

Fördert die Ökologisierung der Landwirtschaft die Hornmoose im Schweizer Mittelland?

Schlussbericht zum Projekt "Monitoring von Hornmoos-Populationen in
ausgewählten Äckern des Schweizer Mittellandes" (VA-1232.00).

2008



Irene Bisang

Naturhistoriska riksmuseet, Box 50007, SE-104 05 Stockholm, Schweden. irene.bisang@nrm.se

Luc Lienhard

Waldrain 16, 2503 Biel. luc.lienhard@bluewin.ch

Ariel Bergamini

WSL, FE Biodiversität & Naturschutzbiologie, Zürcherstrasse 111, 8903 Birmensdorf.

ariel.bergamini@wsl.ch

Zusammenfassung

Traditionell bewirtschaftete Äcker beherbergen eine spezialisierte Flora, die an regelmässige Störungen durch Bewirtschaftung und Umbruch angepasst ist. Die Intensivierung der landwirtschaftlichen Praxis im Laufe des 20. Jahrhunderts führte dazu, dass sich die Standortbedingungen für viele Arten des Kulturlandes verschlechterten und manche Arten deshalb sehr selten wurden. Hornmoose, eine kleine und isolierte Entwicklungslinie der Moose, sind in der Schweiz mit drei Arten vertreten. Die Vorkommen des Schwarz- und des Gelb-Hornmooses (*Anthoceros agrestis*, *Phaeoceros carolinianus*) sind in Mitteleuropa weitgehend an Ackerland gebunden, und sind im Herbst in unbearbeiteten Stoppelfeldern optimal entwickelt. Untersuchungen von 1989 bis 1995 in ausgewählten Äckern des Schweizer Mittellandes ergaben, dass der Typ der Feldfrucht und die damit im Zusammenhang stehenden Ackerbaumethoden entscheidend sind, ob Hornmoose in einem Acker eine Population entwickeln. Um Effekte der allgemeinen Ökologisierung der Landwirtschaft seit Abschluss dieser Untersuchungen und des 1999 eingeführten ÖLN und damit verbundenen veränderten Bodenschutzauflagen auf die Vorkommen der beiden Hornmoosarten zu beurteilen, untersuchten wir jeweils im Herbst von 2005 bis 2007 dieselben 28 Felder erneut. Unsere Ergebnisse zeigen, dass die beiden Arten im Laufe der vergangenen 10 bis 13 Jahre im Untersuchungsgebiet tendenziell abgenommen haben. Diese Abnahme ist durch die Abnahme der Anzahl unbestellter Stoppelbrachen im Spätsommer/Herbst erklärbar. Die feucht-kühle Witterung im extrem niederschlagsreichen Sommer 2007 schien einen positiven Einfluss auf die Hornmoos-Vorkommen auszuüben. Hornmoos-Sporen können ungünstige Bedingungen während mindestens zwei (Gelb-Hornmoos) bzw. drei Jahren (Schwarz-Hornmoos) im Boden überdauern, doch scheint die passende Bewirtschaftung für die Entwicklung der Hornmoos-Populationen an der Oberfläche eine massgeblichere Rolle zu spielen als der Diasporenvorrat im Boden. Sollen die Hornmoose, insbesondere das in der Roten Liste aufgeführte Gelb-Hornmoos, im Agrarland des Schweizer Mittellandes längerfristig erhalten bleiben, sind gezielte Massnahmen zu deren Förderung notwendig. Da die Sporen der untersuchten Sippen langlebig sind, dürften kleinflächige Veränderungen in der Bewirtschaftung ausreichen. Folgende Massnahmen dürften zur Erhaltung der Hornmoos-Populationen beitragen:

- Ackerschonstreifen erst im Spätherbst umbrechen;
- Ausgewählte Getreidefelder mit Hornmoos-Vorkommen erst im Spätherbst umbrechen;
- Segetalflorastreifen.

Segetalflorastreifen fördern nachweislich einjährige Arten der Blütenpflanzen-Ackerflora, und wir erwarten einen positiven Effekt dieser Bewirtschaftungsform auf die ephemeren Hornmoos-Populationen. Ihre Wirksamkeit zur Förderung der Hornmoose und weiterer typischer Ackermoose sollte untersucht werden.

1 Einleitung

1.1 Die untersuchten Organismen

Die Hornmoose, eine isoliert stehende Entwicklungslinie der Moose von 100 bis 150 Arten, gehören zu den ältesten Landpflanzen (Goffinet, 2000). Die grösste Vielfalt findet man in tropischen Regionen. In Europa kommen nur wenige Arten vor, wovon drei (*Anthoceros agrestis* Paton, *A. punctatus* L., *Phaeoceros carolinianus* (Michx.) Prosk.) in der Schweiz. Eine davon (*A. punctatus*) ist lediglich aus dem Tessin bekannt (Bisang & Urmi, 2006). Auf der Alpennordseite wachsen das Schwarz-Hornmoos, *A. agrestis* (Abb. 1), und das seltenere Gelb-Hornmoos, *P. carolinianus* (Abb. 2), auf (schwach) sauren, lehmigen oder sandigen Böden an offenen Stellen, vor allem im Ackerland, und seltener an Wegböschungen und Grabenrändern (Bisang, 1992). Hornmoose sind in der Nordschweiz und in anderen Gebieten Mitteleuropas aus klimatischen Gründen meist einjährig, da sie Frost nicht überleben. Innerhalb weniger Monate im Spätsommer und Herbst durchlaufen sie ihren vollständigen Lebenszyklus von der Sporenkeimung zur –reife (Bisang, 1995b, 2004). Während die oberirdischen gametophytischen* Populationen kurzlebig sind, können die Sporen mehrere Jahre in einer Diasporenbank im Boden überdauern (Bisang, 1995a, 1996). Im Laufe des 20. Jahrhunderts gingen die Hornmoos-Populationen, insbesondere jene des Gelb-Hornmooses in verschiedenen Gebieten Mitteleuropas zurück (Bisang, 1992; Hofmann *et al.*, 2007). Das Gelb-Hornmoos wird in der roten Liste der Moose der Schweiz als "stark gefährdet" eingestuft (Schnyder, N *et al.*, 2004), und ist auch in den Roten Listen anderer europäischer Länder enthalten (Söderström, Urmi & Váňa, 2002; Söderström, Urmi & Váňa, 2007).



Abb. 1. Das Schwarz-Hornmoos (*Anthoceros agrestis*) in einem Acker des Schweizer Mittellandes

* Die Gametophyten der Moose sind die grünen Moospflänzchen, welche Gameten (Eizellen bzw. Spermatozoiden) bilden. Nach einer erfolgreichen Befruchtung beginnt der Sporophyt (die ungeschlechtliche Generation) zu wachsen und bildet eine einzige Kapsel, in der die Sporen (meist einzellige Ausbreitungseinheiten) gebildet werden. Der Sporophyt lebt mehr oder weniger parasitisch auf dem Gametophyten.

1.2 Ausgangslage und die Untersuchung 1989 – 1995

Als Folge der Sensibilisierung der Gesellschaft für das Thema Ökologie in den 70er und 80er Jahren und marktpolitischer Voraussetzungen fand und findet, von politischen und gesetzgeberischen Massnahmen unterstützt, eine zunehmende Ökologisierung und Entwicklung zu einer nachhaltigen Produktion in der Schweizerischen Landwirtschaft statt (z. B. Koordinationsstelle Biodiversitätsmonitoring der Schweiz, 2006; Popp, 2000). Das wesentlichste Instrument sind marktunabhängige Direktzahlungen, die letztlich eine Entflechtung von ökologischem und ökonomischem Verhalten der Bauern bewirken. Seit Beginn der 90er Jahre hat sich der Anteil von Flächen mit umweltschonender Bewirtschaftung an der landwirtschaftlichen Nutzfläche von 20% (1993) auf beinahe 100% im Jahre 2004 erhöht, wovon gut 10% biologisch bewirtschaftet werden (Anonymus, 2007). Am 1. Januar 1999 wurde im Rahmen der "Agrarpolitik 2002" der "ökologische Leistungsnachweis" (ÖLN) eingeführt. Um Direktzahlungen zu erhalten, verpflichtet sich der Landwirt zur Erfüllung einer Reihe von ökologischen Vorgaben (<http://www.blw.admin.ch/themen/00006/00049/index.html?lang=de>). Dazu gehört u. a. ein Anteil von mindestens 7% ökologischen Ausgleichsflächen (so genannte Ökoflächen) an der Betriebsfläche. Zur Zeit sind mehr als 10% der landwirtschaftlichen Nutzfläche, oder ca. 120'000 Hektaren, Ökoflächen (Anonymus, 2007). Für den Ackerbau relevant sind auch neue Bodenschutzauflagen, die 2005 in Kraft traten: Felder, in denen keine Winterfrucht geplant ist, müssen vor dem 15. September mit Zwischenfutter oder Gründüngung angesät werden, um die Stickstoff-Auswaschung zu reduzieren (Bundesrat, 2008). In jüngerer Zeit werden Ackerkulturen auch gelegentlich ohne vorherigen Umbruch angesät (pflugloser Ackerbau), wobei der Einsatz von Totalherbiziden auch auf Grünland erlaubt ist (Bundesrat, 2008); letztere können auch auf Stoppelfeldern nach der Ernte zur spezifischen Unkrautbekämpfung eingesetzt werden. Erste Auswertungen zeigen, dass ökologische Ausgleichsflächen gemässigt positive Auswirkungen auf die Erhaltung und die Förderung der Artenvielfalt im Agrarraum haben (Kleijn *et al.*, 2006). Bioflächen andererseits zeichnen sich durch eine höhere Vielfalt an Pflanzen, Tieren und Mikroorganismen aus (z. B. FiBL, 2001; Pfiffner, 2005). Die Situation der Organismen im Agrarraum ist also nicht nur abhängig von der Anzahl bzw. dem Flächenanteil der Ausgleichsflächen, sondern ebenso von deren Qualität, und von der Intensität der Bewirtschaftung der Produktionsflächen. Für bestimmte Arten mit spezifischen Ansprüchen scheinen weitere zielgerichtete Änderungen in der Bewirtschaftung und/oder der Pflege von ökologischen Ausgleichsflächen nötig (Herzog *et al.*, 2005; Kleijn *et al.*, 2006; Knop *et al.*, 2006).

Von 1989 bis 1995 wurden 28 Äcker im westlichen Mittelland, die in früheren Jahren aufgrund ihrer Hornmoos-Vorkommen ausgewählt worden waren (Anhang 1; 1989, 1990: 24 Äcker), jährlich im Herbst aufgesucht. Dabei wurden die Ackerkultur und die Bewirtschaftung des Feldes notiert und Vorkommen, Lage, Grösse und Zustand der Hornmoos-Populationen verzeichnet (s. Material und Methoden für Details). Die Untersuchungen ergaben, dass der Typ der Feldfrucht und die damit im Zusammenhang stehenden Bewirtschaftungsmethoden entscheidend sind, ob Hornmoose in einem Acker auftreten (Bisang, 1998). Am besten entwickelten sich die oberirdischen Hornmoos-Populationen im Herbst in unbearbeiteten Getreide-Stoppelfeldern ohne Einsaat.

1.3 Fragestellung

Jeweils im Herbst in den Jahren 2005 bis 2007 haben wir die ausgewählten Felder erneut untersucht, und mit der gleichen Methode die oben erwähnten Daten erhoben (s. Material und Methoden für Details). Dabei stand die Frage im Vordergrund, ob die allgemeine Ökologisierung der Landwirtschaft seit Abschluss der vorigen Untersuchungen, insbesondere der 1999 eingeführte ÖLN und damit verbundene veränderte Bodenschutz-Vorgaben, einen positiven Einfluss auf die Vorkommen und die Populationsentwicklung der beiden Hornmoosarten im Agrarland des schweizerischen Mittellandes haben, oder ob allenfalls weitere gezielte Massnahmen für deren Förderung nötig sind. Ausserdem interessierte uns, ob in den Untersuchungsfeldern ein Diasporenbank-Vorrat vorhanden ist, aus dem sich unter günstigen Bewirtschaftungsverhältnissen Gametophyten entwickeln könnten.



Abb. 2. Das Gelb-Hornmoos (*Phaeoceros carolinianus*) in einem Acker des Schweizer Mittellandes

2 Material und Methoden

2.1 Das Untersuchungsgebiet und der Ackerbau im Gebiet

Die Untersuchungsfelder liegen im westlichen Mittelland (Abb. 3). Das Klima ist kühl-gemässigt, mit einer Mitteltemperatur in Bern von -1.0°C im Januar, 17.5°C im Juli und einem mittleren Jahresniederschlag von 1028 mm (Mittelwerte 1961–1990; Quelle Meteo Schweiz). Fruchtfolgewirtschaft ist die gegenwärtig betriebene wie auch seit der ersten Agrarrevolution gegen Ende des 18. Jahrhunderts traditionelle Bewirtschaftungsform im Gebiet, in der zwischen Getreide (am häufigsten Weizen), Mais, Hackfrüchten und Grünland (Kunstpiesen oder als Weiden genutzte Wiesen) abgewechselt wird (Schnyder, A, 2008). Die gesamte landwirtschaftliche Nutzfläche hat sich seit Beginn des 20. Jahrhunderts wenig verändert (Schweizerischer Bauernverband, 2008; Baumann & Moser, 2008). Andererseits haben sich die Anbaumethoden seit der Nachkriegszeit im Bestreben nach Ertragsoptimierung und –steigerung, ausgelöst durch den Einsatz von Kunstdünger und chemischen Schädlingsbekämpfungsmitteln, wissenschaftlicher Züchtung und gesteigerter Mechanisierung, enorm gewandelt (Baumann, 2008; Popp, 2000; Tivy, 1993). So wird heutzutage, u.

a. bedingt durch die Entwicklung von früher reifenden Sorten, im Vergleich zur ersten Hälfte des vorigen Jahrhunderts deutlich früher geerntet: Getreide beispielsweise meistens schon im Juli (bis Anfang August), oder Kartoffeln von Juli bis September. Lediglich Mais, im Mittelland seit dem letzten Weltkrieg angebaut (Lehmann, 2003), wird erst im Oktober eingebracht; der exakte Erntezeitpunkt hängt davon ab, welche Pflanzenteile genutzt werden. Unmittelbar nach der Ernte oder sehr früh danach werden heute die Felder gepflügt, und nicht wie früher während Monaten, teilweise bis zum Anbau einer Frühlingsfrucht, brach liegen gelassen (pers. Beob.; F. Bisang, pers. Mitt.). Die insgesamt als Ackerland genutzte Fläche blieb seit den 90er Jahren in etwa konstant, doch fand innerhalb dieser eine Verlagerung des Anbaus von Getreide zu Kunstwiesen statt (Anonymus, 2007).

2.2 Felderhebungen und Datengrundlagen

Von 1989 bis 1995 und erneut von 2005 bis 2007 wurden 28 ausgewählte Äcker (1989 und 1990: 24 Äcker; geographische Daten s. Anhang 1; Abb. 3) jährlich jeweils im Herbst aufgesucht (20.–21. September 1989, 15.–16. Oktober 1990, 25. September / 14.–16. Oktober 1991, 28.–30. September 1992, 27.–29. September 1993, 3.–5. Oktober 1994, 26.–28. September 1995, 6.–8. Oktober 2005, 5.–7. Oktober 2006, 4.–6. Oktober 2007). Um den Einfluss von Witterungsverhältnissen auf das Vorkommen der Hornmoose berücksichtigen zu können, beschränkten wir die erneuten Erhebungen nicht bloss auf eine Saison (2005–2007).

Bei den Felderhebungen notierten wir die Bewirtschaftung und Feldfrucht folgendermassen: Getreide (ausser Mais) ohne Einsaat (i. Allg. Stoppelfelder zur Zeit der Beobachtung), Mais, Kartoffeln, Runkelrüben, Zwischenfrucht (z. B. Rübse in Stoppelfeld), Kunstwiese, als Weide genutztes Grünland, andere Bewirtschaftung (beobachtet: Raps, Sonnenblumen, Hülsenfrüchte, Zwiebeln), kürzlich gepflügte Felder. Jedes Feld suchten wir (2 Personen) während maximal 20 Minuten nach Hornmoosen ab. Ein durchschnittliches Feld im Untersuchungsgebiet (wie im übrigen Mittelland) ist heute in etwa ein bis zwei Hektaren gross. Im Folgenden bezeichnen wir, falls nicht anders vermerkt, mit "Hornmoos-Vorkommen" das Vorhandensein von Gametophyten vom Schwarz-Hornmoos (*A. agrestis*) und/oder vom Gelb-Hornmoos (*P. carolinianus*). Mit einer Ausnahme (Feld Nr. 2, 1995) wuchs das Gelb-Hornmoos stets in Begleitung vom Schwarz-Hornmoos. Wir schätzten die Grösse, d. h. die Ausdehnung der Fläche, auf der wir Hornmoose beobachteten (Klassen: $<1\text{dm}^2$, $1\text{dm}^2\text{--}1\text{m}^2$, $1\text{m}^2\text{--}100\text{m}^2$, $>100\text{m}^2$), und die Abundanz der Population (Anzahl Teilpopulationen oder "patches" in Klassen: <10 , $10\text{--}50$, >50). Für die vorliegende Auswertung unterschieden wir lediglich "spärliche Populationen" von allen übrigen, durchschnittlich oder reichlich entwickelten. Als spärliche Populationen wurden solche bezeichnet, die aus wenigen (i. Allg. <10 , oder $10\text{--}50$), oftmals winzigen Individuen bestanden, welche entweder auf Randbereiche eines Feldes begrenzt waren, oder auf einer grösseren Fläche mit geringer Dichte vorkamen.

Bei der Erhebung im Herbst 2007 wurden auf jedem Feld mit einer kleinen Schaufel an zehn über den Acker verteilten, zufällig bestimmten Stellen je ca. 25ml Erde ohne Vegetation aus der Oberflächenschicht (0–5cm Tiefe) entnommen. Grobe Wurzeln wurden entfernt. Die zehn Bodenproben von jedem Feld wurden gemischt und in einem Plastikbeutel bis zur weiteren

Verarbeitung aufbewahrt (siehe 2.3). Aufbewahrung an einem kühlen Ort (im Freien oder Kühlschrank) wurde angestrebt, war aber während der Transporte nicht stets möglich.

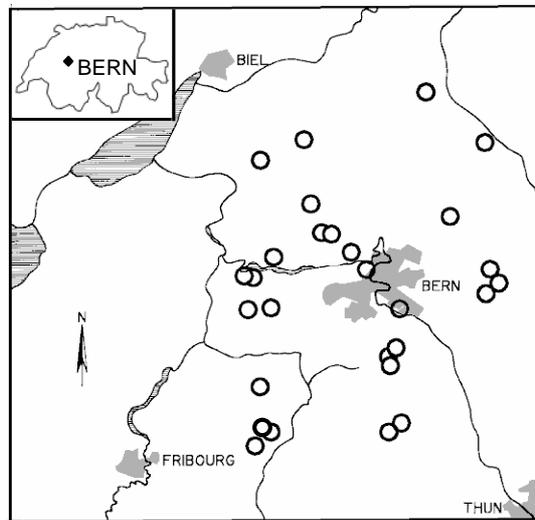


Abb. 3. Lage der untersuchten Felder im westlichen Schweizer Mittelland (siehe Anhang 1 für detaillierte geographische Daten)

Daten zur Witterung 2005 bis 2007 von der meteorologischen Station Bern (automatisches Messnetz: Niederschlag, Temperatur und Luftfeuchtigkeit) wurden von MeteoSchweiz in elektronischer Form zur Verfügung gestellt. Wetterdaten für 1989 bis 1995 entnahmen wir den 'Annalen der Schweizerischen Meteorologischen Anstalt' (SMA, 1989-1995). Die Station Bern befindet sich im Zentrum des Untersuchungsgebietes (Abb. 3). Sie wurde 2006 von Bern-Liebefeld (46°56'N / 07°25'E, 565 m ü.M.) nach Bern-Zollikofen verschoben (46°59' N / 7°27' E, 553 m ü.M.). Im vorliegenden Bericht vergleichen wir das Auftreten der Hornmoose im Untersuchungsgebiet qualitativ mit den Wetterdaten; eine detaillierte Analyse des Zusammenhanges zwischen Witterungsfaktoren und Hornmoos-Vorkommen folgt in einer separaten Publikation.

2.3 Diasporenbankuntersuchungen

Zwei bis vier Tage nach der Probenentnahme öffneten wir die Plastikbeutel mit den Bodenproben während 40 bis 50 Stunden, um bei Zimmertemperatur ein Antrocknen der Erde zu bewirken. Wir krümelten danach die Erde, verschlossen die Beutel wiederum, und bewahrten sie bis zum Versuchsbeginn bei ca. 8°C im Freien auf (1–2 Tage, abhängig vom Datum der Probenentnahme und der 'Trocknungszeit'). Am 12. Oktober, d. h. 6–8 Tage nach der Probenentnahme, streuten wir eine dünne Schicht Erde (ca. ½ cm) auf feuchten Perlit in je drei Petrischalen (10 cm Durchmesser) pro Acker. Wir stellten die mit dem Deckel verschlossenen Petrischalen in ein Gewächshaus mit einem 14/10 Stunden Tag/Nacht-Rhythmus. Die Lichtintensität während des Tages lag bei rund 65 $\mu\text{mol s}^{-1}\text{m}^{-2}$ (Photometer SKP200/ Sensor SKP 215; Skye Instruments Ltd, Wales, UK), und die Tages- und Nachttemperaturen betragen 15°C (7 bis 20 Uhr), beziehungsweise 12°C. Alle 1 bis 2 Wochen

bewässerten wir die Kulturen mit deionisiertem Wasser, um deren Austrocknen zu verhindern, und verschoben die Petrischalen zufällig, um einen potentiellen Einfluss der etwas variablen Lichtverhältnisse auszuschliessen. Die Keimung der Hornmoossporen und die Entwicklung der Gametophyten wurden regelmässig während 4.5 Monaten (bis 28. Februar) beobachtet. Die Anzahl der Gametophyten, die bis zum Ende des Experimentes aufliefen, wurde pro Acker (d. h. in drei Petrischalen mit insgesamt 236 cm² Fläche) aufsummiert, und ist in Abb. 4 in den Klassen 1 – 10, 11 – 50 und >50 dargestellt.

2.4 Datenbearbeitung

Wir quantifizierten die Hornmoos-Vorkommen pro Feld und Jahr folgendermassen: 1 für eine durchschnittlich bis reichlich entwickelte Population; 0.5 für eine spärliche (siehe 2.2) Population, 0 wenn keine Hornmoose vorhanden waren. In einem zweiten Schritt gewichteten wir die Vorkommen, indem wir für das Auftreten des Gelb-Hornmooses pro Feld und Jahr 1 (durchschnittliche bis reichliche Population) oder 0.5 (spärliche Population) dazu addierten. Um einen statistischen Vergleich mit dem zweiten Beobachtungszeitraum von drei Jahren (2005–2007) zu ermöglichen, verglichen wir letzteren mit den 3-Jahres-Perioden 1991–1993, 1992–1994 und 1993–1995. 1989 und 1990 wurden in dieser Analyse nicht berücksichtigt, da weniger Felder beobachtet worden waren. Um einen möglichen Einfluss des ungewöhnlich feuchten und kühlen Sommers 2007 (Tab. 1) auf die Hornmoos-Vorkommen beurteilen zu können, verglichen wir die Vorkommen in der 2-Jahres-Periode 2005–2006 mit jenen in 1991–1992, 1992–1993, 1993–1994 und 1994–1995.

Wir berechneten für jedes Feld einen Vorkommens-Index HI für die verschiedenen Zeitperioden (2 oder 3 Jahre): Wir summierten obige Kennzahlen pro Feld und Jahr für die berücksichtigte Zeitperiode und dividierten diesen Wert durch die Anzahl Jahre, in der das entsprechende Feld zur Zeit der Felderhebung ungepflügt war, d. h. als potentieller Standort in Frage kam. Wir berechneten alle Indices HI jeweils ohne und mit Gewichtung für das Gelb-Hornmoos.

Feld Nr. 8 war in zwei aufeinander folgenden Jahren (2006, 2007; Abb. 4) beim Erhebungszeitpunkt gepflügt (Anzahl potentieller Standorte in den entsprechenden Perioden = 1), und wurde deshalb in den 3-Jahres-Analysen ausgeschlossen. Die Felder 7 und 24 waren bei den Erhebungen 1992 und 1993 gepflügt und blieben in den Vergleichen 1991–1993 und 1992–1994 vs. 2005–2007, und in den 2-Jahres-Analysen unberücksichtigt (Anzahl potentielle Standorte in entsprechenden Perioden = 1 oder 0).

Um testen zu können, ob sich die Häufigkeit der angebauten Feldfrüchte zwischen den beiden Beobachtungszeiträumen unterscheidet, quantifizierten wir die Anteile Getreide- (d. h. Stoppel-)felder, Kunstwiesen und als Weiden genutzte Flächen: Wir dividierten deren Anzahl im berücksichtigten Zeitraum durch die Zahl Jahre, in der das entsprechende Feld zur Zeit der Felderhebung ungepflügt war (potentielle Standorte).

Den 'Annalen der Schweizerischen Meteorologischen Anstalt' (SMA, 1989-1995) und den Dateien der MeteoSchweiz (2005-2007) entnahmen bzw. berechneten wir die folgenden Werte für die Station Bern: Jährliche Niederschlagsmenge in mm (N-Jahr); Summe der Niederschlagsmenge für Juni, Juli,

August, September in mm (N-SOM); Jahresmittel der relativen Luftfeuchtigkeit 2 m über Boden in % (RL-Jahr); Mittel der relativen Luftfeuchtigkeit 2 m über Boden für Juni, Juli, August, September in % (RL-SOM); mittlere Jahrestemperatur in °C (T-Jahr); Mittel der Monatstemperaturen für Juni, Juli, August, September in °C (T-SOM) (Tab. 1).

Tabelle 1. Witterungsverhältnisse für die meteorologische Station Bern für die Perioden 1989–1995 und 2005–2007 (Bern-Liebefeld, 46°56'N / 7°25'E, 565 m ü.M., bzw. Bern-Zollikofen, 46°59' N / 7°27' E, 553 m ü.M.). N-Jahr: jährliche Niederschlagsmenge; T-Jahr: mittlere Jahrestemperatur; RL-Jahr: Jahresmittel relative Luftfeuchtigkeit; N-SOM: Niederschlagsmenge Juni bis September; T-SOM: Mittelwert Monatstemperaturen Juni bis September; RL-SOM: Mittelwert relative Luftfeuchtigkeit Juni bis September. Maximal- bzw. Minimalwerte, die 2007 eintrafen, sind hervorgehoben. Siehe Material und Methoden für Details.

	1989	1990	1991	1992	1993	1994	1995	2005	2006	2007
N-Jahr [mm]	762	1271	869	1043	1043	1088	1223	859	1216	1291
T-Jahr [°C]	9.1	9.4	8.5	9.1	8.9	10.3	9.1	8.8	9.4	9.5
RL-Jahr [%]	77	76	78	78	78	78	77	76	80	79
N-SOM [mm]	276	540	349	356	551	381	426	374	409	672
T-SOM [°C]	16.2	16.3	17.3	17.0	16.1	17.6	16.2	17.2	17.8	16.0
RL-SOM [%]	73	72	73	75	76	74	74	72	75	78

2.5 Statistische Analysen

Wir prüften den Effekt der Beobachtungsperiode (1990er vs. 2000er Jahre) auf die Häufigkeit von Getreidefeldern, Kunstwiesen und als Weiden genutzte Flächen, sowie auf die Hornmoos-Vorkommen (HI) mittels linearen Modellen. Wir verwendeten die Prozedur "General Linear Models" des Programmes STATISTICA (StatSoft, 2005), mit Feld als zufälligem und Periode als festem Faktor. Da wir in jedem Feld lediglich eine Beobachtung durchführten, ergibt sich pro Periode und Feld ein Wert für eine bestimmte Feldfrucht und HI, und die Interaktion zwischen den Faktoren entspricht dem Fehlerterm.

Den Effekt des Beobachtungszeitraumes auf HI untersuchten wir sowohl für die 3- und 2-Jahres-Perioden (1991–1993, 1992–1994, 1993–1995 vs. 2005–2007 und 1991–1992, 1992–1993, 1993–1994, 1994–1995 vs. 2005–2006). Im Anschluss an die beschriebenen Modelle testeten wir den Effekt der vorhandenen Getreidefelder auf HI, indem wir die Anzahl Getreidefelder pro Beobachtungszeitraum (als Anteil an den zum Beobachtungszeitpunkt ungepflügten Feldern, siehe 2.4) vor der Periode im Modell fitteten. In den Analysen zur Häufigkeit der Feldfrucht verglichen wir lediglich 3-Jahres-Perioden. Der Entscheid des Anbaus einer bestimmten Kultur fällt i. Allg. im Vorjahr, und ist somit unabhängig von der Witterung in der untersuchten Vegetationsperiode.

Da die Berücksichtigung der Gewichtung des Gelb-Hornmooses in den Analysen keinen Informationsgewinn lieferte, sind diese Ergebnisse hier nicht gezeigt.

Wir untersuchten die Verteilung der Reststreuung (Residuen) durch visuelle Kontrolle der normal probability plots. Die Residuen waren nicht in allen Fällen normal verteilt, womit die Voraussetzung für die Verwendung von linearen Modellen eigentlich nicht erfüllt war. Wir verglichen deshalb die Ergebnisse der linearen Modelle mit jenen von nicht-parametrischen Wilcoxon-Tests für abhängige Stichproben, und stellten fest, dass die Befunde übereinstimmten. Aus Konsistenzgründen entschieden wir uns, lineare Modelle anzuwenden, womit auch ein Test des Einflusses der Anzahl Stoppelfelder auf HI einwandfrei möglich war.

Die statistischen Analysen wurden mit STATISTICA, Version 7.1 durchgeführt (StatSoft, 2005).

3 Ergebnisse

3.1 Gametophytische Populationen

Insgesamt wurden 232 Erhebungen in ungepflügten Feldern gemacht, wovon 163 in den Jahren 1989 bis 1995 und 69 von 2005 bis 2007 (Abb. 4). Der Acker Nr. 27 war 2007 vollständig von Aushubmaterial vom nahe gelegenen Tunnelbau bedeckt, und musste somit als Habitat ausgeschlossen werden. Wir fanden in 91 (Periode 1: 69 von 163; Periode 2: 22 von 69) Feldern Hornmoose, wovon in 17 Fällen (10; 7) auch das Gelb-Hornmoos (Abb. 4; Abb. 5 für Anzahl potentielle Standorte/Jahr). Dies entspricht einem mittleren Anteil besiedelter potentieller Standorte für die erste Untersuchungsperiode von 46% (Median 1989–1995; Min. = 33%, Max. = 50%; Abb. 4), beziehungsweise 34% für den zweiten Zeitraum (Median 2005–2007; Min. = 8%, Max. = 63%). Für das Gelb-Hornmoos sind die entsprechenden Werte 6% (Min. = 0%, Max. = 16%) und 8% (Min. = 4%, Max. = 21%). Trotz der Abnahme des mittleren Anteils besiedelter potentieller Standorte vom ersten zum zweiten Erhebungszeitraum wies 2007 Maximalwerte auf (Hornmoose: 63%, Gelb-Hornmoos: 21%). Lediglich ein einziges Mal fanden wir ein Feld (Nr. 2, 1995) mit dem Gelb-Hornmoos, in dem das Schwarz-Hornmoos nicht vorhanden war. Ungefähr ein Drittel der Hornmoos-Vorkommen beurteilten wir in den 90er Jahren als 'spärlich', im Vergleich zu rund der Hälfte in der Folgeuntersuchung.

Abb. 4 (s.11). Vorkommen von Hornmoosen (A: *Anthoceros agrestis*, Schwarz-Hornmoos; P: *Phaeoceros carolinianus*, Gelb-Hornmoos) in den untersuchten Äckern (1 – 28) von 1989 bis 1995, bzw. 2005 bis 2007 in Abhängigkeit von der Bewirtschaftung, und in der Diasporenbank (DB) 2007. Getreidefelder ohne Einsaat, i. Allg. Stoppelfelder zur Zeit der Felderhebung. Hackfrüchte: Kartoffeln oder Runkelrüben. Grünland: Kunstwiesen, Weiden oder Zwischenfrucht. Feld Nr. 27, 2007, von Aushubmaterial bedeckt. α : spärliche Populationen. %HM [P]: Anteil der potentiellen Standorte (d. h. Anzahl untersuchte Felder minus Anzahl gepflügte Felder) mit Hornmoos-Vorkommen [Vorkommen von *P. carolinianus*, Gelb-Hornmoos] für jedes Beobachtungsjahr. DB: Gesamtanzahl Gametophyten in drei Diasporenbankproben pro Feld (in Klassen 1 – 10, 11 – 50; >50; siehe Abb.); *: inkl. *P. carolinianus*, Gelb-Hornmoos, in DB. Stalld.: Feld mit Stallmist gedüngt; Herbizid: Feld herbizidbehandelt. Bew.: Bewirtschaftung.

	1989	1990	1991	1992	1993	1994	1995	2005	2006	2007	DB
1	A								A	A P	◆
2		A		A P		A	P	-			*◆
3		-		A	A	-		Stald.		-	
4				A			A				◆
5	A	A	A							A	◆
6		-	A		A			-	A	A P	◆
7				-	-						
8	/	/	A	A	A				-	-	◆
9			-			A		A P		-	
10		A P	A	A P	A	A	A P		A		◆
11	/	/	A P	A P	A	A	A		A P	A	◆
12	A									A	◆
13		-									
14	A	A						Herbizid	Herbizid	-	
15			-			-				A	
16	A	-		A	A	-			-		◆
17	-			-	-	-	A			A	◆
18		A		A	A	A				-	◆
19	A	-	-			A	A	-	A	A P	◆
20	A	-				-				-	◆
21					A	A					◆
22	A	-		A	A		A			A	
23	-		-							-	
24	A		A	-	-	A	-		A	A	◆
25	A	A		A	A	A	A			-	◆
26	A P			-	A		-	A	-	A	◆
27	/	/	A	A	-	A			A	/	/
28	/	/	A P	A P	A	A	A P		A P	A P	◆
%HM	50.0	35.3	33.3	48.0	50.0	45.8	33.3	8.0	32.0	63.2	
%P	4.5	5.9	8.3	16.0	0	0	11.1	4.0	8.0	21.1	

DB: ◆ 1 - 10 ◆ 11 - 50 ◆ >50 *, inkl. *Phaeoceros*

- | | | |
|-------------------|----------------------|-------------|
| Keine Beobachtung | Getreide (ohne Mais) | Hackfrüchte |
| Gepflügt | Mais | Grünland |
| | Andere Bew. | |

Der Hornmoos-Index HI ist für die Zeiträume 2005–2007 bzw. 2005–2006 geringer als für die verglichenen 3- und 2-Jahresperioden aus den 90er Jahren (Tab. 2). Dies stimmt überein mit der Abnahme des Anteils besiedelter potentieller Standorte. Die Abnahme ist deutlicher, wenn wir das Jahr 2007 ausschliessen (Tab. 2B). Die Abnahme ist für vier der sieben Vergleichsperioden nicht, und für eine lediglich marginal signifikant (p [Periode] in Tab. 2, Anhang 2). In den Modellen, in denen wir die Anzahl Stoppelfelder (bzw. deren Anteil an den zum Beobachtungszeitpunkt ungepflügten Feldern pro berücksichtigte Periode) als Kovariable mitberücksichtigten, wiesen diese in allen verglichenen Zeiträumen einen hochsignifikanten Effekt auf HI auf (p [Stoppelfeld] in Tab. 2, Anhang 2), während Periode in diesen Analysen nicht-signifikant war. Die gefitteten Modelle erklären 0.714 – 0.756 (Modell R^2 , 3-J. Perioden), bzw. 0.636 – 0.703 (Modell R^2 , 2-J. Perioden) der Variabilität.

Aus Abb. 5 ist ersichtlich, dass die Felder, die im Herbst als unbearbeitete Stoppelbrachen belassen wurden, zwischen den Untersuchungsperioden deutlich abgenommen haben. Die Abnahme war signifikant, falls die Felder Nr. 3 im Jahre 2005 (Stoppelfeld mit Stallmist gedüngt) und Nr. 14 in den Jahren 2005 und 2006 (mit Herbizid behandelte Stoppelfelder) nicht als Stoppelfelder einberechnet wurden (1991 –1993 vs. 2005–2007: $F = 6.258$, $p = 0.02$; 1992 –1994 vs. 2005–2007: $F = 8.686$, $p = 0.007$; 1993 –1995 vs. 2005–2007: $F = 7.884$, $p = 0.009$; lineare Modelle). Im Herbst als Weiden genutzte Flächen andererseits nahmen zu (1991 –1993 vs. 2005–2007: $F = 8.293$, $p = 0.008$; 1992 –1994 vs. 2005–2007: $F = 11.956$, $p = 0.002$; 1993 –1995 vs. 2005–2007: $F = 11.563$, $p = 0.002$; lineare Modelle).

Tabelle 2. Hornmoos-Index HI (Mittelwert [SE]; Berechnung siehe Material und Methoden) für verschiedene Untersuchungsperioden. A) 3-Jahresperioden; B) 2-Jahresperioden. Analyse mit linearen Modellen (detaillierte Ergebnisse im Anhang 2): p [Periode]: HI in der Periode der entsprechenden Kolonne unterscheidet sich signifikant von HI für 2005 – 2007 (A), bzw. 2005 – 2006 (B); p [Stoppelf.]: die Veränderung in der Anzahl Stoppelfelder zwischen den entsprechenden Zeitperioden hat einen signifikanten Effekt auf HI.

A	1991–93	1992–94	1993–95	2005–07	
HI	0.35 [0.07]	0.42 [0.08]	0.36 [0.07]	0.23 [0.06]	
p [Periode]	.	0.050	.	–	
p [Stoppelf.]	0.001	<0.001	0.002	–	
B	1991–92	1992–93	1993–94	1994–95	2005–06
HI	0.31 [0.07]	0.43 [0.09]	0.45 [0.08]	0.31 [0.07]	0.19 [0.07]
p [Periode]	.	0.028	0.014	.	–
p [Stoppelf.]	0.005	<0.001	0.005	0.009	–

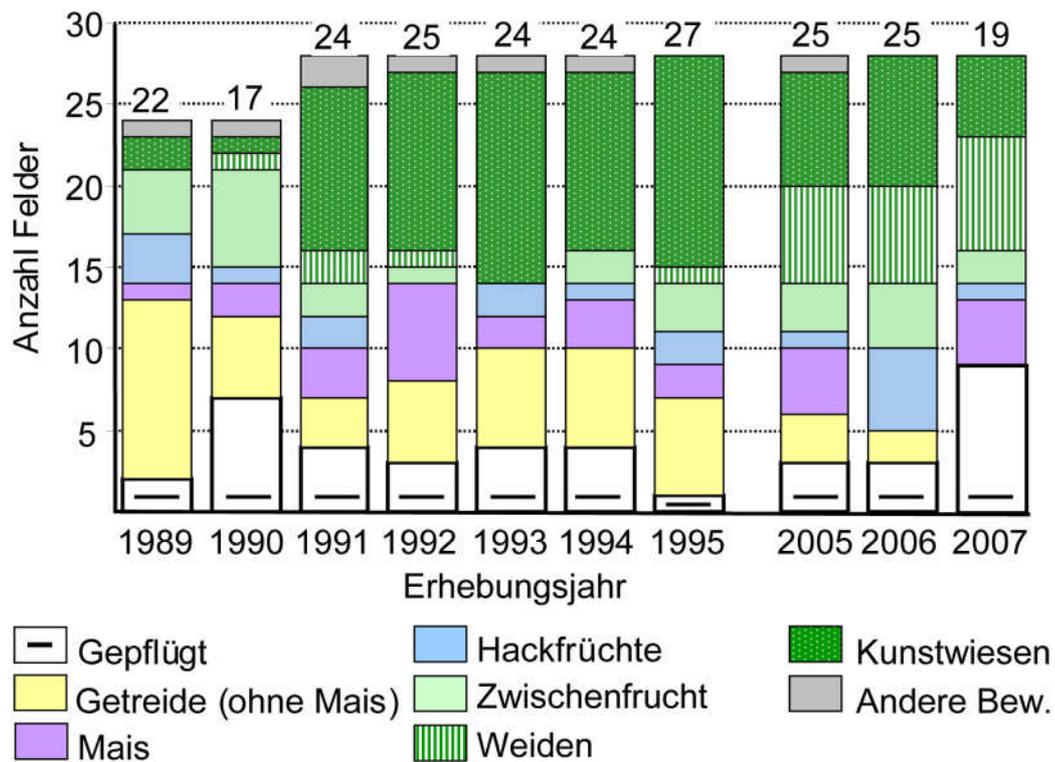


Abb. 5. Bewirtschaftung der untersuchten Äcker zum Zeitpunkt der Erhebung (Ende September bis Anfang Oktober). Getreidefelder (kein Mais) ohne Einsaat: i. Allg. Stoppelfelder zur Zeit der Erhebung. Hackfrüchte: Kartoffeln oder Runkelrüben. Bew.: Bewirtschaftung. Angegeben ist ausserdem die Anzahl ungepflügter beobachteter Felder pro Jahr (d. h. potentielle Hornmoos-Standorte).

3.2 Diasporenbank

In den Bodenproben von insgesamt 19 der 27 beprobten Feldern liefen Hornmoossporen auf (Abb. 4), einschliesslich in vier Proben aus ungepflügten Äckern, in denen keine Hornmoos-Gametophyten beobachtet wurden. Ausserdem keimten Hornmoose in Proben von vier zum Erhebungszeitpunkt gepflügten Feldern. Die durchschnittliche Zahl aufgelaufener Hornmoos-Gametophyten betrug in Feldern mit mindestens einer gekeimten Spore 12.9 (Mittelwert von [Summe drei Proben/Feld]; N=19 Felder; SE=3.6). Dies entspricht 109 Sporen pro dm³ kultivierter Erdprobe (Mittelwert; N=19 Felder; SE=32.6). In etwa der Hälfte der Felder keimten weniger als 10 Sporen, während sich Feld Nr. 24 durch 73 aufgelaufene Gametophyten auszeichnete (Abb. 4). Zwei Proben mit erfolgreicher Sporenkeimung im Experiment stammen von Äckern (3, 21), die zu allen drei Erhebungszeitpunkten von 2005 bis 2007 weder gepflügt waren noch Gametophyten aufwiesen. In der Probe aus Feld Nr. 2 ohne Gametophyt-Nachweis im ungepflügten Acker 2006 und 2007 keimten mehrere Sporen des Gelb-Hornmooses.

4 Diskussion

Unsere Untersuchungen in Äckern des Schweizer Mittellandes zeigen, dass Hornmoos-Vorkommen im Laufe der vergangenen 10 bis 13 Jahren an diesen Standorten tendenziell abnehmen. Diese Abnahme ist durch die Abnahme der Anzahl Stoppelbrachen im Herbst erklärbar (signifikanter Effekt Anzahl Stoppelfelder auf HI; Tab. 2).

4.1 Gametophytische Populationen

Zwischen 1990 und 2006 nahmen in der Schweiz das offene Ackerland allgemein und der Getreideanbau im Besonderen flächenmässig ab (-9%, bzw. -20.4%) und Kunstwiesen zu (+28.5%) (Anonymus, 2007). Tierschutz-Vorlagen und zunehmende Beteiligung am RAUS-Programm ("Regelmässiger Auslauf von Nutztieren im Freien") (Anonymus, 2007) erhöhen den Bedarf an Weidefläche. Die seit 2005 verbindlichen Bodenschutzmassnahmen verlangen, dass alle Felder, die vor dem 31. August geerntet werden, entweder mit Herbstfrucht oder spätestens am 15. September bis mindestens 15. November mit einer Zwischenkultur bestellt werden (Bundesrat, 2008). Diese Veränderungen widerspiegeln sich in der vorliegenden Stichprobe von Äckern, in der wir beim Erhebungszeitpunkt im Oktober weniger offene Stoppelfelder, und mehr als Weiden genutzte Grünflächen feststellten (Abb. 5), und hatten zur Folge, dass offensichtlich im Agrarland des Schweizer Mittellandes die für Hornmoose optimalen Standorte abnahmen.

Das Schwarz-Hornmoos und das Gelb-Hornmoos wachsen in Mitteleuropa und somit in der Schweiz bevorzugt im Ackerland (Bisang, 1992; Koppe, 1955). Bedingt durch Bewirtschaftung sind diese Standorte vergänglich und nur vorübergehend verfügbar. Hornmoose sind zwar durch ihre ephemere Lebensweise an solche unbeständige (aber regelmässig wiederkehrende) Standorte angepasst. Sie benötigen doch einige Monate, um ihren Lebenszyklus von der Keimung bis zur Bildung reifer Sporen zu vollenden. Zudem sind sie auf relativ offene Standorte angewiesen, da sie in einer dichten Vegetation nicht konkurrenzfähig sind (Bisang, 1999, 2004). Diese Bedingungen sind in traditionellen Stoppelbrachen gegeben. Wir fanden Hornmoose (v. a. das Schwarz-Hornmoos) gelegentlich auch in Maisäckern, Kunstwiesen oder in Feldern mit Einsaat, und selten in Hackfrucht-Feldern, doch da oft nur spärlich entwickelte Populationen (Abb. 4). Wir vermuten, dass die mechanische Störung bei der Bestellung der Felder im Falle von Einsaaten die Keimung und/oder die jungen Pflanzen negativ beeinflusst. Behandlungsroutinen wie Hacken, Furchen machen usw. in Kartoffel- und Runkelrüben-Kulturen dürften die Entwicklung der Hornmoose ebenfalls durch mechanische Einflüsse stören. Ausserdem ist der relative Lichtgenuss am Boden der Rübenäcker gering, und die Böden sind ev. verdichtet, so dass möglicherweise die Standortsansprüche der Hornmoose nicht erfüllt sind. Eine ähnliche Kombination von mechanischer Störung und ungünstigen Standortfaktoren liegt wahrscheinlich in modernen Rotationswiesen vor. Sie werden zur Gras- und Heugewinnung häufig mit schweren Traktoren und Maschinen befahren, die Pflanzen stehen sehr dicht und es finden sich kaum offenerdige Lücken. Auch im Innern von Maisfeldern ist es gewöhnlich dunkel und die Böden sind sehr kompakt, ausserdem könnten hier die hoch dosiert angewendeten Herbizide einen negativen Einfluss ausüben. Auch die Ernte mit Mähdreschern beeinflusst den Ablauf der Lebenszyklen der Individuen,

und damit die lokale Populationsentwicklung, negativ (Bisang, unpubl. Daten). Die Gametophyten werden dabei so stark geschädigt, dass sie danach innerhalb weniger Tage oder Wochen absterben. Der heutzutage zeitig nach der Ernte durchgeführte Umbruch löscht die Populationen abrupt aus. Eine sehr reichliche Population des Schwarz-Hornmooses beobachteten wir 2006 in einem Getreidefeld, in dem eine Buntbrachenmischung eingesät war (Abb. 4, Nr. 24). Im folgenden Jahr war die Population auf einige wenige und kümmerliche Individuen am Rande der angrenzenden Wiese beschränkt, und die Moosvegetation in der zweitjährigen Brache bestand im Wesentlichen aus einer in Rotationswiesen häufigen Laubmoosart (*Eurhynchium hians*). Dies entspricht unseren Beobachtungen in anderen Buntbrachen (unpubl.): Die dichte Blütenpflanzenvegetation und die dicke Streuauflage schaffen ungünstige standörtliche Voraussetzungen für die Entwicklung von typischen Acker-Moosen.

4.2 Witterungseinfluss

Der Anteil potentieller Standorte mit Hornmoos-Vorkommen war im Jahre 2007 mit 63% am höchsten (Abb. 4). Zudem fanden wir in diesem Jahr Hornmoose in sechs Feldern (nicht Stoppelbrachen) in unmittelbarer Nachbarschaft zu nicht-besiedelten Untersuchungsäckern, während es 2005 lediglich ein, und 2006 drei zusätzliche benachbarte Felder waren (unpubl. Daten). Es ist wahrscheinlich, dass der regenreiche und kühle Sommer 2007 (Tab. 1) mindestens indirekt das Aufkommen und die Entwicklung der Hornmoos-Populationen beeinflusste. Die extremen Regenfälle hatten zur Folge, dass viele der Kulturen (z. B. Mais) schlecht wuchsen und/oder weniger intensiv bewirtschaftet (Grünland) wurden. Wegen der verminderten Störung und dank offeneren und lückigen Standorten konnten sich Hornmoose in zahlreicheren Feldern, wenn auch teilweise spärlich, entwickeln. Ähnliche indirekte Einflüsse der Witterung via Bewirtschaftung stellte auch Ahrens (1992) in Süd-Deutschland fest. Möglicherweise förderte die feucht-kühle Witterung die Keimung und das Wachstum der Hornmoos-Gametophyten auch direkt. Für andere Moose wurde nachgewiesen, dass die Keimung u. a. auch von Umweltparametern wie pH oder Temperatur abhängt (Glime, 2007), und dass das Wachstum und die Produktivität stark von Feuchtigkeit und Temperatur und verwandten Faktoren beeinflusst werden (z. B. Asada, Warner & Banner, 2003; Callaghan *et al.*, 1997; Hanslin, Bakken & Pedersen, 2001; Rincon & Grime, 1989; Zechmeister, 1995). In unseren früheren Untersuchungen stellten wir zwar fest, dass das Auftreten von Hornmoosen von Bewirtschaftungsmethoden abhängt, doch konnten wir keinen direkten Zusammenhang zu sommerlichen Wetterfaktoren nachweisen (Bisang, 1998). Ahrens (1992) und Frahm (1970) andererseits schlossen in qualitativen Studien auf einen entscheidenden Einfluss der Witterung auf die Ackermoosvegetation (siehe dazu Bisang, 1998). Das Wetter im Sommer 2007 im Untersuchungsgebiet war jedoch kälter und feuchter als in allen anderen Jahren im berücksichtigten Zeitraum (Tab. 1), und es ist möglich, dass sich mit der hier angewandten Methode erst unter solchen Ausnahmbedingungen ein Witterungseinfluss auf Hornmoos-Vorkommen feststellen lässt. Ausserdem waren November bis Januar 2006/2007 mit positiven Abweichungen der Monatsmitteltemperaturen von 1.5 bis 4.7°C aussergewöhnlich warm, so dass entgegen allen früheren Erfahrungen gametophytische Hornmoos-Populationen im Frühjahr

2007 beobachtet wurden (H. Hofmann, A. Caillau, pers. Mitt.). Es ist ungeklärt, inwiefern mildes Winterwetter Hornmoos-Vorkommen beeinflusst. Wir werden die Bedeutung von Witterungsfaktoren auf das Auftreten und die Entwicklung von Hornmoos-Populationen im Agrarland des Schweizer Mittellandes in einer separaten Untersuchung analysieren.



Abb. 6. Das Schwarz-Hornmoos (*Anthoceros agrestis*) mit zahlreichen Sporenkapseln mit z. T. reifen Sporen, und das Gelb-Hornmoos (*Phaeoceros carolinianus*; vorne) mit wenigen, kleinen noch grünen Sporenkapseln.

4.3 Diasporenbank

Das Auflaufen von Hornmoos-Sporen in Proben aus Äckern ohne gametophytische Vorkommen unterstreicht die Bedeutung der Diasporenbank für das längerfristige Überleben der Populationen in einem bestimmten Feld (Bisang, 1995a; Bisang, 1999). Hornmoos-Sporen sind relativ gross (Paton, 1999) und werden nahe an der Bodenoberfläche gebildet, was ihre Ausbreitung zwischen einzelnen isolierten Äckern unwahrscheinlich macht. Wir schliessen deshalb, dass die Sporen in der Lage sind, mindestens drei (Schwarz-Hornmoos), bzw. mindestens zwei Jahre (Gelb-Hornmoos) unterirdisch zu überleben (Abb. 4, Felder 2, 16, 21). Auch Proskauer (1958) hat auf die Langlebigkeit (bis sieben Jahre) der Sporen des Gelb-Hornmooses hingewiesen. Das Ausbilden von langlebigen Diasporen (Diasporen, die länger als ein Jahr im Boden keimfähig bleiben, bezeichnet man als langlebig; sie bauen eine 'dauerhafte Diasporenbank' auf) kommt einem zeitlichen Entweichen gleich. Es ist eine mögliche Strategie, das Aussterberisiko bei wiederholt auftretenden ungünstigen Wuchsbedingungen zu verringern (z. B. During, 1997). Die grösste Anzahl gekeimter Sporen beobachteten wir im Feld Nr. 24. Wie bereits erwähnt, wuchs dort im Jahr 2006 eine äusserst reichliche Population mit enorm zahlreichen Sporenkapseln, während 2007 die Population kümmerlich und lediglich am Rande des angrenzenden Feldes entwickelt war. Die passende Bewirtschaftung spielt für die Populationsentwicklung offenbar eine wichtigere Rolle als der Diasporenvorrat im Boden, doch ermöglicht letzterer unter geeigneten Bedingungen eine rasche oberflächliche Besiedlung. In anderen Habitaten wurde jedoch nachgewiesen, dass die Regeneration aus der Samenbank für das Überleben mancher Blütenpflanzenarten ein beschränktes Potential hat (z. B. Davies & Waite, 1998; Kipfer & Bosshard, 2007). Auch bei Arten, die sich aus einer dauerhaften Diasporenbank zu regenerieren vermögen, muss das Reservoir im Boden regelmässig nachgefüllt werden, um ihr Verschwinden an einem bestimmten Ort zu verhindern. Dies gilt im Besonderen für Arten, die an voneinander isolierten Standorten wachsen, und deren Ausbreitungsmöglichkeiten begrenzt sind.

5 Schlussfolgerungen und Empfehlungen

Unsere Ergebnisse zeigen, dass die Einführung des ÖLN und die veränderten Bodenschutzaufgaben in den vergangenen 12 Jahren keinen deutlich positiven Einfluss auf die Hornmoos-Vorkommen im Ackerbaugesamt des Schweizerischen Mittellandes haben. Seit den 90er Jahren nahmen die Hornmoos-Populationen in den Äckern des Untersuchungsgebietes tendenziell ab. Dies lässt sich durch einen Verlust passender Habitats und Veränderungen in deren Qualität erklären. Die Vorgaben im Rahmen des ÖLN führen dazu, dass im Spätsommer und Herbst kaum noch offene unbestellte Ackerflächen oder unbearbeitete Stoppelfelder vorhanden sind, womit gametophytische Hornmoos-Populationen entweder nicht auflaufen, oder ihren Lebenszyklus nicht bis zur Sporenreife vollenden können. Letzteres hat zur Folge, dass die Diasporenbank im Boden nicht aufgefüllt wird, und damit auch das Reservoir für eine lokale Besiedlung allmählich erlischt. Das Schwarz- und das Gelb-Hornmoos sind in Mitteleuropa weitgehend an Ackerland gebunden. Eine angemessene Bewirtschaftung ist deshalb eine wichtige und notwendige Voraussetzung für deren längerfristige Erhaltung im Agrarland des Mittellandes, insbesondere für das Gelb-Hornmoos, welches in der Schweiz als stark gefährdet eingestuft wird (Schnyder, N *et al.*, 2004). Da die Sporen der untersuchten Sippen (glücklicherweise) langlebig sind und ungünstige Bedingungen im Boden überdauern können, dürften auch punktuelle Massnahmen (d. h. mit zeitlichen Unterbrüchen) die Sippen fördern. Folgende Massnahmen, die teilweise bereits jetzt im Rahmen des ÖLN abgegolten werden können, dürften zur Erhaltung von Hornmoos-Populationen im Schweizer Mittelland beitragen:

- A) Modifizierte Ackerschonstreifen in Getreidefeldern: Der Schonstreifen verbleibt nach der Ernte bis zum Spätherbst als Stoppelbrache unbearbeitet und ohne Einsaat.
- B) Hornmoos-Äcker: Ausgewählte Felder mit belegten Hornmoos-Vorkommen werden, wenn im Rahmen der normalen Fruchtwechselwirtschaft Getreide angebaut wird, erst im Spätherbst, nachdem sie mehrere Monate als Stoppelbrachen verblieben, umgebrochen.

Die Bewirtschaftungen nach A) und B) verlangen eine Ausnahme von den Bodenschutz-Vorgaben im ÖLN. Der früheste Zeitpunkt für Bearbeitungen inklusive Umbruch wird vertraglich mit dem Bewirtschafter festgelegt.

- C) Segetalflorastreifen (einjährige Brache; Ackerschonstreifen ohne Einsaat einer Ackerkultur): Nach einer Saatbettvorbereitung im Frühling oder im Herbst des Vorjahres werden auf einem Streifen Acker (neben der Ackerkultur) annuelle Ackerwildkräuter gesät. Während 4 – 6 Jahren erfolgt jährlich im Winterhalbjahr eine Bodenbearbeitung auf dem ganzem Streifen (zur Zeit oft im Oktober), und bei Bedarf eine erneute Einsaat von Ackerwildkräutern. Segetalflorastreifen werden im Kanton Aargau bereits angelegt, sind aber noch kein offizielles Öko-Element, was eine Änderung in der Direktzahlungsverordnung voraussetzt. Segetalflorastreifen fördern nachweislich einjährige Arten der Blütenpflanzen-Ackerflora (Richner, 2006), und wir erwarten einen positiven Effekt dieser Bewirtschaftungsform für Hornmoos-Populationen.

Die vorgeschlagenen Massnahmen sollten in Äckern mit belegten Hornmoos-Vorkommen durchgeführt werden. In allen Fällen muss auf schwere Maschinerie und häufige mechanische

Bearbeitung verzichtet, und der Einsatz von Agrochemikalien eingeschränkt werden. Die Eignung von Segetalflorastreifen (C) zur Förderung von Hornmoos-Populationen sollte in einem Versuch geprüft werden. Die gewählte Maßnahme ist von einer Erfolgskontrolle zu begleiten. Die beschriebenen Bewirtschaftungen dürften auch für andere typische Ackermoos, wie Arten aus den Gattungen der Sternlebermoose, Birnmoose, Eintagsmoose oder Fellmoose, vorteilhaft sein.

Eine derartige Aufwertung von ökologischen Ausgleichsflächen, in der durch gezielte teilweise kleinflächige Massnahmen einzelne Arten mit spezifischen Ansprüchen gefördert werden, sind im Rahmen der Öko-Qualitätsverordnung (ÖKV) möglich (Jenny, 2004, 2005). Sie werden heute z. B. für eine Reihe von Brutvogelarten erfolgreich praktiziert (Kohli *et al.*, 2004)



Abb. 7. Ein unbearbeitetes Stoppelfeld ist ein optimaler Standort für Hornmoose im Agrarland

6 Ausblick

Die vorliegende Untersuchung beschränkt sich auf die Vorkommen des Schwarz- und des Gelb-Hornmooses (*Anthoceros agrestis*, *Phaeoceros carolinianus*) im Ackerbaugesamt des Schweizer Mittellandes. Die untersuchten Äcker wurden aufgrund des Auftretens von Hornmoos-Populationen in den Jahren 1984 – 1988, d. h. vor dem in Kraft treten des ÖLN, ausgewählt, und nicht bezüglich ihrer spezifischen Bewirtschaftung. Der nächste Schritt ist nun, die Wirkung von ökologischen Ausgleichsflächen auf die studierten Organismen im Speziellen, und auf Moose im Allgemeinen, gezielt zu untersuchen. Insbesondere ist die Eignung von Segetalflorastreifen zur Förderung der zum grossen Teil einjährigen Ackermoosarten zu prüfen. Während der Einfluss von Ökomassnahmen im Agrarbereich auf die Diversität mehrerer Organismengruppen eingehend studiert wurde (Herzog & Walter, 2005), liegen für die Bedeutung entsprechender Massnahmen für die Moosflora und – diversität bis anhin keine Untersuchungen vor. Zwar ist der Rückgang zahlreicher an Kulturland gebundener Moose dokumentiert (z. B. in Roten Listen, Referenzen s. Söderström *et al.*, 2002), doch wurden die betreffenden Mechanismen und Prozesse nur in vereinzelt Fällen studiert. Darüber hinaus ist wenig bekannt über die Bedeutung weiterer Umweltfaktoren für die Moosvegetation im

Agrarbereich (wie z. B. Standortqualität oder Witterungseinflüsse). Solche Kenntnisse sind jedoch nötig, wenn die gefährdeten Moosarten in den Agrarökosystemen erhalten bleiben sollen.

Dank

Wir danken dem Bundesamt für Umwelt (BAFU) für die finanzielle Unterstützung der Feldarbeit in diesem Projekt, dem Bundesamt für Meteorologie und Klimatologie (MeteoSchweiz) für die zur Verfügung gestellten Witterungsdaten, Ferdi Bisang für Informationen zu ökologischen Ausgleichsmassnahmen aus der Sicht des Bauern, Lisa Eggenschwiler (ART) für Diskussionen über Massnahmen des ÖLN, Peter Litfors und Ingela Lundwall (Universität Stockholm) für Unterstützung im Gewächshaus und Edi Urmi (Universität Zürich) für die Verwaltung des Kredites.

7 Literatur

- Ahrens M. 1992.** Die Moosvegetation des nördlichen Bodenseegebietes. *Dissertationes Botanicae* **190**: 1-681.
- Anonymus.** Agrarbericht 2007 des Bundesamtes für Landwirtschaft (Berichtjahr 2006). <http://www.blw.admin.ch/dokumentation/00018/00103/index.html>. Accessed: 10 April 2008.
- Asada T, Warner BG, Banner A. 2003.** Growth of mosses in relation to climate factors in a hypermaritime coastal Peatland in British Columbia, Canada. *Bryologist* **106**: 516-527.
- Baumann W.** Agrarrevolution. *Historisches Lexikon der Schweiz*. <http://www.hls-dhs-dss.ch/textes/d/D13827.php>. Accessed: 1 March 2008.
- Baumann W, Moser P.** Landwirtschaft. *Historisches Lexikon der Schweiz*. <http://www.hls-dhs-dss.ch/textes/d/D13933-1-4.php>. Accessed: 1 March 2008.
- Bisang I. 1992.** Hornworts in Switzerland – endangered? *Biological Conservation* **59**: 145-149.
- Bisang I. 1995a.** The diaspore bank of hornworts (Anthocerotae, Bryophyta) and its role in the maintenance of populations in cultivated fields. *Cryptogamica Helvetica* **18**: 107-116.
- Bisang I. 1995b.** On the phenology of *Anthoceros agrestis* (Anthocerotae, Anthocerotaceae), with special reference to Central Europe. *Fragmenta Floristica et Geobotanica* **40**: 513-518.
- Bisang I. 1996.** Quantitative analysis of the diaspore banks of bryophytes and ferns in cultivated fields in Switzerland. *Lindbergia* **21**: 9-20.
- Bisang I. 1998.** The occurrence of hornwort populations (Anthocerotales, Anthocerotopsida) in the Swiss Plateau: the role of management, weather conditions and soil characteristics. *Lindbergia* **23**: 94-104.
- Bisang I. 1999.** Welche Faktoren bestimmen das Vorkommen von Hornmoosen (Anthocerotales) in intensiv genutzten Agrarökosystemen des Schweizer Mitellandes? *Stuttgarter Beiträge zur Naturkunde, Serie A (Biologie)* **594**: 1-10.
- Bisang I. 2004.** Population development, demographic structure, and life cycle aspects of two hornworts in Switzerland. *Lindbergia* **28**: 105-112.
- Bisang I, Urmi E. 2006.** *Anthoceros punctatus* L. im Tessin und seine Unterscheidung von *Anthoceros agrestis* Paton. *Meylania* **37**: 14-17.
- Bundesrat.** Verordnung über die Direktzahlungen an die Landwirtschaft (Direktzahlungsverordnung, DZV). <http://www.blw.admin.ch/dokumentation/00016/00363/index.html?lang=de>. Accessed: 6 April 2008.

- Callaghan TV, Carlsson BÅ, Sonesson M, Temesváry A. 1997.** Between-year variation in climate related growth of circum-arctic populations of the moss *Hylocomium splendens*. *Functional Ecology* **11**: 157-165.
- Davies A, Waite S. 1998.** The persistence of calcareous grassland species in the soil seed bank under developing and established scrub. *Plant Ecology* **136**: 27-39.
- During HJ. 1997.** Bryophyte diaspore banks. *Advances in Bryology* **6**: 103-134.
- FiBL, ed. 2001.** *Bio fördert Bodenfruchtbarkeit und Artenvielfalt*. <https://www.fibl.org/shop/pdf/do-1089-dok.pdf>: FiBL Dossier.
- Frahm J-P. 1970.** Ein Beitrag zu den Ackermoosgesellschaften Schleswig-Holsteins. *Herzogia* **1**: 367-375.
- Glime JM.** Bryophyte Ecology. Volume 1. Physiological Ecology *Ebook sponsored by Michigan Technological University and the International Association of Bryologists*. <http://www.bryoecol.mtu.edu/>. Accessed: 10 April 2008.
- Goffinet B. 2000.** Origin and phylogenetic relationships of bryophytes. In: Shaw AJ, Goffinet B, ed. *Bryophyte biology*. 124-149. Cambridge: Cambridge University Press.
- Hanslin HM, Bakken S, Pedersen B. 2001.** The impact of watering regime and ambient relative humidity on the effect of density on growth in two boreal forest mosses, *Dicranum majus* and *Rhytidiadelphus loreus*. *Journal of Bryology* **23**: 43-54.
- Herzog F, Birrer S, Duelli P, Pearson S, Pfiffner L, Walter T. 2005.** Artenvielfalt im Kulturland: Welchen Beitrag leisten ökologische Ausgleichsflächen? *Hotspot* **11**: 8-9.
- Herzog F, Walter T, ed. 2005.** Evaluation der Ökomassnahmen. Bereich Biodiversität. *Schriftenreihe FAL* **56**: 1-208.
- Hofmann H, Urmi E, Bisang I, Müller N, Kuchler M, Schnyder N, Schubiger C. 2007.** Retrospective assessment of frequency changes in Swiss bryophytes over the last two centuries. *Lindbergia* **32**: 18-32.
- Jenny M. 2004.** *Wildtierfreundlicher Getreidebau - die IP Suisse fördert die Feldlerche*. Zollikofen & Sempach: IP Suisse, Schweizerische Vogelwarte.
- Jenny M. 2005.** Das Kulturland zum Leben erwecken. *Hotspot* **11**: 5-7.
- Kipfer T, Bosshard A. 2007.** Geringe Samenbank von beweidbaren Arten für die Etablierung von Waldweiden im Schweizer Mittelland. *Botanica Helvetica* **177**: 159-167.
- Kleijn D, et al. 2006.** Mixed biodiversity benefits of agri-environment schemes in five European countries. *Ecology Letters* **9**: 243-254.
- Knop E, Kleijn D, Herzog F, Schmid B. 2006.** Effectiveness of the Swiss agri-environment scheme in promoting biodiversity. *Journal of Applied Ecology* **43**: 120-127.
- Kohli L, Spiess M, Herzog F, Birrer S. 2004.** *Auswirkungen ökologischer Ausgleichsflächen auf typische typische Kulturlandvögel und ihre Lebensräume. Erfolgskontrolle*. Sempach: Schweizerische Vogelwarte.
- Koordinationsstelle Biodiversitätsmonitoring der Schweiz, ed. 2006.** Zustand der Biodiversität in der Schweiz. *Umwelt-Zustand Nr. 0604*: 1-67.
- Koppe F. 1955.** Moosvegetation und Moosgesellschaften von Altötting in Oberbayern. *Feddes Repertorium* **58**: 92-144.
- Lehmann J. 2003.** Von der Kontrollstation zum Nationalen Zentrum für Agrarökologie. *Schriftenreihe FAL* **46**: 1-176.
- Paton JA. 1999.** *The liverwort flora of the British Isles*. Colchester, UK: Harley Books.
- Pfiffner L. 2005.** Biolandbau fördert die Biodiversität. *Hotspot* **11**: 12.

- Popp H. 2000.** *Das Jahrhundert der Agrarrevolution. Schweizer Landwirtschaft und Agrarpolitik im 20. Jahrhundert.* Bern: Schweizer Agrarmedien GmbH.
- Proskauer J. 1958.** Nachtrag zur Familie der Anthocerotaceae. In: Müller K, ed. *Rabenhorst's Kryptogamenflora von Deutschland, Österreich und der Schweiz.* 3. Auflage. 1303-1319. Leipzig: Akademische Verlagsgesellschaft Geest & Portig K.-G.
- Richner N. 2006.** *Die Schweizer Segetalflora. Untersuchungen zur Erhaltung, Förderung und zum Schutz der Segetalarten in der Schweiz.* Zürich: Eidgenössische Technische Hochschule.
- Rincon E, Grime JP. 1989.** An analysis of seasonal patterns of bryophyte growth in a natural habitat. *Journal of Ecology* **77**: 447-455.
- Schnyder A.** Fruchtwechselwirtschaft. *Historisches Lexikon der Schweiz.* <http://www.hls-dhs-dss.ch/textes/d/D27646.php>. Accessed: 1 March 2008.
- Schnyder N, Bergamini A, Hofmann H, Müller N, Schubiger-Bossard C, Urmi E. 2004.** *Rote Liste der gefährdeten Moose der Schweiz.* Bern: BUWAL, FUB & NISM.
- Schweizerischer Bauernverband.** Betriebsverhältnisse; Entwicklung seit 1905. *Markt, Preise, Statistik.* http://www.agr-e.com/de/markt_preise_statistik/betrieb/default.htm. Accessed: 18 February 2008.
- SMA. 1989-1995.** *Annalen der Schweizerischen Meteorologischen Anstalt.* Zürich.
- StatSoft I. 2005.** STATISTICA (data analysis software system), version 7.1. www.statsoft.com
- Söderström L, Urmi E, Váňa J. 2002.** Distribution of Hepaticae and Anthocerotae in Europe and Macaronesia. *Lindbergia* **27**: 3-47.
- Söderström L, Urmi E, Váňa J. 2007.** The distribution of Hepaticae and Anthocerotae in Europe and Macaronesia — Update 1-427. *Cryptogamie, Bryologie* **28**: 299-350.
- Tivy J. 1993.** *Agricultural Ecology.* Essex, UK: Longman Scientific & Technical.
- Zechmeister H. 1995.** Growth rates of five pleurocarpous moss species under various climatic conditions. *Journal of Bryology* **18**: 455-468.

Anhang 1

Geographische Lage (Kanton, Gemeinde, Flurname, Koordinaten nach Landeskarte der Schweiz, 1:25'000, Meereshöhe, m ü.M.) der von 1989–1995 und 2005–2007 untersuchten Felder im westlichen Schweizer Mittelland. Kanton (Kt.): BE, Bern; FR, Fribourg. Die Felder Nr. 8, 11, 27 und 28 wurden ab 1991 beobachtet.

Feld	Kt.	Gemeinde	Flurname	Koordinaten	m ü.M.
1	BE	Limpach	Solecht	605.2/217.8	490
2	BE	Grossaffoltern	Gewil	593.2/213.5	550
3	BE	Lyssach	Brämacher	610.2/213.8	510
4	BE	Aarberg	zw. Eichmatt & Längmoos	589.4/211.3–4	480
5	BE	Schüpfen	Winterswil	593.5/207.9	700
6	BE	Bäriswil	Husmatt	607.2/206.9	550
7	BE	Wohlen	Torbaum NW Uetligen	595.3/204.3	630
8	BE	Wohlen	zw. Uetligen & Möriswil	594.4/204.4	640
9	BE	Wohlen	Murzelen	590.8/203.0	610
10	BE	Mühleberg	Buttenried (Hecke)	587.6/201.1	540
11	BE	Mühleberg	Buttenried (Waldrand)	587.5-6/200.9	540
12	BE	Vechigen	zw. Sänggi & Littwil	610.9/201.48	800
13	BE	Vechigen	Bangerten	611.2/199.6	800
14	BE	Worb	Wattenwil	610.52/198.62	730
15	BE	Köniz	Oberbottigen-Niederfeld	591.6/197.9	620
16	BE	Mühleberg	E Juchlishaus	589.30/198.58	590
17	BE	Wald	Neuhus	602.3/193.5	850
18	BE	Zimmerwald	zw. Unter- & Mittler Wald	601.65/192.70	890
19	BE	Wald	Chüeliwilwald	601.5/192.6	890
20	FR	Überstorf	N Strasse zu Steinhus	589.8–9/191.0	630
21	BE	Rümligen	Hermiswil	602.8/186.4	880
22	BE	Rümligen	Hermiswil	602.7/186.6	890
23	FR	Heitenried	Schützenhaus, N Strasse	590.10/186.20	750
24	FR	Heitenried	Schützenhaus, S Strasse	590.10/186.20	750
25	FR	Heitenried	NE Lettiswil	589.2/185.5-6	770
26	BE	Wohlen	NW Lör	597.04/203.16	580
27	BE	Bern	Enge-Viererfeld	600.1/201.4	560
28	BE	Muri	zw. Elfenau & Bodenacker	602.3/197.5	530

Anhang 2

Lineare Modelle der Effekte von Feld, Periode und Anzahl Stoppelfelder auf die Hornmoos-Vorkommen (HI) in 28 ausgewählten Feldern des schweizerischen Mittellandes. (A) Vergleich von 3-Jahresperioden; (B) Vergleich von 2-Jahresperioden. Modelle mit Feld als zufälligen und Periode als festen Faktor; 2. Modell (A₂, B₂) zusätzlich mit Anzahl Getreide- (bzw. Stoppel)felder vor Periode gefittet. Signifikante und marginal signifikante p-Werte ($p \leq 0.5$) sind hervorgehoben.

A	1991–93 vs. 2005–07				1992–94 vs. 2005–07				1993–95 vs. 2005–07							
	<i>df</i>	<i>SS</i>	<i>F</i>	<i>p</i>	<i>df</i>	<i>SS</i>	<i>F</i>	<i>p</i>	<i>df</i>	<i>SS</i>	<i>F</i>	<i>p</i>				
A1																
Feld	24	3.053	1.320	0.251	24	3.316	1.215	0.318	26	3.563	1.850	0.062				
Periode	1	0.190	1.973	0.173	1	0.484	4.253	0.050	1	0.186	2.508	0.125				
Reststreuung	24	2.313			24	2.728			26	1.925						
A2																
Feld	24	3.053	1.910	0.063	24	3.316	1.670	0.104	26	3.563	2.468	0.013				
Stoppelfelder	1	0.937	14.065	0.001	1	1.225	15.072	<0.001	1	0.694	12.498	0.002				
Periode	1	0.035	0.526	0.476	1	0.117	1.434	0.243	1	0.029	0.527	0.475				
Reststreuung	23	1.532			23	1.870			25	1.388						
B	1991–92 vs. 2005–06				1992–93 vs. 2005–06				1993–94 vs. 2005–06				1994–95 vs. 2005–06			
	<i>df</i>	<i>SS</i>	<i>F</i>	<i>p</i>	<i>df</i>	<i>SS</i>	<i>F</i>	<i>p</i>	<i>df</i>	<i>SS</i>	<i>F</i>	<i>p</i>	<i>df</i>	<i>SS</i>	<i>F</i>	<i>p</i>
B1																
Feld	25	3.0	0.975	0.525	25	4.016	1.158	0.358	25	4.011	1.271	0.277	25	3.750	1.455	0.177
Periode	1	0.173	1.406	0.247	1	0.751	5.416	0.028	1	0.876	6.943	0.014	1	0.173	1.679	0.207
Reststreuung	25	3.077			25	3.468			25	3.155			25	2.577		
B2																
Feld	25	3.0	1.267	0.282	25	4.016	1.576	0.135	25	4.011	1.485	0.1681	25	3.750	1.768	0.084
Stoppelfelder	1	0.918	9.699	0.005	1	1.480	14.516	<0.001	1	1.021	9.451	0.005	1	0.689	8.119	0.009
Periode	1	0.059	0.624	0.437	1	0.293	2.873	0.103	1	0.418	3.870	0.061	1	0.025	0.296	0.591
Reststreuung	24	2.273			24	2.446			24	2.592			24	2.036		

