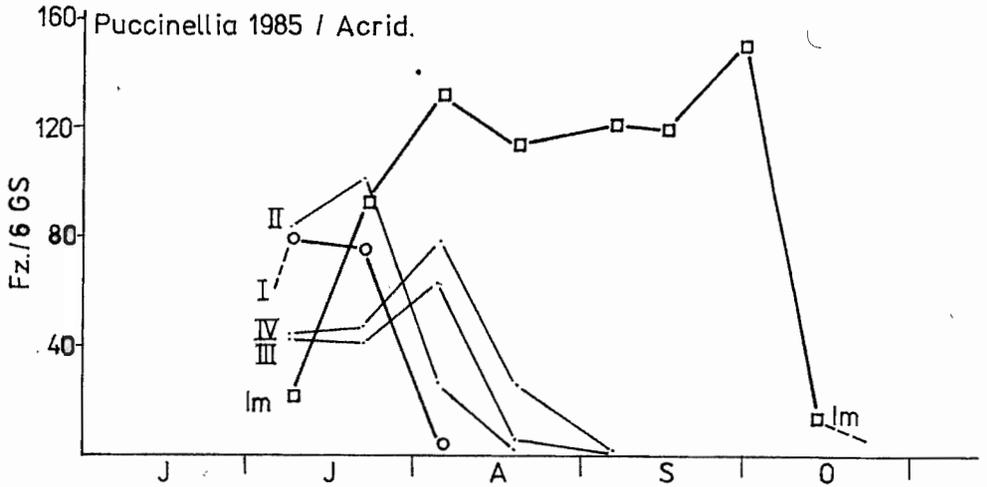


Abb. 21. Stadienabundanzkurven (L1-Im) aller Gomphocerinae (meist *Ch. biguttulus* und *Ch. albomarginatus*), beispielhaft für 1985 (Gelschalenfänge) und 1992 (Kescherrfänge) in der Salzschwaden-Monozönose.

1988). Bereits wenige Jahre später, in der Immissionsphase (1985, Gelschalen), fanden sich im Salzschwaden Anfang Juli bereits sämtliche Entwicklungsstadien (L1 – Im, meist *Ch. biguttulus*, weniger *Ch. albomarginatus*) in den Fallen, die dann Ende Juli (L1/2) und Anfang August (L3/4) ihre Stadienmaxima erreichten. Die Imagines blieben dann auf hohem Niveau ab Mitte August bis Anfang Oktober (Abb. 21, oben). Ein ähnliches Bild lieferten die Kescherrfänge im selben Gebiet am Beginn der Regenerationsphase (1992, wieder beide Arten), nur hier methodenbedingt mit sehr hohen Zahlen bei den frühen Juvenilstadien (Abb. 21, unten). Dies belegt, daß sich bereits 1985 die Randpopulationen (beider Arten) größtenteils etabliert hatten und die Nachkommen aus den zuvor an Ort und Stelle abgelegten Ootheken geschlüpft sein müssen (vgl. aber *Forficula* in Kap. 4.5).

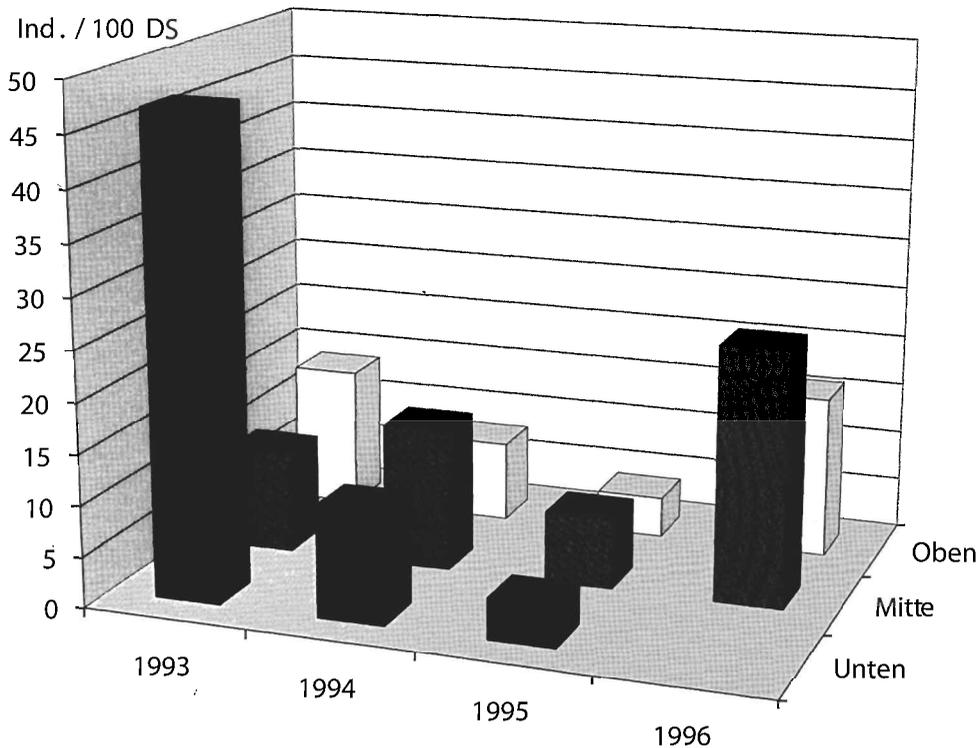


Abb. 22. Mittlere Heuschrecken-Kescherdichten (Ind./100 DS) für die Jahre 1993–96 (Regenerationsphase) in den drei untersuchten Hangbereichen des Immissionsgebietes Steudnitz.

Tabelle 7

Veränderungen in den Gesamtfangzahlen (Kescherfänge) an Heuschrecken (alle Arten und Stadien) in der Dreier-Katena des Immissionsgebietes Steudnitz, 1978–1996. Einheitlich auf jeweils 100 Doppelschläge pro Fläche und Jahr umgerechnet und ganzzahlig gerundet. 0 – kein Tier gefangen, Strich – Fläche nicht befangen.  
\* Wert durch fehlende Flächen verfälscht.

Jahr/Probefläche	Oben (PF 1+2)	Mitte (PF 3+4)	Unten (PF 5)	Katena-Ø
<b>Immissionsphase</b>				
1978	3	1	–	2
1980	3	1	0	1
1981	47	10	10	22
1982	31	20	11	21
1985	–	7 (PF 4)	62	35*
1986	–	26 (PF 4)	–	26*
1990	–	11 (PF 4)	26	18*
<b>Regenerationsphase</b>				
1992	11	6	71	29
1993	14	10	47	24
1994	8	14	11	11
1995	4	7	4	5
1996	16	25	–	21*

In der Regenerationsphase kam es ebenfalls zu erheblichen und in den einzelnen Probestellen abermals unterschiedlichen Dichteschwankungen (Tab. 7). Ein Vergleich der mittleren Kescherdichte (pro 100 DS) von 1993–96 ergab am Unterhang (1996 fehlend) von einem Maximum 1993 ausgehend einen beträchtlichen Abfall über die Folgejahre, während am Mittel- und Oberhang die hier auf wesentlich niedrigerem Niveau schwankenden Anfangsdichten dann 1996 ihre Höchstwerte erreichten (Abb. 22).

Betrachtet man die Jahresmittel der Kescherdichten (alle Heuschrecken) über den Untersuchungszeitraum (1978–96), so kam es ausgehend von sehr niedrigen Werten 1978–80 dann in der weiteren Immissionsphase rasch zu einem nie wieder erreichten Maximum 1985 und einem schwächeren Abfall bis 1990. In der Regenerationsphase stieg die Dichte kurzzeitig bis 1992 wieder an, um dann bis 1995 kontinuierlich bis auf einen niedrigen Wert zu sinken, während 1996 erneut ein Anstieg zu verzeichnen war (Abb. 23, vgl. Tab. 7). Ein drastischer Abfall der Fangzahlen ergab sich von 1992–96 auch in den Bodenfallen (vgl. Anhang II).

Der allgemeine Kurvenverlauf unterliegt einem komplexen Faktorengedüge, wobei Anfang der 1980er Jahre ein Rückgang der Staubbelastung zu einer raschen Erholung zumindest der Populationen euryöker Arten führte, die danach womöglich auch noch durch einen Düngereffekt (über die Grasnahrung – KÖHLER 1984) begünstigt wurden und individuenreiche Populationen ausbilden konnten. Mit Beginn der Regenerationsphase sollte diese Entwicklung eigentlich weiterlaufen, noch dazu während einer Reihe überdurchschnittlich warmer Jahre, doch rasche Sukzessionsprozesse (im Salzschwaden durch ruderalen Verkräutern, im Halbtrockenrasen durch Verbuschung) dürften sich nachteilig auf die Feldheuschrecken (doch positiv auf die hinzukommenden Laubheuschrecken) ausgewirkt haben. Erstaunlicherweise wurden während Untersuchungen an Blütenbesuchern (1992–95) auch einzelne Heuschrecken an/auf Blütenständen beobachtet: *Phaneroptera falcata* auf *Sonchus arvensis*, *Pholidoptera griseoptera* auf *Euphorbia cyparissias*, *Chorthippus apricarius* auf *Galium verum* und *Ch. biguttulus* auf *Puccinellia distans* (KÖPPLER 1997).

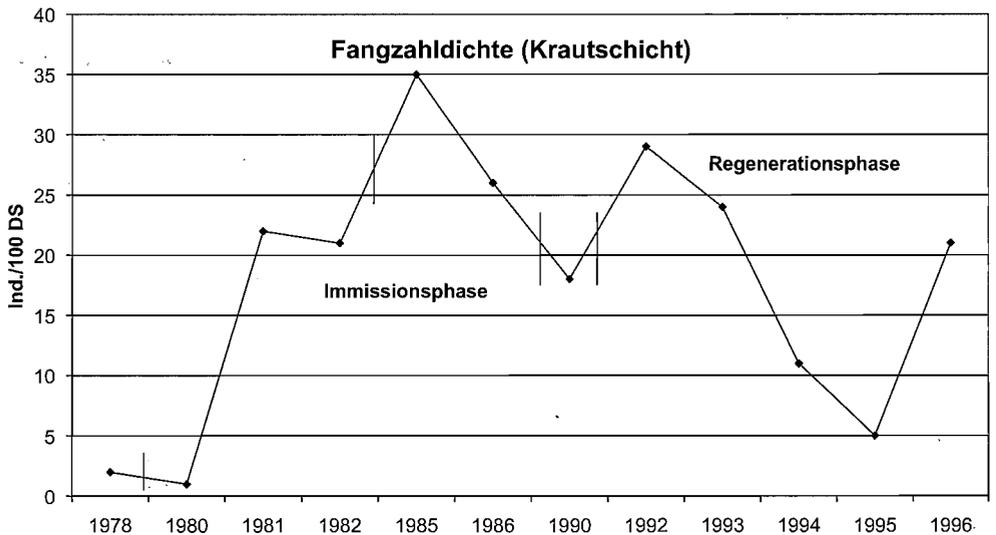


Abb. 23. Mittlere Heuschrecken-Kescherdichten (Ind./100 DS) über den Untersuchungszeitraum 1978–96 unter Einbeziehung von Daten aller Probestellen im Immissionsgebiet Steudnitz. Jahresunterbrechungen als Striche.

#### 4.4 *Ensifera/Caelifera-Index*

Die Verrechnung der beiden Heuschrecken-Großtaxa (Ordnungen bzw. Unterordnungen) zu einem Index (eigentlich einem Quotienten) stammt von SCHMIDT (1987), der aber einen Caelifera/Ensifera-Index auf Basis der Artzahlen für eine geografische Region im Auge hatte. Ein solcher regionaler C/E-Index läßt sich aufgrund der herkunftsbedingten unterschiedlichen ökologischen Ansprüche vieler Arten beider Großtaxa als regionaler Klimaindikator verstehen, mit niedrigeren Werten für atlantisch ( $C < E$ ) und höheren für kontinental geprägte Faunengebiete ( $C > E$ ). Ausgehend davon schlug KÖHLER (1989) für die Charakterisierung von Graslandbiotopen umgekehrt einen verfeinerten E/C-Index vor, und zwar auf der Basis von Fangzahlen (bei denen zahlenmäßig die Caelifera/Gomphocerinae bei weitem überwiegen). In dieser Weise sollen die Verhältnisse im Immissionsgebiet Steudnitz kurz charakterisiert werden, und zwar zunächst auf **Artbasis** (vgl. Tab. 5 und 6).

Hierbei fehlten während der Immissionsphase (1978–86) die entsprechende Ensifera-Arten völlig oder deren Fangzahl blieb sehr klein, zumindest in den standardisierten Fängen. Daher war auch der E/C-Index in diesem Zeitraum bei Null oder wies einen niedrigen Wert bis 0,30 auf (Tab. 8). In der Regenerationsphase lag der gemittelte E/C-Index aber bei 1,33 (Tab. 8, Ensifera > Caelifera). Zum Vergleich seien das Leutratal mit 0,82 (KÖHLER 1998) und das Mittlere Saaletal mit 0,71 (KÖHLER 1987b) angeführt.

Auf **Fangzahlbasis** (Kescherfänge, Gelbschalen) blieb der E/C-Index in der Immissionsphase ebenfalls bei Null, eine Folge des Fehlens vor allem von Langfühlerschrecken in den Fängen. In der Regenerationsphase wandelte sich dieses Bild, teils in Abhängigkeit vom Fangverfahren. Für die Krautschicht (Kescherfänge) ergaben sich 1992 und 1993 noch sehr niedrige Werte bis 0,05, dagegen kam es 1994 bis 1996 zu einem sprunghaften Anstieg von 0,49 auf 2,82 (Ensifera >> Caelifera). In der bodennahen Schicht (Bodenfallen) war der Index 1990–92 ebenfalls noch bei Null, blieb aber auch in den Folgejahren bis 2001 auf sehr niedrigem Niveau bei 0,04–0,06 (Tab. 8). Insgesamt ergab sich, bezogen auf Fangzahlen, für alle Jahre und Flächen des Untersuchungsgebietes Steudnitz ein Wert von 0,11, wobei er in der Immissionsphase bei Null blieb und in der Regenerationsphase 0,17 erreichte (Tab. 8). Letzterer entspricht etwa den Werten (KF) an einer Hangkatena im naturnahen Leutratal, mit 0,10 im Arrhenatheretum, 0,29 im Mesobrometum

Tabelle 8

Veränderungen im Ensifera/Caelifera-Index im Immissionsgebiet Steudnitz von 1978–2001 über alle Probestellen. BF – Bodenfallen, GS – Gelbschalen, KF – Kescherfänge.

Zeitraum	Methode	Ensifera	Caelifera	E/C-Index
<b>Artbasis</b>				
1978–1986	Alle Verfahren	0–2	7	0,00–0,30
1990–2001	Alle Verfahren	8	6	1,33
<b>Fangzahlbasis</b>				
1992	KF	2	1056	0,002
1993	KF	48	880	0,05
1994	KF	128	261	0,49
1995	KF	72	103	0,70
1996	KF	299	106	2,82
1990–1992	BF	0	510	0,00
1993–1996	BF	8	205	0,04
2000–2001	BF	23	360	0,06
Immissionsphase	GS, KF	0	1503	0,00
Regenerationsphase	BF, KF	580	3481	0,17
Steudnitz, gesamt	BF, GS, KF	580	4984	0,11

und 0,18 im Seslerietum (KÖHLER 1989). Folglich ist – nach diesem Index zu urteilen – die Regeneration (hin zu naturnahen Verhältnissen) im Laufe eines Jahrzehnts nach Produktionseinstellung bereits weit fortgeschritten.

#### 4.5 Auftreten von *Forficula auricularia*

Während der gesamten Untersuchungszeit 1978–2001 kam im Immissionsgebiet Steudnitz als einzige Ohrwurmart nur der Gemeine Ohrwurm, *Forficula auricularia*, vor. Er wurde aber über all die Jahre (1978–1996) nie gekeschert, sondern immer nur mit relativ wenigen Tieren in Bodenfallen (1990–2001) gefunden (Tab. 9). Von dieser Fangmethode liegen aber erst ab Beginn der Regenerationsphase (1990) Daten vor, so daß die Situation der Art in der Katena in den 1970/80er Jahren unbekannt ist.

Einzeltiere von *F. auricularia* traten verstreut über die Katena von 1990–94 und 1996 auf, dann kam 1995 ein erster Höhepunkt mit der 3,5fachen Zahl des Vorjahres (darunter auch L1). Im Jahr 2000 wurden erstaunlicherweise keine Ohrwürmer in den Bodenfallen gefangen, während 2001 explosionsartig und nur entlang einer 12 m langen Strecke am Unterhangfuß das 4-fache des Spitzjahres 1995 erbeutet wurde (Tab. 9). Für diese relativ zahlreichen Tiere ließ sich eine Phänologiefolge erstellen, die – mit Ausnahme weniger Individuen im Mai (3. V. – 2 ♀♀, 6 L1) – ausschließlich auf Imagines (72 ♂♂, 27 ♀♀) fußt, erst im August begann, im Oktober ihren Höhepunkt erreichte und im November ausklang (Abb. 24). Unter den 72 ♂♂ fanden sich 14 mit abnormen Zangenbildungen, davon 12 der f. *macrolabia* und 2 der f. *cyclolabia*.

Diese Phänologiefolge unterschied sich in drei Punkten von den regional bekannten Folgen (Unstrut-Aue – KÖHLER & GÜTH 2006, Poxdorfer Hang – KÖHLER & KOPETZ 2007). (1) Es fehlten die Juvenilstadien (L1–L4), die sonst im Mai und Juni den Aktivitätsgipfel der Populationen bilden, nahezu völlig, und es wurden nur adulte Ohrwürmer gefangen. (2) Adulte Weibchen traten in Steudnitz erst ab August auf, doch sonst kommen sie (anders als Männchen) in niedrigen Dichten über die gesamte Vegetationsperiode vor. (3) In Steudnitz betrug der Männchenanteil bis zu drei Viertel, während andernorts die Fangzahlen für Weibchen oft höher sind, wobei das

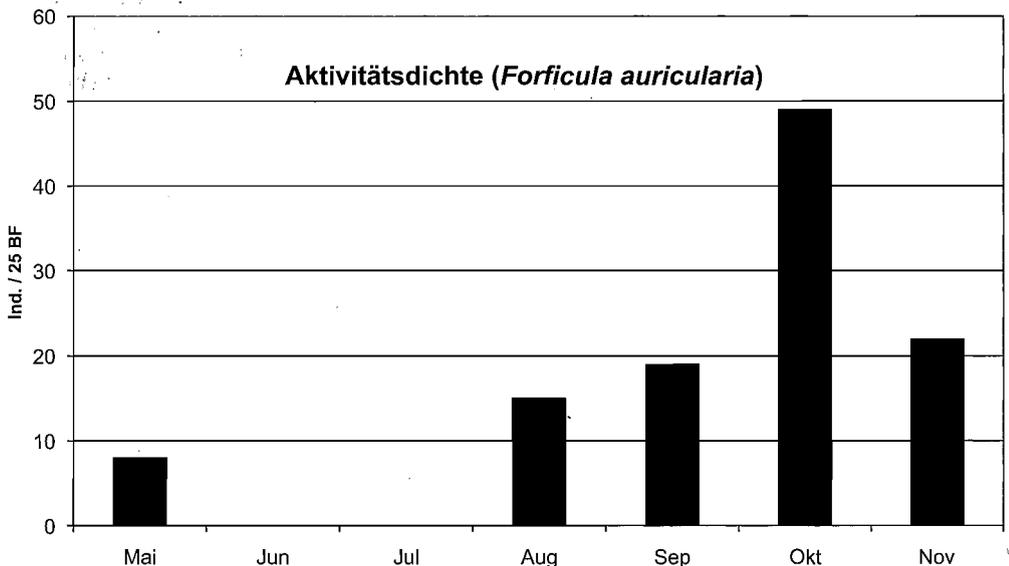


Abb. 24. Phänologie des Gemeinen Ohrwurms nach Aktivitätsdichten am Unterhangfuß der Katena. Bodenfallen vom 5. IV. bis 20. XII. 2001; Mai (2 ♀, 6 L1), Aug–Nov (72 ♂, 27 ♀).

Tabelle 9

Das Auftreten des Gemeinen Ohrwurms, *Forficula auricularia*, während der Regenerationsphase in Bodenfallen entlang einer Hangkatena (Unten, Mitte, Oben) im Immissionsgebiet des Düngemittelwerkes Steudnitz. L – Larve, N – Nympe.

Jahr/PG	Unten	Mitte	Oben	Gesamt
1990	–	1 (♀)	2 (♀, ♂)	3
1991	–	1 (♀)	–	1
1992	2 (♀)	–	3 (2 ♀, 1 ♀L)	5
1993	–	1 (♀)	2 (♀, ♂)	3
1994	2 (♂, N)	5 (2 ♀, 2 ♂, 1 N)	–	7
1995	3 (♀, 2 L)	22 (3 ♀, 19 L1)	–	25
1996	2 (2 ♀)	–	–	2
2000	–	–	–	–
2001	105 (27 ♀, 72 ?, 6 L1)	nicht erfaßt	nicht erfaßt	105

Geschlechterverhältnis zumindest im Sommer/Herbst eher ausgeglichen sein dürfte. Alle diese Befunde sprechen dafür, daß *F. auricularia* sich erst mit wenigen Tieren im Immissionsgebiet fortpflanzt und nur niedrige Dichten erreicht (vgl. 1990–96). Und die doch plötzlich auftretenden zahlreichen Imagines im Jahre 2001 am Unterhang sind möglicherweise (von Feldern der Saale-Aue) eingewandert.

## 5. Diskussion

Eine den Untersuchungen im Immissionsgebiet des Düngemittelwerkes Steudnitz vorausgehende umfassende Literaturrecherche (270 Titel, bis 1980) zeigte, daß die Folgen von Luftverunreinigungen (besonders Ruß und Staub) auf Ökosysteme in europäischen Industrieländern bereits seit Mitte des 19. Jh. verstärkt wissenschaftlich untersucht wurden. Der Schwerpunkt lag dabei auf Schadsymptomen bei Pflanzen (und damit Bioindikation) und nachrangig bei Veränderungen der Phytozönosen (HEINRICH 1981a, b), während zum immissionsbedingten Faunenwandel sehr viel weniger bekannt war (ALSTAD et al. 1982). Vor diesem Hintergrund ergab ein neuerlicher Forschungskomplex nur dann Sinn, wenn er (1) das lokale Immissionspotential (vor allem Abstäube) quantitativ und chemisch-analytisch erfaßte, (2) das Immissionsgebiet in seinen regionalgeografischen Gradienten möglichst großräumig eingrenzte, und (3) sämtliche relevanten ökosystemaren Kompartimente vom Boden über die Vegetation bis zu den Konsumenten- und Destruentengruppen erfaßte und zueinander in Beziehung setzte. Bezogen auf **Arthropodengruppen** bedeutete dies entlang einer Kette von Probeflächen (Katena) die quantitative Erfassung der Artengarnituren, die Untersuchung der raum-zeitlichen Verteilung individuenreicher Populationen, die Abschätzung von Biomasse-Umsätzen auf verschiedenen trophischen Ebenen sowie längerfristig die Verfolgung von Struktur- und Funktionsänderungen (SCHÄLLER 1985). Folglich kam es von 1978–86 (während der Immissionsphase) katenaübergreifend, und besonders intensiv in den beiden Monozönosen (*Puccinellia*, *Elymus*), zu ersten grundlegenden ökofaunistischen Erhebungen an 12 Großtaxa, bei denen im wesentlichen 6 Erfassungsmethoden eingesetzt und deren Ergebnisse mitunter zeitverzögert in >40 Arbeiten vorgelegt wurden (Tab. 10, vgl. Literaturverzeichnis). Dabei lag es nahe, die 1972–75 bereits gut untersuchte und unbelastete Leutratl-Katena (zusf. MÜLLER et al. 1978, HEINRICH et al. 1998) zum Vergleich mit der im Schadgebiet vorgefundenen Situation heranzuziehen (u. a. SCHÄLLER 1985, SCHÄLLER et al. 1987). Freilich unterschieden sich beide Gebiete (und Transekte) in wesentlichen Hangparametern und damit auch lokalklimatisch. So erstreckte sich die Leutratl-Katena an einem südexponierten Hang von der Leutra-Aue über den ausgedehnten Rötsockel zum Wellenkalksteilhang über eine Länge von 350 m und eine

Tabelle 10

Ökofaunistisch untersuchte Arthropodentaxa (in systematischer Folge) im Immissionsgebiet Steudnitz. Fett – Taxonkürzel bei ökosystemaren Untersuchungen. B – Berlese-Apparat, BF – Bodenfallen, BZ – Biozönometer, D – Dauereklektor, GS – Gelbschalen, KF – (quantitative) Kescherfänge, T – Tullgren-Trichter.

Taxon	Jahr	Untersuchung	Quelle
<b>Taxonspezifische Untersuchungen</b>			
Araneae	1983	Farbpolyorphismus ( <i>Neottiura bimaculata</i> )	KRIEGER 1983
	1981–83	Farbpolyorphismus, Phänologie ( <i>Neottiura bimaculata</i> )	SCHÄLLER & KÖHLER 2009
	1994–96		
	2005–06		
Isopoda	1979–81	Zönose, Verteilung, Aktivitätsdichte (BF)	PETER 1984
	1991–93	Aktivitätsdichte, Dispersion, Populationsdynamik ( <i>Armadillidum vulgare</i> u. <i>Trachelipus rathkei</i> , BF)	EGGERS 1997
	1991–2000	Isopoda im Nahrungsnetz (bes. <i>Armadillidum vulgare</i> u. <i>Trachelipus rathkei</i> , BF)	ROTHE 2003
Chilopoda	1979–81	Zönose, Verteilung, Aktivitätsdichte (BF)	PETER 1984
Diplopoda	1979–81	Zönose, Verteilung, Aktivitätsdichte (BF)	PETER 1984
Collembola	1979–81	Verteilung, Aktivitätsdichte, Phänologie, Farbmodifikationen (BF, bes. <i>Orchesella villosa</i> )	PETER 1984
	1980–83	Verteilung, Aktivitätsdichte, Dominanz, Repräsentanz (BF, D, T)	FRITZLAR 1985, FRITZLAR et al. 1986
Caelifera	1981	Industriestaubwirkung auf <i>Ch. parallelus</i>	KÖHLER 1984,
	1978–86	Dominanz, Verteilung (KF)	KÖHLER 1988
	1996	Fluktuierende Asymmetrie ( <i>Ch. parallelus</i> , <i>Ch. albomarginatus</i> )	JENTZSCH 2000, JENTZSCH et al. 2003
Aphidina	1983	Abundanzdynamik ( <i>Sitobion avenae</i> , <i>Atheroides brevicornis</i> – T) und Coccinellidae als Räuber-Komplex in <i>Puccinellia</i>	NAUMANN 1984 NAUMANN & SCHÄLLER 1986
Coccina	1979–83	Aktivitätsdichte, Phänologie, Dynamik (BF, T), Morphometrie in <i>Puccinellia (Trionymus perrisii)</i>	NAUMANN 1984, KÖHLER & NAUMANN 1986
	1979–82	Aktivitätsdichte, Phänologie (BF) in Katena Habitat, Phänologie ( <i>Ortheziola vej dovskyi</i> ) (BF)	KÖHLER 2006
Auchenorrhyncha	1979	Indikatoren	PETER 1979
	1979–81	Zönose, Verteilung, Aktivitätsdichte (BF)	PETER 1984
	1978–82	Repräsentanz, Dominanz, Diversität (KF, Vergleich mit Leutratal)	MÜLLER 1985
	1984	Verbreitung ( <i>Eurybregma nigrolineata</i> )	MEINHARDT 1985
Heteroptera	1980–83	Aktivitätsdichte, Dominanz, Repräsentanz, Diversität, Evenness (KF, BF)	VOIGT 1985
	1987	Beta-Diversität, Einnischung (KF)	VOIGT 1987
	1995	Dichte, Nahrung in <i>Elymus (Nabis brevis, Notostira elongata)</i>	WEGENER 1996
Coleoptera	1979–81	Zönose, Verteilung, Aktivitätsdichte (BF)	SANDER 1984
Diptera-Brachycera	1978–80	Dominanz, Halophilie (6 Arten, BF, KF)	BÄHRMANN 1982
	1978–84	Diversität, Stabilität von Zönosen	BÄHRMANN 1985
	1985	Populationsdynamik, Reproduktion (Chloropidae – KF, GS)	WEIPERT & BÄHRMANN 1989
	1979–84	Vergleich belastet-naturnah (BF)	BÄHRMANN 1987
	1979–85	Zönosen in <i>Elymus</i> und <i>Puccinellia</i> (BF, KF)	BÄHRMANN 1988

Diptera- Nematocera	1979–85 1979–97	Stabilität von Zönosen belastet-naturnah Dominanz, Abundanz in <i>Puccinellis</i> und <i>Elymus</i> (KF, BF, D)	BÄHRMANN 1989a, b BÄHRMANN 2000
	1979–97	Halophile Arten (BF, KF, GS, D)	BÄHRMANN & BELLSTEDT (2008)
	1998–2000	Zönotische Parameter	METZNER 2001

#### Taxonübergreifende Untersuchungen

Ara, Aph, Auc, Het, Col, Dip	1981	Dominanz, Abundanz in <i>Puccinellia</i> (B, KF)	NOACK 1982
Ara, Cae, Auc, Het, Dip	1980	Kescherdichte, Dominanz in <i>Elymus</i>	END 1981
Iso, Dip, Chi, Coll, Auc	1979–81	Dominanz, Aktivitätsdichte, Biomasse (BF)	PETER 1984
Ara, Auc, Het, Dip	1980–83	Strukturänderungen, Biomasse, Stabilität (naturnah-belastet) (KF, BF, BZ, D, GS)	SCHÄLLER et al. 1987
Aph, Het, Dip	1978–85	Vergleich immissionsbelastet – naturnah	SCHÄLLER 1985
Ara, Col, Dip	1984	Kescherdichte, Dominanz, Konsumenten- gruppen an 6 Gehölzarten (KF)	ARNOLD & HEMPEL 1985, BÄHRMANN 1989a
Ara, Cae, Auc, Het, Col	1986	Phänologie, Biomasse in <i>Elymus</i> (KF, BZ)	RETHNER 1987
Chi, Dip, Cae, Auc, Het, Col, Dip	1990	Aktivitätsdichte, Verteilung an Grenzflächen von <i>Puccinellia</i> und <i>Elymus</i> (BF, KF)	PERNER et al. 1996
Hym, Lep, Col, Dip	1992/93 u. 1995	Phänologie an Blüten in <i>Puccinellia</i> und <i>Elymus</i> (Zählung)	KÖPPLER 1997

Höhendifferenz von 140 m. Dagegen verlief die Steudnitz-Katena entlang eines kleinteiligen, ost-exponierten, der Aue aufsitzenden Wellenkalk-Hangs über eine Länge von 250 m bei 70 m Höhenunterschied. Dessen ungeachtet repräsentiert das Leutratal jenen regionalen Status, an dem sich alle anderen Gebiete messen lassen müssen. Die nach 1990 (und bis 2004) intensiv fortgesetzte Ökosystemforschung in Steudnitz hatte die Selbstregeneration einzelner Kompartimente des stark belasteten Gebietes im Fokus, wozu 1990–96 wiederum umfangreiche ökofaunistische Daten (>66 400 Ind. in 680 Arten) erhoben wurden. Dabei zeigte sich mit Zunahme der Pflanzenarten und -diversität auch eine solche in den meisten funktionellen Gruppen (PERNER et al. 2003). Neben derart komplexen ökosystemaren Ansätzen gerieten jedoch die basalen assoziations-, art- und populationsbezogenen Aspekte und Zusammenhänge weitgehend aus dem Blickfeld, so daß es in der Folge nicht mehr zu jenen großgruppenzentrierten Vergleichen zwischen Immissions- und Regenerationsphase kam, die wesentliche Details dieser Dynamik erhellen hätten. Eine rühmliche Ausnahme bilden die kontinuierlich betriebenen Auswertungen bei den Zweiflüglern (BÄHRMANN 1982, 1985, 1987, 1988, 1989a und b; BÄHRMANN & BELLSTEDT 2008) sowie deren ökofaunistisch-vergleichende Gesamtschau (BÄHRMANN 2000). Daher können nachfolgend nur einige immissionsversursachte Aspekte im Vergleich der Taxozönosen beleuchtet werden, während das Regenerationsgeschehen innerhalb der Großgruppen weitgehend ausgeblendet bleiben muß.

Die **Artenspektren** der Steudnitz-Katena blieben während der Immissionsphase auffällig verarmt, wiewohl der Zustand vor Einsetzen der Hauptstaubbekämpfung unbekannt war. So waren die Heuschrecken, im Vergleich zu unbelasteten Halbtrockenrasen des Leutralales, nur noch mit etwa der Hälfte an Arten vertreten, wobei Laubheuschrecken, Grillen und Dornschröcken völlig ausfielen. Ähnliche Artrelationen (Steudnitz–Leutratal) traten auch bei anderen Arthropodengruppen auf (vgl. Arteninventar für Leutratal in HEINRICH et al. 1998), so den Isopoda (2–6, PETER 1984), Diplopoda (7–14, PETER 1984), Chilopoda (8–17, PETER 1984), Collembola (52–79, FRITZLAR

1985), Auchenorrhyncha (52–127, MÜLLER 1985) und Heteroptera (30–58, VOIGT 1985). Dagegen fehlten die Isopoda und Diplopoda im Zeitraum 1979–81 in den stark belasteten Hangbereichen nahezu völlig (PETER 1984). Im Gegensatz dazu traten die Diptera-Brachycera in denselben Bereichen besonders artenreich auf (BÄHRMANN 2000). Im Laufe der Regeneration nahm das Artenspektrum bei Heuschrecken insbesondere durch die nun hinzukommenden Ensifera allmählich zu, dennoch blieben einige regional typische Arten aus. Anders bei den Diptera, wo die Artenmannigfaltigkeit sich kaum, die Artenzusammensetzung aber erheblich änderte (BÄHRMANN 2000).

Die **Dominanzspektren** während der Immissionsphase waren bei den meisten Großgruppen durch wenige entweder spezialisierte oder euryöke Arten geprägt, die sehr hohe Individuendichten und damit Fangzahlen erreichten. Dieses längst von „Schädlingen“ in Monokulturen bekannte Phänomen trat in den einartigen Salzschwaden- und Quecken-Rasen auf und betraf mehrere Arthropodengruppen (im folgenden Artnamen übernommen), wobei unterschiedliche Fangverfahren (vgl. Tab. 10) mitunter verschiedene Spitzenarten erbrachten. Bei den Chilopoda bestimmten *Lithobius forficatus* und *L. crassipes* das Bild (PETER 1984). Die Collembola dominierten *Orchesella villosa* und *Lepidocyrtus paradoxus* (PETER 1984) bzw. *Hypogastrura vernalis* und *Proisotoma minuta* (FRITZLAR 1985, FRITZLAR et al. 1986). Bei den Heuschrecken erreichte *Chorthippus biguttulus* (teils auch *Ch. albomarginatus*) die höchste Dichte (vorl. Beitrag). Die Aphidina waren zu drei Viertel *Sitobion avenae* und *Atheroides brevicornis*, beide nicht wirtswechselnd auf Gräsern lebend (NOACK 1982, NAUMANN 1984, NAUMANN & SCHÄLLER 1986), bei den Coccina war es allein *Trionymus perrisii* (NAUMANN 1984, KÖHLER & NAUMANN 1986). Die Auchenorrhyncha im Queckenrasen waren hochdominant durch *Errastumus ocellaris* und *Eurybregma nigrolineata* vertreten (MÜLLER 1985, RETHER 1987), bei den Heteroptera entfielen 95% auf *Trigonotylus ruficornis*, *Notostira elongata* und *Leptoterna dolobrata* (NOACK 1982, VOIGT 1985, RETHER 1987), bei den Coleoptera im Salzschwaden machten der Marienkäfer *Scymnus rufomarginatus* etwa die Hälfte (NOACK 1982) bzw. der Laufkäfer *Anisodactylus binotatus* und der Kurzflügelkäfer *Falagria thoracica* jeweils über ein Drittel aus (SANDER 1984). Bei den ohnehin hochdominanten Chloropidae bestimmten *Oscinella frit* zu 45–60% zusammen mit *O. nigerima* und *Aphanotrigonum cinctellum* (END 1981, WEIPERT 1986, WEIPERT & BÄHRMANN 1989), bei den sonstigen Diptera *Pelomyiella mallochi* (Tethinidae) die Assoziationen (NOACK 1982, BÄHRMANN 1982). Nur die Araneae, mit *Neottiura bimaculata*, *Meta segmentata* und *Dictyna uncinata*, wiesen eine demgegenüber ausgeglichene Dominanzfolge auf (END 1981; NOACK 1982, RETHER 1987). Bemerkenswert war das teils häufige Auftreten einzelner **halophiler/-bionter** Arten in den stark belasteten Katenabereichen: der Hundertfüßer *Lithobius melanops* (PETER 1984), die Blattlaus *Atheroides brevicornis* (NAUMANN 1984), die Zikaden *Macrosteles sordidipennis* und *Eurybregma nigrolineata* (PETER 1984, MÜLLER 1985), der Kurzflügelkäfer *Atheta triangulum* (SANDER 1984) sowie mehrere Fliegen-Arten, darunter *Pelomyiella mallochi* (Tethinidae), *Limnospila albifrons* (Muscidae), *Oscinomorpha albisetosa* und *Aphanotrigonum cinctellum* (beide Chloropidae) (WEIPERT 1986; BÄHRMANN 1982, 2000; BÄHRMANN & BELLSTEDT 2008). Bei den Heuschrecken müßten alle drei häufigen *Chorthippus*-Arten zumindest als salztolerant eingestuft werden. Dennoch blieben bei zurückgehender Belastung (sowohl im Katena-Gradienten als auch während der Regeneration) anfangs *Ch. apricarius*, später *Ch. albomarginatus* und *Ch. parallelus* als dominante Arten erhalten. Die beiden saprophagen Asselarten *Armadillidium vulgare* und *Trachelipus rathkei* nahmen im Laufe der Regenerationsphase (1991–2000) in allen Katenabereichen beträchtlich zu (EGGERS 1997, ROTHE 2003). Demgegenüber verschwanden bei den Diptera im Laufe weniger Jahre nach Produktionseinstellung mit dem Rückgang an Salzschwaden auch zusehends die halophilen Arten (BÄHRMANN 2000).

Die auf- und populationsökologischen Hintergründe für diese drastischen immissionsbedingten Veränderungen bleiben jedoch nach wie vor weitgehend spekulativ, nicht zuletzt durch das zeit- und ressourcenbedingte Fehlen begleitender ökophysiologischer und verhaltensökologischer Ursachenforschung. Dabei müssen von Fall zu Fall komplexe Einwirkungen der Staubbeklastung im Spiele sein, auf welche die einzelnen Arten sehr unterschiedlich reagieren.

Die **direkten Einwirkungen** der Düngemittelabstäube resultieren unmittelbar aus deren alkalischen, ätzenden und teils toxischen Eigenschaften, wodurch auch Arthropoden über die Nahrung,

in ihren Entwicklungsstadien und Mikrohabitaten beeinflusst werden. Als eine überraschende Folge der Immissionen müssen auch die teils merkwürdigen **Farbveränderungen** und deren Häufigkeitszunahmen in den Populationen angesehen werden. Bei den Springschwänzen, besonders bei *Orchesella villosa* (aber auch bei *O. cincta* und *Entomobrya* spec.), traten neben den normal gelblich-hellbraun gefärbten Individuen auf einmal violett- und rotgefärbte Tiere (bis >50%) auf, und zwar in den am stärksten immissionsbelasteten Katenagliedern, was möglicherweise auf hohe Ionen-Konzentrationen (etwa Na, K) in der Nahrung oder im Boden zurückzuführen war (PETER 1984). Ein anderer, ökologisch vermutlich einmaliger Fall ist das Phänomen des Industriealbinismus auf Populationsebene bei der Kugelspinne *Neottiura bimaculata*, die während der Immissionsphase einen hohen Anteil an cremeweißen Jungspinnen und adulten Weibchen sowie aufgehellten Männchen ausbildete. Hier wird eine Selektion heller Tiere (Räuberschutz) vor dem staubgrauen Unter- und Hintergrund vermutet (KRIEGER 1983, SCHÄLLER & KÖHLER 2009). An zwei Heuschreckenarten (*Chorthippus parallelus* und *Gomphocerippus rufus*) mit individuen-schwachen Populationen im Immissionsgebiet wurden die Wirkungen von Industriestaub untersucht. Beim **Verfüttern** von staubbedeckten Grasblättern verringerte sich geringfügig die Mortalität bei etwas höherer Reproduktionsrate. Vermutlich positiv wirkte hier die Erhöhung des Nährstoffgehaltes (bes. N) in und auf den Süßgrasblättern. Demgegenüber war bei **Eiablage** in Industriestaubboden die Eisterblichkeit (osmotisch durch Wasserentzug) beträchtlich erhöht (KÖHLER 1984). Auch das nahezu völlige Fehlen von Ensifera-Arten während der Immissionsphase läßt sich mit einer höheren, wenngleich unbekanntem Empfindlichkeit gegenüber Abstäuben erklären. Da sie ihre Eier einzeln und nicht in schützender Schaumsekrethülle in den Boden (oder in Pflanzen) ablegen und eine teils mehrjährige Embryonalentwicklung haben (Eier können so sehr lange den andersartigen chemischen Verhältnissen ausgesetzt sein), reagieren sie unmittelbar auf Änderungen in der Bodenchemie. Als ein Ausdruck von Streß wird auch eine verstärkte **Fluktuierende Asymmetrie** (der Rechts-Links-Maße symmetrischer Körperteile) vermutet, was ebenfalls am Beispiel zweier Gomphocerinae (*Ch. parallelus*, *Ch. albomarginatus*) untersucht wurde. Doch Populationen beider Arten aus dem Immissionsgebiet Steudnitz unterschieden sich in der Asymmetrie der einbezogenen Tegmina-, Alae- und Postfemurlänge nicht signifikant von Populationen unbelasteter Flächen im Jenaer Raum (JENTZSCH 2000, JENTZSCH et al. 2003).

Als **indirekte Einwirkungen** der Abstäube werden solche angesehen, die infolge der Immissionen (bzw. deren Rückgangs) zum einen den Bodenchemismus, zum anderen die Vegetationszusammensetzung ändern. Kam es doch zunächst durch die hohe Staubbelastung nicht nur zur Ausbildung stabiler Monozöosen, sondern auch zu einem Stopp der Sukzession, wobei schon Jahre vorher der Baumbestand unwiderruflich zerstört war (HEINRICH 1984). Seit den 1990er Jahren ging dann im unteren Katenabereich die Deckung der ehemals vorherrschenden Gräser zugunsten aufwachsender ruderaler Kräuter immer weiter zurück, während im oberen Hangabschnitt die Verbuschung voranschritt. Damit änderten sich in wenigen Jahren Biotopstruktur (Raumwiderstand), Nahrungsangebot und Mikroklima in rascher Folge, was Arthropodenarten in ganz unterschiedlicher Weise tolerieren können und damit eine geradezu undurchschaubare Dynamik in Gang gesetzt wird. Ein bevorzugtes **Aufenthaltsverhalten** von Gomphocerinae in unterschiedlich hohen und dichten Rasen zeigten die Untersuchungen an Grenz- und Übergangsflächen zwischen vegetationsfreiem Boden, Salzschwaden und Quecke. Während *Ch. biguttulus* auf nahezu vegetationsfreiem Boden und dann wieder im Queckenrasen bevorzugt auftrat, war *Ch. apricarius* mehr im Übergangsbereich zwischen *Puccinellia* und *Elymus* zu finden. Ähnliche Muster fanden sich auch bei verschiedenen Zikaden- und Laufkäferarten, während sich die Zweiflügler bevorzugt im Salzschwaden aufhielten (PERNER et al. 1996). Auch der **Nahrungsaspekt** dürfte bei Phytophagen (Spezialisten wie Generalisten) eine wichtige Rolle spielen. So kam es in der Immissionsphase zu einem zweimaligen, wenn auch dann schwächeren Austreiben von *Puccinellia* (NAUMANN 1984), während *Elymus* ständig bis in den Herbst hinein grüne Biomasse nachbildete (RETHETTER 1987), was das Nahrungsangebot für Phytophage (wie Caelifera, Aphidina, Auchenorrhyncha und viele Heteroptera) phänologisch erheblich erweiterte. Im Laufe der Regeneration verschwanden jedoch mit dem Rückgang des Salzschwadens allmählich auch seine pflanzensaftaugenden Bewohner, wie Blatt- und Schildläuse.

Abschließend dürfte klar geworden sein, daß im Zuge von Immission und Regeneration sowie in einem Vegetationsmosaik von ein- und vielartigem Grasland die Heuschrecken- wie auch andere Arthropodenarten und deren Populationen einer beträchtlichen Dynamik unterliegen, die kaum mit generalisierenden Hypothesen zu erklären sein dürfte.

## 6. Danksagung

Die Arbeiten im Immissionsgebiet Steudnitz wurden maßgeblich von Dr. Wolfgang Heinrich initiiert, zusammen mit Doz./Prof. Dr. Gerhard Schaller und Doz./Prof. Dr. Rudolf Bährmann wissenschaftsorganisatorisch vorbereitet und über all die Jahre engagiert gefördert und unterstützt. Im Zeitraum 1978–1996 wurden die aufwendigen Jahreserhebungen von Mitarbeitern des Wissenschaftsbereichs bzw. Instituts für Ökologie (ab 1990) durchgeführt. Dabei zeichnete Dr. W. Heinrich für Abiotik, Elementanalysen und Vegetationsaufnahmen (teils mit Dr. Rolf Marsteller) verantwortlich, Dr. Winfried Voigt und PD/Dr. Jörg Perner besorgten 1990–96 fast sämtliche Kescherfänge und BF-Leerungen, während die technischen Arbeiten über viele Jahre in den Händen von Jürgen Heyer (†), Bärbel Fabian und Ingrid Jakobi lagen. Im Rahmen ihrer Qualifizierungsarbeiten erfaßten Burkhard End (1981), Jörg Weipert (1986), Bernd Rether (1987) und Jan Rothe (2003) auch Heuschrecken, die für eine weitere Bearbeitung zur Verfügung gestellt wurden. Die Heuschrecken an Grenzflächen beider Monozöosen untersuchten Jörg Samietz und Klaus Reinhardt. Dr. Jan Rothe machte weiteres BF-Material aus einem Störungsexperiment (mit Dr. Markus Wagner, Wallingford, U.K.) verfügbar und gab ausführliche Erläuterungen zum Design. Der Publikation von HEINRICH et al. (2001) wurde Abb. 1 entnommen, während Abb. 2 Dr. Winfried Voigt zur Verfügung stellte. Dagegen wurden die von Dr. Carsten Renker (Mainz) bereitgestellten Geländefotos aus seiner Dissertation leider nicht verwendet. Dipl.-Ing. Bernd Flähmig (damals Leitender Ingenieur im Steinbruch Steudnitz) machte Kopien von sonst nicht beschaffbaren Unterlagen zur Steinbruch- und Werksgegeschichte zugänglich. Dr. Höser (Altenburg/Mauritianum) nahm den etwas längeren Beitrag freundlicherweise in die *Mauritiana* auf.

## 7. Literatur

Die aufgeführten Qualifizierungsarbeiten befinden sich im Institut für Ökologie (FSU Jena) und können dort eingesehen werden.

- ALSTAD, D. N.; EDMUNDS, G. F. & L. H. WEINSTEIN (1982): Effects of air pollutants on insect populations. – *Ann. Rev. Entomol.* **27**, 369–384.
- ANKE, M.; SCHÄLLER, G.; KNORRE, D. v.; KRÄMER, K.; GLEI, M.; DORN, W. & M. KMINIAK (1992): Die Auswirkungen der Emissionen eines Phosphatwerkes im Mittleren Saaletal auf die Zusammensetzung der Flora und Fauna. 4. Mitteilung: Der Mengenelementgehalt (Asche, P, Ca, Mg, K, Na) verschiedener Mäuse- und Spitzmausarten. – In: ANKE, M. et al. (Hrsg.): Mengen- und Spurenelemente. 12. Arbeitstagung, Universität Jena, 473–482.
- ARNOLD, O. & H.-M. HEMPEL (1985): Die Arthropodenfauna der Gehölze im Immissionsgebiet Steudnitz. – Unveröff. Diplomarbeit, FSU Jena/WB Ökologie, 93 S.
- BÄHRMANN, R. (1982): Zum Vorkommen sogenannter halophiler Dipteren-Arten in einem industriell belasteten Immissionsgebiet. – *Ent. Nachr. Ber.* **26**, 75–78.
- BÄHRMANN, R. (1985): Untersuchungen zur Diversität und Stabilität der Dipterenfauna einer naturnahen und einer anthropogen beeinflussten Rasenkatena bei Jena/Thüringen. – *Zool. Jb. Syst.* **112**, 235–248.
- BÄHRMANN, R. (1987): Untersuchung der Dipterenfauna in natur- und industrienahen Rasenbiotopen Thüringens (DDR) mittels Bodenfallen (Diptera Brachycera). – *Dtsch. Ent. Ztschr., N.F.* **34**, 85–105.
- BÄHRMANN, R. (1988): Über den Einfluß von Luftverunreinigungen auf Ökosysteme. XIV. Öko-faunistische Untersuchungen an Zweiflüglern (Diptera Brachycera) industrienaher *Agropyron*- und *Puccinellia*-Rasen bei Jena/Thüringen. – *Zool. Jb. Syst.* **115**, 49–68.
- BÄHRMANN, R. (1989a): Zur Struktur der Dipteren-Fauna (Diptera Brachycera) in durch Industrie-Emissionen belasteten Rasenökosystemen. – *Verh. SIEEC, Gotha 1986*, 92–95.
- BÄHRMANN, R. (1989b): Zur Stabilität der Arthropodenfauna in natur- und industrienahen Rasenökosystemen. – *Zool. Jb. Syst.* **116**, 255–275.
- BÄHRMANN, R. (2000): Betriebsstilllegung eines Düngemittelwerkes und Faunenveränderung am Beispiel der Zweiflügler (Diptera Brachycera). – *Thür. Faun. Abh.* **VII**, 267–285.
- BÄHRMANN, R. & R. BELLSTEDT (2008): Zur Dipterenfauna (Insecta) mitteldeutscher, insbesondere thüringischer Salzstellen – ein Beitrag zur Insektenfauna gefährdeter Lebensraumtypen. – *Abh. Ber. Mus. Nat. Gotha* **25**, 63–86.

- BUSSE, CH. (1982): Die Verbreitung geschädigter Bäume im Gebiet um Steudnitz. – Unveröff. Diplomarbeit, FSU Jena/WB Ökologie, 42 S.
- EGGERS, T. (1997): Der Einfluß des Immissionsgradienten eines Phosphatdüngemittelwerkes auf die Raum-Zeit-Verteilung und Populationsdynamik der Isopodontaxozönose in einem Rasenökosystem. – Unveröff. Diplomarbeit, FSU Jena/Institut f. Ökologie, 52 S., Anhang.
- END, B. (1981): Beitrag zur Strukturanalyse von *Agropyron*-Rasen auf unterschiedlichen Standorten. – Unveröff. Diplomarbeit, FSU Jena/WB Ökologie, 84 S.
- FRITZLAR, F. (1985): Untersuchungen an Collembolen im Immissionsgebiet eines Düngemittelwerkes. – Unveröff. Diplomarbeit, FSU Jena/WB Ökologie, 72 S.
- FRITZLAR, F.; DUNGER, W. & G. SCHÄLLER (1986): Über den Einfluß von Luftverunreinigungen auf Ökosysteme. X. Collembola im Immissionsgebiet eines Phosphat-Düngemittelwerkes. – *Pedobiologia* **29**, 413–434.
- GÖTZ, W. (1965): Orthoptera, Geradflügler. In: BROHMER, P., EHRMANN, P. & G. ULMER (Hrsg.): Die Tierwelt Mitteleuropas. Insekten 1. Teil. – Quelle & Meyer, Leipzig, 71 S.
- HEINRICH, W. (1981a): Über den Einfluß von Luftverunreinigungen auf Ökosysteme. I. Literaturübersicht. – *Wiss. Ztschr. FSU Jena, Naturwiss. R.* **30(5)**, 621–634.
- HEINRICH, W. (1981b): Über den Einfluß von Luftverunreinigungen auf Ökosysteme. II. Literaturzusammenstellung. – *Wiss. Ztschr. FSU Jena, Naturwiss. R.* **30(5)**, 635–644.
- HEINRICH, W. (1981c): Floristisch-vegetationskundliche Untersuchungen im Immissionsgebiet von Dorndorf-Steudnitz (Kreis Jena-Land). – Unveröff. Msk., Jena.
- HEINRICH, W. (1984): Über den Einfluß von Luftverunreinigungen auf Ökosysteme III. Beobachtungen im Immissionsgebiet eines Düngemittelwerkes. – *Wiss. Ztschr. FSU Jena, Naturwiss. R.* **33(3)**, 251–289.
- HEINRICH, W. (1985): Bemerkungen zum binnenländischen Vorkommen des Salzschwadens (*Puccinellia distans* (Jacq.) Parl.). – *Haussknechtia* **1** (1984), 27–41.
- HEINRICH, W. & R. MARSTALLER (1998): Naturräumliche Verhältnisse des Leutratales. – In: HEINRICH, W.; MARSTALLER, R.; BÄHRMANN, R.; PERNER, J. & G. SCHÄLLER (1998): Das Naturschutzgebiet „Leutratal“ bei Jena – Struktur- und Sukzessionsforschung in Grasland-Ökosystemen. – *Naturschutzreport, Jena* **14**, 14–25.
- HEINRICH, W.; MARSTALLER, R.; BÄHRMANN, R.; PERNER, J. & G. SCHÄLLER (1998): Das Naturschutzgebiet „Leutratal“ bei Jena – Struktur- und Sukzessionsforschung in Grasland-Ökosystemen. – *Naturschutzreport, Jena* **14**, 1–424.
- HEINRICH, W.; PERNER, J. & R. MARSTALLER (2001): Regeneration und Sekundärsukzession – 10 Jahre Dauerflächenuntersuchungen im Immissionsgebiet eines ehemaligen Düngemittelwerkes. – *Z. Ökol. Naturschutz* **9**, 237–253.
- HEINRICH, W. & G. SCHÄLLER (1987): Über den Einfluß von Luftverunreinigungen auf Ökosysteme. XI. Veränderungen von Ökosystemstrukturen im Einflußbereich eines Düngemittelwerkes. – *Hercynia, N.F.* **24**, 328–334.
- INGRISCH, S. (1977): Beitrag zur Kenntnis der Larvenstadien mitteleuropäischer Laubheuschrecken (Orthoptera: Tettigoniidae). – *Z. angew. Zool., N.F.* **64**, 459–501.
- JENTZSCH, A. (2000): Fluctuating asymmetry in grasshoppers – is it feasible to measure stress? – Unveröff. Diplomarbeit, FSU Jena/Institut f. Ökologie, 61 S.
- JENTZSCH, A.; KÖHLER, G. & J. SCHUMACHER (2003): Environmental stress and fluctuating asymmetry in the grasshopper *Chorthippus parallelus* (Acrididae: Gomphocerinae). – *Zoology* **106(2)**, 117–125.
- KOCH, H. G. (1953): Wetterheimatkunde von Thüringen. – VEB Gustav Fischer Verlag, Jena, 190 S.
- KÖHLER, G. (1984): Über den Einfluß von Luftverunreinigungen auf Ökosysteme. VI: Untersuchungen zur Einwirkung von Industriestaub auf Feldheuschrecken (Orthoptera: Acrididae). – *Wiss. Ztschr. FSU Jena, Naturwiss. R.* **33(3)**, 321–328.
- KÖHLER, G. (1987a): Die quantitative Erfassung von Feldheuschrecken (Saltatoria: Acrididae) in zentral-europäischen Halbtrockenrasen – ein Methodenvergleich. – *Wiss. Ztschr. FSU Jena, Naturwiss. R.* **36(3)**, 375–390.
- KÖHLER, G. (1987b): Die Verbreitung der Heuschrecken (Saltatoria) im Mittleren Saaletal um Jena (Thüringen) – Bestandsaufnahme und Faunenveränderung in den letzten 50 Jahren. – *Wiss. Ztschr. FSU Jena, Naturwiss. R.* **36(3)**, 391–435.
- KÖHLER, G. (1988): Persistenz und Genese von Heuschrecken-Assoziationen (Orthoptera: Acrididae) in zentral-europäischen Rasenökosystemen. – *Zool. Jb. Syst.* **115**, 303–327.
- KÖHLER, G. (1989): Zur Phänologie, Abundanzdynamik und Biotopbindung rasenbewohnender Laubheuschrecken (Saltatoria: Tettigonioidea) im mittleren Saaletal bei Jena (Thüringen). – *Wiss. Ztschr. FSU Jena, Naturwiss. R.* **38(4/5)**, 543–561.
- KÖHLER, G. (1998): Heuschrecken – Ensifera et Caelifera. – In: HEINRICH, W.; MARSTALLER, R.; BÄHRMANN, R.; PERNER, J. & G. SCHÄLLER (1998): Das Naturschutzgebiet „Leutratal“ bei Jena – Struktur- und Sukzessionsforschung in Grasland-Ökosystemen. – *Naturschutzreport, Jena* **14**, 154–172.

- KÖHLER, G. (2006): Die Röhrenschildlaus *Ortheziola vej dovskiyi* Šulc, 1895 im Immissionsgebiet eines Phosphatwerkes in Thüringen (Insecta: Coccina, Ortheziidae). – Thür. Faun. Abh. **XI**, 65–72.
- KÖHLER, G. & M. GÜTH (2006): Der Gemeine Ohrwurm, *Forficula auricularia* Linnaeus 1758, in Luftflekturen auf Agrarflächen der mittleren Unstrut-Aue in Thüringen (Insecta: Dermaptera, Forficulidae). – Thür. Faun. Abh. **XI**, 55–64.
- KÖHLER, G. & A. KOPETZ (2007): Die Jahresaktivität des Gemeinen Ohrwurms, *Forficula auricularia* Linnaeus 1758, auf einem Kalktrockenrasen (Insecta: Dermaptera). – Thür. Faun. Abh. **XII**, 137–141.
- KÖHLER, G. & J. NAUMANN (1986): Life-history investigations in *Trionymus perrisii* (Signoret) (Coccoidea: Pseudococcidae). – Zool. Jb. Syst. **114**, 65–82.
- KÖHLER, G.; PERNER, J. & J. SCHUMACHER (1999): Grasshopper population dynamics and meteorological parameters – lessons from a case study. – *Ecography* **22**(2), 205–212.
- KÖPPLER, K. (1997): Phänologische Untersuchungen an blütenbesuchenden Insekten in industrienahen Graslandökosystemen. – Unveröff. Diplomarbeit, FSU Jena/Institut f. Ökologie, 117 S., voluminöser Anhang.
- KRIEGER, C. (1983): Untersuchungen zum Farbpolymorphismus von *Neottitura bimaculata* im Mittleren Saaletal. – Unveröff. Diplomarbeit, FSU Jena/WB Ökologie, 84 S.
- LANGER, U. (1999): Bodenbiologische Zustandsanalyse eines Grasland-Ökosystems im Emissionsgebiet des ehemaligen Phosphat-Düngemittelwerkes Steudnitz anhand ausgewählter chemisch-physikalischer und mikrobiologischer Parameter. – Inaugural-Diss., FSU Jena/Biologisch-Pharmazeutische Fakultät, 99 S., Anhang.
- MARSTALLER, R. (1987): Zur Beeinflussung einiger Moosgesellschaften durch Luftverunreinigungen. 26. Beitrag zur Moosvegetation Thüringens. – *Hercynia*, N.F. **24**, 279–297.
- MEINHARDT, J. (1985): Zur Verbreitung der Zikade *Eurybregma nigrolineata* Scott im mittleren Saaletal links der Saale. – Unveröff. Diplomarbeit, FSU Jena/WB Ökologie, 38 S.
- METZNER, K. (2001): Zur Saprophyten-Umwelt-Beziehung entlang eines Schadstoffgradienten in einem Graslandökosystem am Beispiel der Nematocera (Insecta: Diptera). – Inaugural-Diss., FSU Jena/Biologisch-Pharmazeutische Fakultät.
- METZNER, K.; FRIEDRICH, Y. & G. SCHÄLLER (1997): Bodenparameter eines Immissionsgebietes vor und nach der Schließung eines Düngemittelwerkes (1979–1997). – *Beitr. Ökol.*, Jena **3**, 51–75.
- MÜLLER, H. J. (1985): Über den Einfluß von Luftverunreinigungen auf Ökosysteme. VII: Zikaden als Zeigerarten für immissionsbelastete Rasenökosysteme. – *Wiss. Ztschr. FSU Jena, Naturwiss. R.* **34**(4), 491–502.
- MÜLLER, H. J.; BÄHRMANN, R.; HEINRICH, W.; MARSTALLER, R.; SCHÄLLER, G. & W. WITSACK (1978): Zur Strukturanalyse der epigäischen Arthropodenfauna eines Rasen-Katena durch Kescherfänge. – *Zool. Jb. Syst.* **105**, 131–184.
- NAUMANN, J. (1984): Abundanzdynamik und Biomasse-Umsatz des *Puccinellia distans*-Aphiden-Coccinelliden-Komplexes. – Unveröff. Diplomarbeit, FSU Jena/WB Ökologie, 53 S.
- NAUMANN, J. & G. SCHÄLLER (1986): Über den Einfluß von Luftverunreinigungen auf Ökosysteme. IX. Abundanz-Dynamik und Biomasse-Umsatz des *Puccinellia distans*-Aphiden-Coccinelliden-Komplexes. – *Zool. Jb. Syst.* **113**, 111–123.
- NOACK, B. (1982): Qualitative und quantitative Erfassung der Evertebratenfauna von *Puccinellia distans* an Sproß und Wurzel. – Unveröff. Diplomarbeit, FSU Jena/WB Ökologie, 79 S.
- OSCHMANN, M. (1969): Bestimmungstabellen für die Larven mitteleuropäischer Orthopteren. – *Dtsch. Ent. Z.*, N.F. **16**, 277–291.
- PERNER, J.; REINHARDT, K. & J. SAMETZ (1996): Häufigkeitsmuster von Arthropoden an Grenzflächen immissionsbelasteter Rasengesellschaften. – *Beitr. Ökol.*, Jena **2**, 33–50.
- PERNER, J.; VOIGT, W.; BÄHRMANN, R.; FABIAN, B.; GREGOR, K.; HEINRICH, W.; LICHTER, D.; MARSTALLER, R.; SANDER, F. W. & T. H. JONES (2003): Responses of arthropods to plant diversity: changes after pollution cessation. – *Ecography* **26**, 788–800.
- PETER, H.-U. (1979): Zikaden als Indikatoren für anthropogene Einflüsse. – *Int. Workshop on Bioindication*, Halle, Abstracts, 145.
- PETER, H.-U. (1984): Über den Einfluß von Luftverunreinigungen auf Ökosysteme. IV. Isopoda, Diplopoda, Chilopoda, Collembola und Auchenorrhyncha aus Bodenfallenfängen in der Umgebung eines Düngemittelwerkes. – *Wiss. Ztschr. FSU Jena, Naturwiss. R.* **33**(3), 291–307.
- RENKER, C. (2003): Optimization and application of molecular ecological methods to analyze mycorrhizal and other soil fungi in the perspective to study their function for ecosystem restoration. – Inaugural-Diss., FSU Jena/Biologisch-Pharmazeutische Fakultät, 162 S.
- RETHNER, B. (1987): Phänologie und Biomasseumsatz von Produzenten und Konsumenten in einem *Agropyron repens* Bestand. – Unveröff. Diplomarbeit, FSU Jena/WB Ökologie, 102 S.
- ROTHE, J. (2003): Trophic interactions as indicators of ecosystem regeneration in disturbed grassland – a stable isotope approach. – Inaugural-Diss. FSU Jena/Biologisch-Pharmazeutische Fakultät, 132 pp., Appendix.

- SANDER, F. (1984): Über den Einfluß von Luftverunreinigungen auf Ökosysteme. V. Untersuchungen über die Käferfauna (Coleoptera) durch Bodenfallenfänge in einem Immissionsgebiet. – *Wiss. Ztschr. FSU Jena, Naturwiss. R.* **33**(3), 309–320.
- SCHÄLLER, G. (1985): Untersuchungen zur Struktur und Funktion von naturnahen und immissionsbelasteten Grasland-Ökosystemen. – *Wiss. Ztschr. FSU Jena, Naturwiss. R.* **34**(4), 475–490.
- SCHÄLLER, G.; BÄHRMANN, R.; HEINRICH, W.; SANDER, F. & W. VOIGT (1987): Über den Einfluß von Luftverunreinigungen auf Ökosysteme. XII. Untersuchungen zur Stabilität und Belastbarkeit von Grasland-Ökosystemen. – *Wiss. Ztschr. FSU Jena, Naturwiss. R.* **36**(3), 323–338.
- SCHÄLLER, G.; BÄHRMANN, R. & G. KÖHLER (2007): Die Entwicklung des Institutes für Ökologie an der Friedrich-Schiller-Universität Jena. In: HOSSFELD, U.; KAISER, T. & H. MESTRUP, Hrsg., Hochschule im Sozialismus. Studien zur Geschichte der Friedrich-Schiller-Universität Jena (1945–1990), Bd. 2. – Böhlau-Verlag, Köln, Weimar, Wien, 1233–1252.
- SCHÄLLER, G. & G. KÖHLER (2009): Industrial albinism in females of a webspider, *Neottiura bimaculata* (L.) (Araneae: Theridiidae) – insights from a long-term field study, 1981–2006. – *Acta Soc. Zool. Bohem.* **72** (3–4), 2008, (issued 12. 10. 2009), 217–226.
- SCHMIDT, G. H. (1987): Adaptation of Saltatoria to various climatic factors with regard to their survival in different geographical regions. In: BACCETTI, B. M., ed., *Evolutionary Biology of Orthopteroid Insects.* – Ellis Harwood Ltd., Publs, Chichester et al., 550–565.
- SCHMITZ, J.; MERZ, A. & H. KASPER (1980): Verfahrenstechnische Untersuchungen an einem Rhenania-Phosphat-Drehofen mit radioaktiven Indikatoren. – *Chem.-Techn.* **5**, 229–236.
- VOGLER, J. & H.-J. GEBAUER (1980): Analyse der Auswirkungen der industriellen Produktion auf die Umwelt – dargestellt am Beispiel des VEB Chemiewerk Coswig/Betriebsteil Steudnitz. – Unveröff. Msk., 34 S. (zit. Heinrich 1984).
- VOIGT, W. (1985): Über den Einfluß von Luftverunreinigungen auf Ökosysteme. VII: Die Wanzenfauna (Hemiptera, Heteroptera) im Immissionsgebiet eines Düngemittelwerkes – *Wiss. Ztschr. FSU Jena, Naturwiss. R.* **34**(4), 503–516.
- VOIGT, W. (1987): Über den Einfluß von Luftverunreinigungen auf Ökosysteme. XIII. Zur Beta-Diversität im Rahmen von Stabilitätsanalysen. – *Wiss. Ztschr. FSU Jena, Naturwiss. R.* **36**(3), 339–348.
- VOIGT, W. & J. PERNER (2004): Functional Group Interaction Patterns Across Trophic Levels in a Regenerating and a Seminalural Grassland. In: TEMPERTON, V. M. et al. (eds.), *Assembly Rules and Restoration Ecology. Bridging the Gap between Theory and Practice.* – Island Press, Washington et al., 156–188.
- VOIGT, W.; PERNER, J.; DAVIS, A. J.; EGGERS, T.; SCHUMACHER, J.; BÄHRMANN, R.; FABIAN, B.; HEINRICH, W.; KÖHLER, G.; LICHTER, D.; MARSTALLER, R. & F. W. SANDER (2003): Trophic levels are differentially sensitive to climate. – *Ecology* **84**, 2444–2453.
- WAGNER, M. (2003): Patterns and Mechanisms of Plant Community Assembly in an Industrially Degraded Ecosystem. – Inaugural-Diss., Friedrich-Schiller-Universität Jena/Biologisch-Pharmazeutische Fakultät, 94 pp., Appendix.
- WAGNER, M.; HEINRICH, W. & G. JETSCHKE (2006): Seed bank assembly in an unmanaged ruderal grassland recovering from long-term exposure to industrial emissions. – *Acta Oecologica* **30**, 342–352.
- WEGENER, CH. (1996): Serologische Untersuchungen zum Nachweis der Prädatoren von *Notostira elongata* (Geoffroy) 1785 (Heteroptera, Miridae), einer dominanten Wanzenart in Rasenökosystemen des Immissionsgebietes Steudnitz. – Unveröff. Diplomarbeit, FSU Jena/Institut f. Ökologie, 60 S.
- WEIPERT, J. (1986): Die Chloropidae (Insecta: Diptera) immissionsbedingt einartiger Rasenbiotope. – Unveröff. Diplomarbeit, FSU Jena/WB Ökologie, 102 S., Anlagen.
- WEIPERT, J. & R. BÄHRMANN (1989): Die Chloropidenfauna (Diptera, Chloropidae) immissionsgeschädigter Rasenbiotope im Saaletal bei Jena (Thür.). XV. Beitrag über den Einfluß von Luftverunreinigungen auf Ökosysteme. – *Beitr. Ent.* **39**, 279–317.
- WEISE, G. & W. SCHILLING (1997): Von Alabaster bis Zement. Bodenschätze und ihre Nutzung im Raum Jena. Ein historischer Überblick. – Heinrich-Jung-Verlagsgesellschaft mbH, Zella-Mehlis/Meiningen, 207 S.
- WITSACK, W. (1975): Eine quantitative Keschermethode zur Erfassung der epigäischen Arthropoden-Fauna. – *Ent. Nachr., Dresden* **8**, 123–128.
- ZÜNDORF, H.-J.; GÜNTHER, K.-F.; KORSCH, H. & W. WESTHUS (2006): Flora von Thüringen. Die wildwachsenden Farn- und Blütenpflanzen Thüringens. – Weissdorn-Verlag Jena, 764 S.

Eingegangen am 31. 08. 2009

PD Dr. habil. GÜNTER KÖHLER, Friedrich-Schiller-Universität Jena, Institut für Ökologie, Dornburger Str. 159, D-07743 Jena, E-Mail: Guenter.Koehler@uni-jena.de

Anhang I

Heuschrecken aus quantitativen Kescherfängen entlang einer Hangkatena (Unten, Mitte, Oben) im Immissionsgebiet des Düngemittelwerkes Steudnitz, 1992 (12 Termine, 1058 Ind.), 1993 (13 T., 922 Ind.), 1994 (12 T., 389 Ind.), 1995 (11 T., 175 Ind.), 1996 (10 T., 405 Ind.). Artkürzel siehe Tab. 5; D – Dominanz (nur von sicher determinierten Individuen), Fett – jeweils hochdominante Arten.

Art/PG 1992	Unten		Mitte		Oben	
	n	D	n	D	n	D
<b>Caelifera</b>						
<i>alb</i>	117	39%	34	<b>57%</b>	7	13%
<i>apr</i>	4	1%	8	13%	9	17%
<i>big</i>	181	<b>60%</b>	11	18%	7	13%
<i>big/apr</i>	292		10		11	
<i>par</i>	–		5	8%	26	<b>50%</b>
<i>ruf</i>					3	7%
indet	255		4		72	
<b>Ensifera</b>						
<i>can</i>						
<i>fal</i>						
<i>gri</i>						
<i>roe</i>	–	–	2	4%	–	–
<i>vir</i>						
<i>vir/can</i>						
<b>Gesamt</b>	849		74		135	
sicher det.	302	100%	60	100%	52	100%
n/100 DS	84		8,2		15,7	

Art/PG 1993	Unten		Mitte		Oben	
	n	D	n	D	n	D
<b>Caelifera</b>						
<i>alb</i>	152	<b>61%</b>	28	26%	8	8%
<i>apr</i>	13	5%	14	13%	19	19%
<i>big</i>	82	33%	11	10%	7	7%
<i>big/apr</i>	126		9		21	
<i>par</i>	1	1%	18	17%	55	<b>56%</b>
<i>ruf</i>	–	–	–	–	3	3%
indet	241		15		61	
<b>Ensifera</b>						
<i>can</i>	–	–	–	–	–	–
<i>fal</i>	–	–	–	–	–	–
<i>gri</i>	–	–	3	3%	–	–
<i>roe</i>	–	–	33	<b>31%</b>	7	7%
<i>vir</i>	–	–	–	–	–	–
<i>vir/can</i>	–	–	1	–	–	–
<b>Gesamt</b>	615		132		181	
sicher det.	248	100%	107	100%	99	100%
n/100 DS	47		10		14	

Art/PG 1994	Unten		Mitte		Oben	
	n	D	n	D	n	D
<b>Caelifera</b>						
<i>alb</i>	11	22%	22	16%	2	4%
<i>apr</i>	–	–	4	3%	6	13%
<i>big</i>	36	<b>72%</b>	–	–	2	4%
<i>big/apr</i>	31		6		18	
<i>par</i>	–	–	5	4%	17	<b>36%</b>
<i>ruf</i>	–	–	–	–	2	4%
indet	51		19		29	
<b>Ensifera</b>						
<i>can</i>	–	–	–	–	–	–
<i>fal</i>	–	–	2	1,5%	–	–
<i>gri</i>	–	–	–	–	–	–
<i>roe</i>	1	2%	102	<b>74%</b>	16	<b>33%</b>
<i>vir</i>	2	4%	2	1,5%	3	6%
<i>vir/can</i>	–	–	–	–	–	–
<b>Gesamt</b>	132		162		95	
sicher det.	50	100%	137	100%	48	100%
n/100 DS	11		14		8	

Art/PG 1995	Unten		Mitte		Oben	
	n	D	n	D	n	D
<b>Caelifera</b>						
<i>alb</i>	6	20%	11	15%	1	3%
<i>apr</i>	2	7%	1	1%	1	3%
<i>big</i>	17	<b>59%</b>	2	3%	3	9%
<i>big/apr</i>	15		2		3	
<i>par</i>	2	7%	7	10%	9	<b>27%</b>
<i>ruf</i>	–	–	–	–	1	3%
indet	4		4		12	
<b>Ensifera</b>						
<i>can</i>	–	–	–	–	–	–
<i>fal</i>	–	–	3	4%	9	<b>27%</b>
<i>gri</i>	–	–	–	–	–	–
<i>roe</i>	–	–	46	<b>63%</b>	7	21%
<i>vir</i>	2	7%	3	4%	2	7%
<i>vir/can</i>	–	–	–	–	–	–
<b>Gesamt</b>	48		79		48	
sicher det.	29	100%	73	100%	33	100%
n/100 DS	4		7		4	

Art/PG 1996	Mitte		Oben	
	n	D	n	D
<b>Caelifera</b>				
<i>alb</i>	8	3%	1	1%
<i>apr</i>	3	1%	2	2%
<i>big</i>	7	3%	3	2%
<i>big/apr</i>	–		1	
<i>par</i>	40	17%	21	14%
<i>ruf</i>	1	0,5%	2	2%
indet	6		11	
<b>Ensifera</b>				
<i>can</i>	–	–	1	1%
<i>fal</i>	116	48%	52	35%
<i>gri</i>	–	–	–	–
<i>roe</i>	64	27%	63	43%
<i>vir</i>	1	0,5%	2	2%
<i>vir/can</i>	–	–	–	–
<b>Gesamt</b>	246		159	
sicher det.	240	100%	147	100%
n/100 DS	25		16	

#### Anhang II

Heuschrecken aus Bodenfallen entlang einer Hangkatena (Unten, Mitte, Oben) im Immissionsgebiet des Düngemittelwerkes Steudnitz, 1990–92 (2, 10, 14 Termine; N = 59, 176, 275), 1993–96 (14, 10, 7, 5 Termine; N = 130, 71, 7, 7), 2000 (9 Termine, N = 80), 2001 (10 Termine, N = 303). Artkürzel siehe Tabelle 5, D – Dominanz (nur von sicher determinierten Individuen), Fett – jeweils hochdominante Arten.

Art/PG 1990	Unten		Mitte		Oben	
	n	D	n	D	n	D
<b>Caelifera</b>						
<i>alb C.</i>	–		7	18%	3	27%
<i>apr</i>	5	56%	2	5%	–	
<i>big</i>	4	44%	30	77%	1	9%
<i>big/apr</i>						
<i>par</i>	–		–		7	64%
<i>ruf</i>						
<i>ten</i>						
indet						
<b>Ensifera</b>						
<i>alb P.</i>						
<i>roe</i>						
<b>Gesamt</b>	9		39		11	
sicher det.	9	100%	39		11	
n/100 DS						

Art/PG 1991	Unten		Mitte		Oben	
	n	D	n	D	n	D
<b>Caelifera</b>						
<i>alb C.</i>	8	9%	16	55%	14	26%
<i>apr</i>	4	5%	1	4%	2	5%
<i>big</i>	76	86%	7	24%	24	45%
<i>big/apr</i>					1	
<i>par</i>	-		5	17%	13	24%
<i>ruf</i>						
<i>ten</i>						
indet	4		-		1	
<b>Ensifera</b>						
<i>alb P.</i>						
<i>roe</i>						
<b>Gesamt</b>	92		29		55	
sicher det.	88	100%	29	100%	53	100%
n/100 DS						

Art/PG 1992	Unten		Mitte		Oben	
	n	D	n	D	n	D
<b>Caelifera</b>						
<i>alb C.</i>	24	14%	12	52%	12	31%
<i>apr</i>	15	9%	5	22%	3	7%
<i>big</i>	127	77%	6	26%	7	18%
<i>big/apr</i>	6				2	
<i>par</i>					15	38%
<i>ruf</i>					1	3%
<i>ten</i>					1	3%
indet	33		3		3	
<b>Ensifera</b>						
<i>alb P.</i>						
<i>roe</i>						
<b>Gesamt</b>	205		26		44	
sicher det.	166	100%	23	100%	39	100%
n/100 DS						

Art/PG 1993	Unten		Mitte		Oben	
	n	D	n	D	N	D
<b>Caelifera</b>						
<i>alb C.</i>	7	9%	–	–	1	6%
<i>apr</i>	5	6%	4	50%	6	33%
<i>big</i>	68	84%	3	38%	7	39%
<i>big/apr</i>	5	–	–	–	1	–
<i>par</i>	1	1%	–	–	4	22%
<i>indet</i>	14	–	–	–	1	–
<b>Ensifera</b>						
<i>alb P.</i>	–	–	–	–	–	–
<i>roe</i>	–	–	1	12%	–	–
<b>Gesamt</b>	100	–	8	–	20	–
sicher det.	81	100%	8	100%	18	100%
n/100 DS	–	–	–	–	–	–

Art/PG 1994	Unten		Mitte		Oben	
	n	D	n	D	N	D
<b>Caelifera</b>						
<i>alb C.</i>	1	3%	3	33%	–	–
<i>apr</i>	10	26%	2	22%	8	47%
<i>big</i>	26	65%	1	12%	–	–
<i>big/apr</i>	4	–	–	–	2	–
<i>par</i>	1	3%	–	–	9	53%
<i>indet</i>	–	–	–	–	–	–
<b>Ensifera</b>						
<i>alb P.</i>	1	3%	–	–	–	–
<i>roe</i>	–	–	3	33%	–	–
<b>Gesamt</b>	43	–	9	–	19	–
sicher det.	39	100%	9	100%	17	100%
n/100 DS	–	–	–	–	–	–

Art/PG 1995/96	Unten		Mitte		Oben	
	n	D	n	D	N	D
<b>Caelifera</b>						
<i>alb C.</i>						
<i>apr</i>	1	17%	–		–	
<i>big</i>	3	49%	–		–	
<i>big/apr</i>						
<i>par</i>	–		–		1	100%
<i>indet</i>	3		–		3	
<b>Ensifera</b>						
<i>alb P.</i>	1	17%				
<i>fal</i>	–		1	100%	–	
<i>gri</i>	1	17%	–		–	
<i>roe</i>						
<b>Gesamt</b>	9		1		4	
sicher det.	6	100%	1		1	
n/100 DS						

Art/PG 2000	Unten		Mitte		Oben	
	n	D	n	D	n	D
<b>Caelifera</b>						
<i>alb C.</i>						
<i>apr</i>	46	64%	1	17%	1	100%
<i>big</i>	12	17%	1	17%	–	
<i>big/apr</i>						
<i>par</i>	–		2	32%	–	
<i>ruf</i>	8	11%	1	17%	–	
<i>ten</i>	6	8%	1	17%	–	
<i>indet</i>	1		–		–	
<b>Ensifera</b>						
<i>alb P.</i>						
<i>roe</i>						
<b>Gesamt</b>	73		6		1	
sicher det.	72	100%	6	100%	1	100%
n/100 DS						

Art/PG 2001	U-1		U-2		U-3		U-4		U-5	
	n	D	n	D	n	D	n	D	n	D
<b>Caelifera</b>										
<i>alb C.</i>										
<i>apr</i>			2	5%	1	2%			1	2%
<i>big</i>	5	12%	17	50%	24	37%	13	24%	22	34%
<i>big/apr</i>										
<i>par</i>										
<i>ruf</i>	2	5%	1	4%	2	3%	3	5%	2	3%
<i>ten</i>	32	74%	10	28%	34	52%	33	60%	34	53%
<i>indet</i>	6		15		7		6		8	
<b>Ensifera</b>										
<i>ace</i>			1	4%						
<i>alb P.</i>	4	9%	2	5%	4	6%	5	9%	5	8%
<i>roe</i>			1	4%			1	2		
<b>Gesamt</b>	49		49		72		61		72	
sicher det.	43	100%	34	100%	65	100%	55	100%	64	100%
n/100 DS										