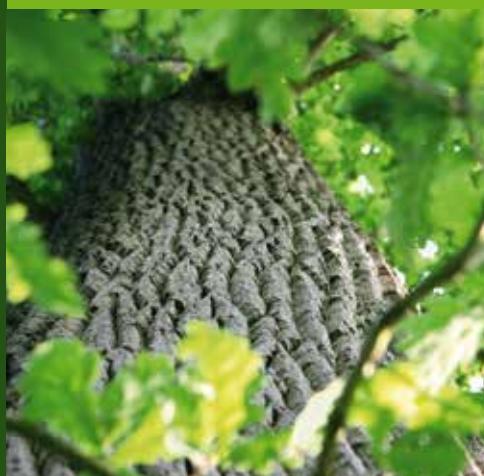


Landbauforschung

Applied Agricultural and Forestry Research

Vol. 63
No. 3 · 09.2013



Landbauforschung

Applied Agricultural and Forestry Research

Landbauforschung *Applied Agricultural and Forestry Research* ist eine wissenschaftliche Zeitschrift, in der Forschungsergebnisse zu gesellschaftlich relevanten Themen veröffentlicht werden, die einen Bezug zur Landwirtschaft, zur Forstwirtschaft und zur ländlichen Entwicklung aufweisen. Die Zeitschrift ist damit explizit disziplinenübergreifend ausgerichtet.

Erwünscht sind insbesondere anwendungsorientierte wissenschaftliche Beiträge, die interdisziplinär angelegt sind oder die ausgeprägte Bezugspunkte zu anderen Fachdisziplinen aufweisen.

Der geographische Fokus der Zeitschrift liegt auf Deutschland und Europa.

Landbauforschung *Applied Agricultural and Forestry Research* wird vom Thünen-Institut herausgegeben und erscheint vierteljährlich. Die Beiträge unterliegen einer doppelt-anonymen Begutachtung (double blind peer review). Sie können in Englisch oder Deutsch verfasst sein.

Für den Inhalt der Beiträge sind die Autoren/Autorinnen verantwortlich. Eine Haftungsübernahme durch die Redaktion erfolgt nicht.

Mit der Einsendung von Manuskripten geben die Verfasser/Verfasserinnen ihre Einwilligung zur Veröffentlichung. Die von den Autoren/Autorinnen zu beachtenden Richtlinien zur Einreichung der Beiträge sind unter www.ti.bund.de/landbauforschung oder bei der Geschäftsführung erhältlich.

Indexiert in: CAB International, Science Citation Index Expanded, Current Contents – Agriculture, Biology & Environmental Sciences, Scopus, Web of Science.

Herausgeber
Johann Heinrich von Thünen-Institut

Schriftleitung
Prof. Dr. Andreas Bolte,
Prof. Dr. Peter Weingarten

Geschäftsführung
Dr. Matthias Rütze
Tel. +49 (0) 40 - 73962 247
Leuschnerstraße 91
21031 Hamburg, Germany
landbauforschung@ti.bund.de
www.ti.bund.de

Grafikdesign und Satz
Karin Tamoschat-Depolt, Thünen-Institut

Fotos Umschlagseite
Katja Seifert, Thünen-Institut (2),
Michael Welling, Thünen-Institut (1)

ISSN 0458-6859

Gedruckt auf FSC-zertifiziertem Papier

Alle Rechte vorbehalten.

Landbauforschung *Applied Agricultural and Forestry Research* is a scientific journal, concerning about the latest research results of socially relevant issues related to agriculture, forestry and rural development. The journal is targeted explicitly to interdisciplinary topics.

Particularly welcome are application-oriented scientific contributions with an interdisciplinary approach or have a close connection with other research areas.

The geographical focus of the journal is Germany and Europe.

Landbauforschung *Applied Agricultural and Forestry Research* is published by the Thünen Institute and appears quarterly. Contributions are subject to a double blind peer review. Articles may be written in English or German.

Authors are responsible for the content of their articles. The publishers are not liable for the content.

With the submission of a manuscript, the authors grant permission for publication. The guidelines for the submission of manuscripts can be found under www.ti.bund.de/landbauforschung or obtained from the publishers.

Indexed in: CAB International, Science Citation Index Expanded, Current Contents – Agriculture, Biology & Environmental Sciences, Scopus, Web of Science.

Publisher
Johann Heinrich von Thünen Institute

Editor in Chief
Prof. Dr. Andreas Bolte,
Prof. Dr. Peter Weingarten

Managing Editor
Dr. Matthias Rütze
Phone +49 40 - 73962 247
Leuschnerstraße 91
21031 Hamburg, Germany
landbauforschung@ti.bund.de
www.ti.bund.de

Graphic Design and Typesetting
Karin Tamoschat-Depolt, Thünen Institute

Photos cover pages
Katja Seifert, Thünen Institute (2),
Michael Welling, Thünen Institute (1)

ISSN 0458-6859

Printed on FSC-certified paper

All rights reserved.

Inhalt

Content

- Dierk Kownatzki und Wolf-Ulrich Kriebitzsch
Naturschutzanforderungen an die Forstwirtschaft: Douglasienvorkommen in Fauna-Flora-Habitat-(FFH)-Gebieten
201 Nature protection demands on forestry: presence of Douglas-fir in Natura 2000 sites
- Sarah Baum, Martin Weih and Andreas Bolte
Floristic diversity in Short Rotation Coppice (SRC) plantations: Comparison between soil seed bank and recent vegetation
221 Floristische Vielfalt in Kurzumtriebsplantagen (KUP): Vergleich zwischen Diasporenbank und aktueller Vegetation
- Malek Almethyeb, Silke Ruppel, Hans-Marten Paulsen, Nikolay Vassilev and Bettina Eichler-Löbermann
Single and combined applications of arbuscular mycorrhizal fungi and *Enterobacter radicincitans* affect nutrient uptake of faba bean and soil biological characteristics
229 Einzel- und Kombinationseffekte von Mykorrhizapilzen und *Enterobacter radicincitans* auf die Nährstoffaufnahme von Bohnen und bodenbiologische Parameter
- Maximilian Severin, Christian Ahl, Martin Kücke, Herman Van den Weghe und Jörg-Michael Greef
Phosphatlöslichkeiten und Phosphatdüngewirkung von Stoffen aus der Klärschlammaufbereitung – Betrachtung unterschiedlicher Aufbereitungsverfahren
235 Phosphate solubility and phosphate fertilizer effect of substances from sludge treatment – analysis of different treatment methods
- Jutta Berk, Christoph Schumacher, Maria-Elisabeth Krautwald-Junghanns, Madeleine Martin und Thomas Bartels
Verweildauer von Mastputen verschiedener Herkünfte im Bereich von Tränke- und Fütterungseinrichtungen
245 Time spent by fattening turkeys of different strains in feeding and drinking areas
- Klaus Walter
Fütterung und Haltung von Hochleistungskühen
8. Verluste durch Mastitis und Lahmheit
The feeding and husbandry of high performance cows
255 Part 8. Losses from mastitis and lameness

Naturschutzanforderungen an die Forstwirtschaft: Douglasienvorkommen in Fauna-Flora-Habitat-(FFH)-Gebieten

Dierk Kownatzki* und Wolf-Ulrich Kriebitzsch*

Zusammenfassung

Die Fläche aller FFH-Wald-Lebensraumtypen in Deutschland beträgt ca. 815.000 ha und verteilt sich auf 3.300 Schutzgebiete. Über 84 % dieser Fläche nehmen Buchenwald- und Eichenwald-Lebensraumtypen ein, in denen auch Douglasien vorkommen könnten. Nach vorsichtiger Einschätzung erscheint in weniger als 40 % aller Wald-FFH-Gebiete ein Vorkommen von Douglasie möglich. Die verfügbaren Informationen erlauben derzeitig weder die Identifikation von Schwerpunktregionen der Douglasienausbreitung in Wald-FFH-Gebieten noch von Douglasienanteilen innerhalb dieser Gebiete. Für genauere Aussagen wurden 111 Wald-FFH-Managementpläne, die Wald-Lebensräume mit einer Gesamtfläche von fast 65.000 ha repräsentieren, nach verschiedenen Kriterien ausgewertet. In den Waldflächen dieser Gebietsauswahl wachsen Douglasien mit einem mittleren Flächenanteil von 1,54 %. Die mittleren Anteile der Baumarten Lärche (3,2 %), Kiefer (3,3 %) und Fichte (7,9 %) sind deutlich höher. Im Durchschnitt sind ca. 16,6 % der Waldflächen innerhalb der ausgewählten FFH-Gebiete mit gesellschaftsfremden Baumarten bestockt. Bei alleiniger Betrachtung der FFH-Wald-Lebensräume sind einzelne gesellschaftsfremde Baumarten mit Flächenanteilen jeweils unter 1 % vorhanden. Auch in der Summe aller Baumarten wird die Obergrenze von 10 % für den Lebensraum untypischer Waldbauarten stets unterschritten. Somit sind hier die Bedingungen für einen günstigen Erhaltungszustand nach der FFH-Richtlinie der Europäischen Kommission in den Wald-Lebensraumtypen weitgehend erfüllt. In den Nicht-Lebensraumflächen können höhere Fremdbaumartenanteile vorhanden sein.

Schlüsselworte: Naturschutz, Douglasie, Natura 2000, Gebietsmanagement, Wald-Lebensräume

Abstract

Nature protection demands on forestry: presence of Douglas-fir in Natura 2000 sites

The area of all forest habitat types in German Natura 2000 sites covers about 815.000 ha in 3.300 protected areas. More than 84 % of this area is dominated by beech and oak forest habitat types in which Douglas-fir could be present. Based on a conservative estimation Douglas-fir could be present in less than 40 percent of these forest habitat types. No information is given according to either focal distribution areas of Douglas-fir or species-specific proportion of Douglas-fir within Natura 2000 sites. For more precise statements 111 management plans of Natura 2000 sites with a total area of nearly 65.000 ha were analysed. At average 1.54 % of these forest habitat types are covered by Douglas-fir. However, other habitat uncharacteristic tree species are more frequent in these forests (at average larch: 3.2 %, pine: 3.3 %, Norway spruce: 7.9 %). In the studied Natura 2000 sites habitat uncharacteristic tree species are present at an area of at average 16.6 %. Based on the area of the natural forest habitat types (which represent the protected part of the whole forest area within Natura 2000 sites) single exotic tree species are occurring at proportions less than 1 %, and at proportions below a Natura 2000 regulation-based upper margin of 10 % if considered all together. The forest habitat types of the studied Natura 2000 sites fulfil the conditions of a good conservation status. In contrast to that, exotic tree species may be present at higher proportions in the non-habitat areas within Natura 2000 sites.

Keywords: nature conservation, Douglas fir, Natura 2000, management plan, forest habitats

* Thünen-Institut für Weltforstwirtschaft, Leuschnerstraße 91,
21031 Hamburg

Kontakt: dierk.kownatzki@ti.bund.de

1 Einleitung

Die gegenwärtige Baumartenzusammensetzung der Wälder in Deutschland ist das Ergebnis Jahrtausende langer menschlicher Aktivitäten. Insbesondere in den letzten 200 Jahren führte die Aufforstung und Rekultivierung von stark devastierten Flächen zudem häufig zum Anbau von nicht standortsheimischen Arten wie *Pinus sylvestris* und *Picea abies* oder sogar gebietsfremden Baumarten. Dementsprechend ist nach Schmitz et al. (2004) die Baumartenzusammensetzung nur in ca. 35 % der Wälder in Deutschland naturnah (20,6 %) bzw. sehr naturnah (14,6 %). Die aktuelle Fläche der kulturbetonten und kulturbestimmten (und damit nicht standortsheimischen) Fichten- und Kiefernwaldtypen (Arbeitskreis Standortskartierung, 1996) in Deutschland beträgt etwa 1,7 Mio. ha oder 15 % der Gesamtwaldfläche (Schmitz et al., 2004). Die nach Europa eingebürgerte Douglasie gehört zu den gebietsfremden Baumarten und kommt vorwiegend in kulturbetonten und bestimmten Wäldern auf ca. 105.000 ha vor (Schmitz et al., 2004). Gemessen an der Gesamtwaldfläche Deutschlands (11,1 Mio. ha) ist der Anteil von Douglasie mit 1,7 % allerdings vergleichsweise gering; gebietsfremde Baumarten nehmen insgesamt einen Flächenanteil von etwa 4 % ein (Schmitz et al., 2004).

Die Douglasie ist waldökologisch und naturschutzfachlich vielfältig untersucht (u. a. Budde, 2006; Bürger-Arndt, 2000; Knoerzer, 1999; Reif et al., 2010; Walentowski, 2008). Die Standortansprüche der Douglasie decken sich weitestgehend mit denen der Buchen- und Eichen-Wald-Lebensräumen (Budde, 2006). Dort zeichnet sich die Douglasie durch ihre Wüchsigkeit und Vitalität aus. In verschiedenen Bundesländern wird sie daher bereits „für viele bodensaure Standorte als eingebürgert“ angesehen (Reif et al., 2005). Diese Auffassung fußt im Wesentlichen auf der Erkenntnis, dass sich die Douglasie wie ein Agriophyt verhält (Schroeder, 1968), sich also ohne menschliches Zutun lokal verjüngt und damit in die vorherrschende Vegetation integriert. Damit erfüllt die Douglasie nach Schmidt (2010) die Kriterien einer neuheimischen Art.

Befürworter dieser Baumart argumentieren weiterhin, dass sie aufgrund ihres klimatischen Anpassungsvermögens zur Stabilisierung von Waldökosystemen beitragen kann. Darüber hinaus könnte die Douglasie die Fichte ersetzen, die außerhalb ihrer natürlichen Verbreitung ebenfalls als gesellschaftsfremd anzusehen ist und in vielen Gebieten unter den erwarteten Klimabedingungen voraussichtlich nicht mehr wachsen kann. Naturschutzfachlich wird die Beimischung gebietsfremder Baumarten wie der Douglasie allerdings kritischer gesehen und häufig pauschal als Beeinträchtigung von Waldökosystemen gewertet.

Das Ziel der vorliegenden Untersuchungen ist, durch Auswertung bereits veröffentlichter Maßnahmen- bzw. Managementpläne von waldreichen FFH-Gebieten, Informationen zu Vorkommen gesellschaftsfremer Baumarten (u. a. Douglasie) in FFH-Gebieten zusammenzustellen und ihre Bedeutung für diese Schutzgebiete zu quantifizieren. Dabei wird folgenden Fragen nachgegangen: (1) mit welchen Anteilen kommen Douglasien oder andere gesellschaftsfremde

Baumarten in Waldschutzgebieten vor, die nach der FFH-Richtlinie (EC, 1992) ausgewiesen wurden; (2) wie lassen sich diese Baumarten in das Managementkonzept der FFH-Gebiete integrieren; (3) welche Bedeutung wird der Invasivität der Douglasie beim FFH-Gebietsmanagement beigemessen.

Diese Auswertungen tragen dazu bei, den Kenntnisstand über den Flächenumfang, mit dem gesellschaftsfremde Baumarten in Wald-FFH-Schutzgebieten vorkommen, zu verbessern und die Diskussion um die naturschutzfachliche Behandlung dieser Baumarten zu versachlichen. Darauf aufbauend lassen sich erst die naturschutzfachliche und waldwirtschaftliche Bedeutung dieser Flächen und damit die Relevanz dieser Diskussion abschätzen.

2 Umsetzung der Fauna-Flora-Habitat-Richtlinie (FFH-Richtlinie) in Wäldern Deutschlands

Um die noch vorhandenen natürlichen Lebensräume in der Kulturlandschaft Europas über ihren bisherigen nationalen Schutzstatus hinaus zu sichern und zu entwickeln, hat der Rat der Europäischen Gemeinschaften die Richtlinie 92/43/EWG oder Fauna-Flora-Habitat-(FFH)-Richtlinie (EC, 1992) erlassen. Die FFH-Richtlinie (EC, 1992) zielt auf die europaweite Ausdehnung und Vernetzung von Schutzgebieten ab, um eine vom Rückgang bedrohte Artenvielfalt zu erhalten. Der Wechsel aus Offenland- und Waldflächen prägt die Struktur einer Kulturlandschaft. FFH-Schutzgebiete sind Teile dieser Landschaft und sollen vorwiegend naturnahe und naturbelassene Landschaftsbestandteile bewahren.

Die FFH-Richtlinie sieht Maßnahmen zur Förderung der Gebietsentwicklung vor, die über Maßnahmen- bzw. Managementpläne umgesetzt werden sollen. Für die Erstellung und die Umsetzung von FFH-Managementplänen sind die Naturschutzbehörden in den Bundesländern zuständig. Bei den Managementplänen handelt es sich daher um eine unabhängige Naturschutzfachplanung. Aufgrund ihrer fachlichen Zuständigkeit für den Wald sind die örtlich zuständigen Forstbehörden oder zentral zuständige forstliche Einrichtungen bei der Erstellung der Pläne eingebunden. Vielfach erarbeiten sie in reinen Waldschutzgebieten die Pläne eigenverantwortlich, stimmen diese mit allen Beteiligten ab und setzen sie bei der Waldbewirtschaftung um. In Offenland-Wald-Mischgebieten übernehmen die Forstbehörden häufig den waldökologischen Fachbeitrag. In allen Fällen sind sie am Abstimmungsprozess mit den betroffenen Grundeigentümern beteiligt. Das FFH-Gebietsmanagement setzt damit anders als eine rein betriebliche Planung Eigentümerübergreifend ein abgestimmtes Nutzungsregime zum Biotop- und Artenschutz um.

Die Behördenverbindlichkeit der FFH-Managementpläne ist bundesweit uneinheitlich geregelt. In den Ländern, in denen die FFH-Managementpläne als behördenverbindlich gelten, sind sie ein integraler Bestandteil der Nutzungsplanung im öffentlichen Wald. Ohne flächenscharfe Festlegung bleibt der Fachplan jedoch räumlich und zeitlich un-

konkret und damit angesichts grob formulierter Erhaltungs- und Entwicklungsziele unverbindlich (Erb, 2007). Im nicht öffentlichen Wald beruht die Umsetzung der abgestimmten Maßnahmen im Wesentlichen auf Freiwilligkeit. Daher werden beispielsweise im Privatwald konkrete Maßnahmen durch spezielle Förderprogramme und den Vertragsnaturschutz gezielt umgesetzt.

Selten liegen die schützenswerten Offenland- und Wald-Lebensräume unmittelbar nebeneinander. Sie sind vielmehr in einem Landschaftsmosaik aus unterschiedlichsten Flächencharakteristiken einschließlich naturfernerer Übergangsbereiche und Kulturflächen eingebettet und zudem mit unterschiedlichen Flächenanteilen innerhalb der FFH-Schutzgebiete präsent. Insgesamt sind in Deutschland (einschließlich der Meere und Meeresküsten) 4.617 FFH-Gebiete mit einer Gesamtfläche von mehr als 5,4 Mio. ha ausgewiesen worden, von denen allein 2,1 Mio. ha zu Gewässerlebensräumen (Meere, Seen, Flüsse) gehören (BfN, 2010). Die terrestrischen FFH-Gebiete in Deutschland erstrecken sich über eine Gesamtfläche von 3,3 Mio. ha.

2.1 Wald-Lebensräume in FFH-Gebieten

Zur europaweit einheitlichen Erfassung aller Natura 2000-Gebiete, zu denen auch FFH-Gebiete zählen, hat die Europäische Kommission einen Standarddatenbogen ent-

wickelt (EC, 1994). Mit dem Standarddatenbogen werden alle für ein Gebiet relevanten Angaben zusammengetragen, in einer Access-Datenbank *Natura 2000-Sachdaten* zusammengefasst und laufend aktualisiert (BfN, 2010). Anhand dieser Datenbank sind von den in der FFH-Richtlinie definierten Wald-Lebensraumtypen 17 mit einer Fläche von nahezu 815.000 ha in etwa 3.300 Schutzgebieten vertreten (Ssymank, 2007); darunter ca. 88.000 ha mit prioritärem Charakter (siehe Tabelle 1). Diese 3.300 FFH-Gebiete repräsentieren eine Gebietsfläche von fast 1,9 Mio. ha (Thoroë, 2009). Über die Waldanteile in den einzelnen FFH-Gebieten liegen allerdings keine Angaben vor. Abweichend von den Angaben der Tabelle 1 zählen Dieter et al. (2012) 3.565 ha bewaldete Küstendünen (EU-Code 2180) ebenfalls zu den Wald-Lebensräumen.

Ein bedeutender Anteil der Wald-Lebensräume war bereits vor der Ausweisung als FFH-Gebiet durch nationales Naturschutzrecht geschützt. Mehrheitlich handelt es sich dabei um Vorrangflächen für den Arten- und Biotopschutz, die es dauerhaft in ihrem Bestand und ihrer natürlichen Fortentwicklung zu sichern gilt. Das geschieht in vielen dieser Lebensräume im Rahmen einer naturnahen Waldbewirtschaftung, die i. d. R. in Managementplänen festgelegt und zwischen den Interessensgruppen abgesprochen ist. Gelegentlich wird auf die Bewirtschaftung dieser Vorrangflächen sogar vollständig verzichtet, um deren unbeeinflusste Entwicklung zu beobachten.

Tabelle 1

Aktualisierte Übersicht zu den Wald-Lebensraumtypen auf der Basis von 4.617 erfassten Natura 2000-Gebieten in Deutschland; nach Ssymank (2007) verändert und ergänzt (Quelle: BfN, 2010).

Wald-Lebensraumtyp	EU-Kürzel	Anzahl FFH-Gebiete	Flächenanteil (in ha)	Flächenanteil (in %)	zus.-gefasst (in %)
Bodensaure Buchenwälder	9110	1.253	240.620	29,5	
Atlant. bodensaure Buchen-Eichenwälder	9120	36	480	0,1	
Basenreiche Buchenwälder	9130	1.327	328.090	40,3	
Mitteleurop. Bergahorn-Buchenwälder	9140	26	1.580	0,2	
Kalkbuchenwälder	9150	364	15.980	2,0	
Sternmieren-Eichen-Hainbuchenwälder	9160	766	33.675	4,1	
Sek. Labkraut-Eichen-Hainbuchenwälder	9170	580	49.200	6,0	
Alte bodensaure Eichenwälder	9190	530	17.595	2,2	
Pann. Eichen-Hainbuchenwälder	91G0*	10	105	< 0,1	
Schlucht- und Hangmischwälder	9180*	705	13.750	1,7	
Moorwälder	91D0*	738	26.120	3,2	
Erlen-/Eschen-Auenwälder	91E0*	1.947	48.025	5,9	
Ulmen-/Eichen-Hartholz-Auenwälder	91F0	163	14.410	1,8	
Mitteleurop. Flechten-Kiefernwälder	91T0	11	185	< 0,1	
Kiefernwälder d. sarmatischen Steppe	91U0	24	85	< 0,1	
Montane/alpine bodensaure Fichtenwälder	9410	136	23.210	2,9	
Alpine Lärchen-/Lärchen-Arvenwälder	9420	6	1.215	0,1	
Sa.		3.294**	814.325		

* prioritäre Lebensraumtypen

** Da in jedem FFH-Gebiet auch mehrere Wald-Lebensraumtypen vorkommen können kann ihre Anzahl nicht über die Zahl der Wald-FFH-Gebiete direkt abgeleitet werden; sie wurde daher aus den Natura 2000-Sachdaten (BfN, 2010) separat abgeleitet

Tabelle 1 enthält die aktualisierten Angaben zu den Wald-Lebensraumtypen in den derzeit 4.630 FFH-Gebieten Deutschlands. Die kumulierten Flächen aller Wald-Lebensräume betragen demnach insgesamt 814.325 ha und verteilen sich auf 3.294 FFH-Gebiete. Nach Tabelle 1 bilden Buchenwald- und Eichenwald-Lebensraumtypen (Anhang I der FFH-Richtlinie) mit über 84 % den flächenmäßigen Schwerpunkt der FFH-Gebietsausweisung in Wäldern.

3 Datengrundlagen zu Douglasienvorkommen in FFH-Gebieten in Deutschland

Douglasien wachsen in Deutschland auf Waldflächen unterschiedlicher Besitzarten, so dass die Vorkommen nicht zentral erfasst sind. Selbst auf der Ebene der Forstbetriebe liegen zu Vorkommen und Flächenausdehnung Informationen nur unvollständig vor, da erst ab einer bestimmten Flächengröße eine forstliche Betriebsplanung mit Angaben zum Baumarteninventar vorgeschrieben ist. Daten hierzu sind zudem zum größten Teil nicht öffentlich zugänglich. Daher mussten für die Erhebung der bundesweiten Douglasienvorkommen andere Datenquellen erschlossen werden.

3.1 FlorKart-Informationen (Quelle: www.floraweb.de)

Bundesweite Information zu Douglasienvorkommen liefert die zentrale Datenbank *FlorKart*, die im Auftrag des Bundesamtes für Naturschutz (BfN) aus den Daten zweier separater Vegetationskartierungen in West- und Ostdeutschland entwickelt wurde. Die Angaben zu Vorkommen von Pflanzenarten beziehen sich auf Messtischblatt-Viertel (BfN, 2009). Je nach regionaler Kartierdichte weist die Datenbank allerdings Lücken auf. Aus der Datenbank *FlorKart* lassen sich kartografische Übersichtsdarstellungen zur Verbreitung von Pflanzenarten erzeugen, die das Online-Informationsangebot des BfN und des Netzwerkes zur Phytodiversität (www.floraweb.de) auch für die Douglasie bereitstellt (vgl. Abbildung 1). Die zentrale Bezugseinheit für die Kartendarstellung in *FlorKart* ist das Messtischblatt, eine topografische Karte im Maßstab 1:25.000, mit seinem Hoch- und Rechtswert. Die Messtischblattinformation zu Douglasienvorkommen lässt sich mit anderen Angaben auf der gleichen Kartengrundlage abgleichen, wie beispielsweise mit der Gebietskennung oder dem Flächenzuschnitt von FFH-Gebieten.

Die Abbildung 1 repräsentiert 608 Messtischblätter, in denen Douglasien wachsen (BfN, 2009). Zusätzlich sind vier Großregionen mit potentiell gehäuftem Vorkommen dieser Baumart durch rote Ovale markiert; u. a. das Sauerland und der Pfälzerwald. Hinweise auf die forstlich bedeutsamen Vorkommen im Schwarzwald dagegen fehlen in dieser Abbildung (vgl. z. B. Kownatzki et al., 2011; Abb. 2.2, S. 22).

3.2 Stichprobenpunktinformationen der Zweiten Bundeswaldinventur (BWI²; Stand 2002)

Eine weitere Möglichkeit zur Schätzung des Douglasienvorkommens in FFH-Gebieten bieten die Inventurergebnisse der Zweiten Bundeswaldinventur (BWI², Schmitz et al. 2004) in Verbindung mit den geografischen Informationen zu den Außengrenzen der FFH-Gebiete. Für jede Traktecke eines georeferenzierten BWI-Stichprobenpunktes sind die Anteile der vorkommenden Baumarten erfasst. Somit lässt sich für jede Traktecke mit anteilig erfasster Douglasie prüfen, ob sie sich in einem FFH-Gebiet befindet. Neben der Zuordnung zu einem FFH-Gebiet ist auch der Douglasienanteil für jede Traktecke in einer Übersichtskarte darstellbar.

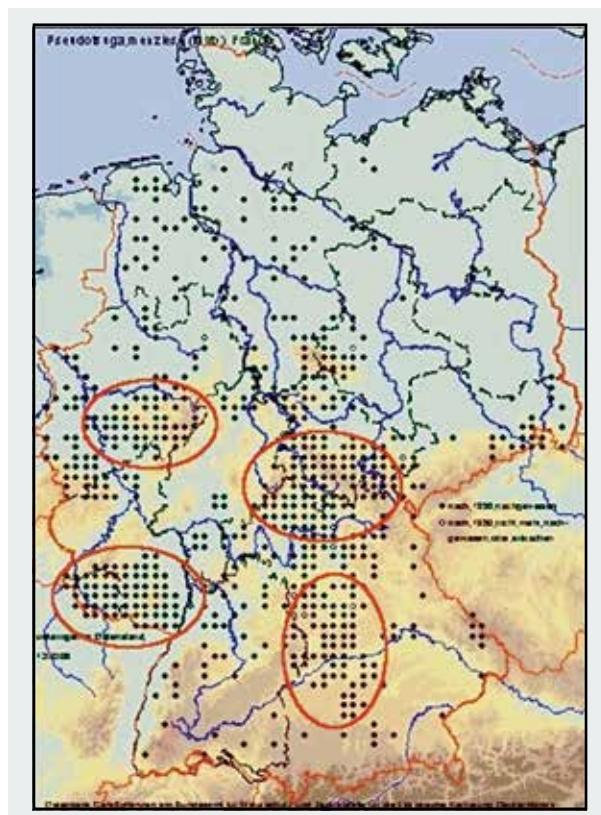
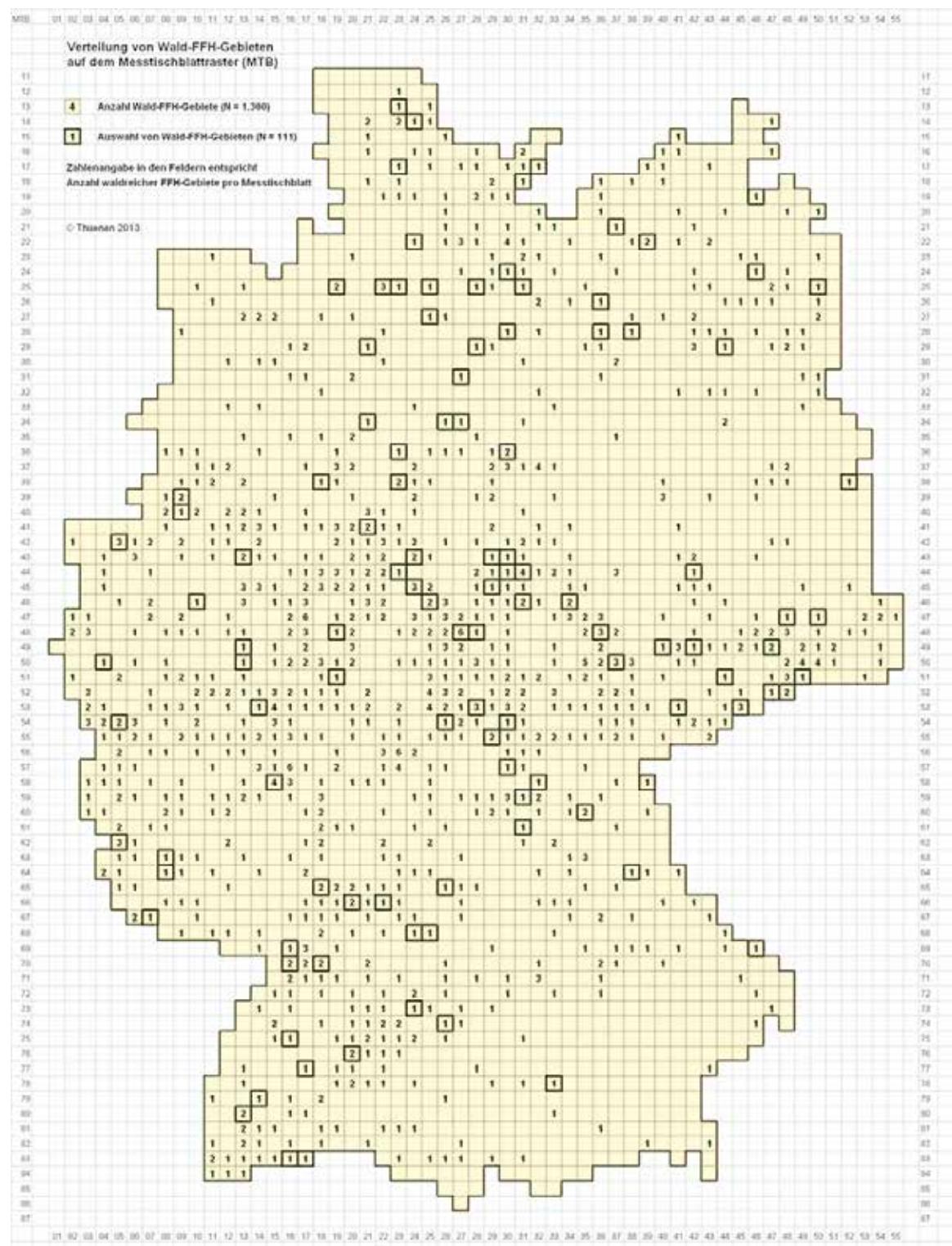


Abbildung 1

Potentielle Schwerpunkte der Douglasienverbreitung in Deutschland nach Angaben von *FlorKart* auf der Grundlage von Messtischblattinformationen (BfN, 2009); schwarz gefüllte Punkte repräsentieren Messtischblätter mit Vorkommen von Douglasie, die nach 1950 nachgewiesen sind; weiß gefüllte Punkte markieren Vorkommen, die nach 1950 nicht mehr nachgewiesen sind.

3.3 Natura 2000-Sachdaten

Die Datenbank der *Natura 2000-Sachdaten* (BfN, 2010) ermöglicht kriterienbezogene Abfragen, beispielweise nach

**Abbildung 2**

Karte der FFH-Gebiete mit hohem Waldanteil (N = 1.300) auf Messtischblatenebene.

Die Zahlenangabe in den gelben Feldern entspricht der Anzahl waldreicher FFH-Gebiete pro Messtischblatt. Die stark gerahmten Felder repräsentieren die Auswahl von 111 Wald-FFH-Gebieten, deren Unterlagen ausgewertet wurden.

der Flächensumme der Wald-Lebensräume (vgl. Tabelle 1) oder aber nach Wald-FFH-Gebieten, in denen die Wald-Lebensräume auf wenigstens einem Viertel der Gebietsfläche dominieren. Diese zuletzt genannten, als waldreich eingestuften Wald-FFH-Gebiete ($N = 1.300$) erstrecken sich über eine Fläche von insgesamt 1,6 Mio. ha. Sie bilden die Grundgesamtheit, aus der eine zufällige Unterstichprobe an FFH-Dokumenten ($N = 111$) im Weiteren ausgewertet wird. Diese Stichprobe ist nahezu gleichmäßig über das Bundesgebiet verteilt (siehe Abbildung 2).

3.4 Managementpläne ausgewählter FFH-Gebiete

Wegen der Zuständigkeit der Bundesländer ist der inhaltliche Aufbau und Informationsgehalt von Managementplänen oder vergleichbaren Dokumenten eher uneinheitlich, wie der Vergleich von Unterlagen aus verschiedenen Ländern zeigt. Gewisse Grunddaten wie Angaben zur Gebietsgröße und zu FFH-Lebensräumen sind generell vorhanden. In einigen Plänen fehlt aber die Angabe der Waldfläche und nicht immer enthalten die Dokumente die gewünschten Daten, um Fragen zur ökologisch-naturschutzfachlichen Behandlung der Douglasie zusammenfassend beantworten zu können. In einigen Fällen ließen sich allerdings die gewünschten Informationen aus vorhandenen Daten rechnerisch ermitteln oder durch Informationen aus Zusatzdokumenten (Anhängen, Gebietsübersichten, etc.) ergänzen.

Die Erstellung von Maßnahmenplänen ist länderweise unterschiedlich weit fortgeschritten. Nach Angaben des BfN (2011) sind für etwa 12 % aller FFH-Gebiete Managementpläne einschließlich Bewirtschaftungserlasse und Sofortmaßnahmenkonzepte verfügbar. Hinsichtlich der Verfügbarkeit abgestimmter FFH-Managementpläne bestehen daher regional erhebliche Unterschiede, die nur bedingt mit den Schwerpunkten von Douglasienvorkommen in Deutschland übereinstimmen (vgl. Abbildung 1).

Als Grundlage für die Auswertung der Managementpläne hat sich deshalb statt einer Beschränkung auf mögliche Schwerpunktregionen der Douglasienvorbreitung eine in Bezug auf die potentiellen Douglasienvorkommen eher zufällige, aber bezogen auf die Waldflächenausstattung für Deutschland repräsentative Auswahl von FFH-Gebieten ergeben (vgl. Abbildung 2). Für die Beantwortung einer Reihe von Fragen zu Douglasienvorkommen in Wald-FFH-Gebieten wurden die Unterlagen der Unterstichprobe (siehe Kap. 3.3) auf textliche Hinweise (a) zum Vorhandensein von Douglasien und anderer gesellschaftsfremder Baumarten in Wald und Wald-Lebensräumen, (b) zur Struktur des Waldbesitzes und (c) zum Erhaltungszustand des Gebiets oder der dort vorkommenden FFH-Lebensräume gesichtet und ausgewertet.

Soweit vorhanden wurden dabei Angaben zu den Anteilen gesellschaftsfremder Baumarten, getrennt nach der Flächenzugehörigkeit zu Wald allgemein und zu den einzelnen Wald-Lebensraumtypen im Besonderen, zusammengestellt und analysiert. In diesem Zusammenhang interessiert auch die Behandlung von Waldflächen innerhalb von FFH-Gebieten, die definitionsgemäß keine natürlichen Wald-Lebens-

räume repräsentieren, aber faktisch eine systematische Erweiterung der bisherigen Schutzgebietskulisse darstellen.

4 Ergebnisse

4.1 Annäherung an Douglasienvorkommen in FFH-Gebieten in Deutschland

Die Ergebnisdarstellung folgt dem Detaillierungsgrad der verfügbaren Informationen und gliedert sich in zwei Teile. Der erste Teil enthält Übersichtskarten zu Douglasienvorkommen und FFH-Gebieten und beginnt mit den auf dem Messtischblatt spezifizierten *FlorKart*-Daten in Übereinstimmung mit der Natura 2000-Gebietskennung. Auch die Stichprobepunkte der Zweiten Bundeswaldinventur, die in FFH-Gebieten liegen, halten punktuelle Informationen zu Douglasiananteilen bereit. Abschließend wurden die gebietsunspezifischen *FlorKart*-Informationen zur Douglasie mit den Texthinweisen der ausgewerteten 111 FFH-Dokumente abgeglichen und auf das Messtischblattraster übertragen.

Der zweite Teil liefert zunächst Informationen zur Art der ausgewerteten FFH-Dokumente, der zugehörigen Gebiets- und Waldfläche sowie zur Art des Waldbesitzes. Zentrale Punkte der Auswertung sind (1) die Struktur des Waldbesitzes mit unterschiedlicher Referenzfläche, (2) die Flächenanteile gesellschaftsfremder Baumarten (a) am Baumarteninventar bzw. (b) in den Wald-Lebensraumtypen ausgewählter FFH-Gebiete sowie (3) Einzel- und Gesamterhaltungszustände vorkommender Wald-Lebensraumtypen. Abschließend sind die in den FFH-Dokumenten vorhandenen Hinweise (a) zur Ausbreitungsbiologie der Douglasie, (b) zur veränderten Baumartenwahl sowie (c) zur optionalen Integration der Douglasie wiedergegeben.

4.1.1 Douglasienvorkommen in Übereinstimmung von Messtischblattinformationen der *FlorKart*- und Natura 2000-Daten

Der Abgleich der *FlorKart*-Douglasienvorbreitungskarte (Abbildung 1) mit den Messtischblattinformationen über terrestrische FFH-Gebiete ergab, dass in 353 der ursprünglich 608 Messtischblättern mit Douglasie sich auch FFH-Gebiete befinden (Signatur in Abbildung 3: violette Felder). Nach Angaben der Natura 2000-Sachdaten (BfN, 2010) lassen sich etwa ein Drittel aller terrestrischen FFH-Gebiete ($N = 1.300$) als waldreich einstuften. Die Anzahl der FFH-Gebiete mit prägendem Waldanteil sind zusätzlich in dem Messtischblattraster eingetragen. Violette Felder mit Zahlenangabe enthalten sowohl Douglasien als auch Wald-FFH-Gebiete. Aus dieser räumlichen Parallelität lässt sich aber kein unmittelbarer Hinweis auf ein Vorkommen von Douglasien innerhalb des Schutzgebiets ableiten.

Wertet man die violetten Felder mit Zahlangabe als mögliches Douglasienvorkommen in waldreichen FFH-Gebieten, erhält man insgesamt 159 Messtischblätter, die wiederum 220 Wald-FFH-Gebiete repräsentieren. Auf der Grundlage dieser Informationen könnten in weniger als 20 % aller 1.300 Wald-FFH-Gebiete Douglasien wachsen. Im erlaubten Umkehr-

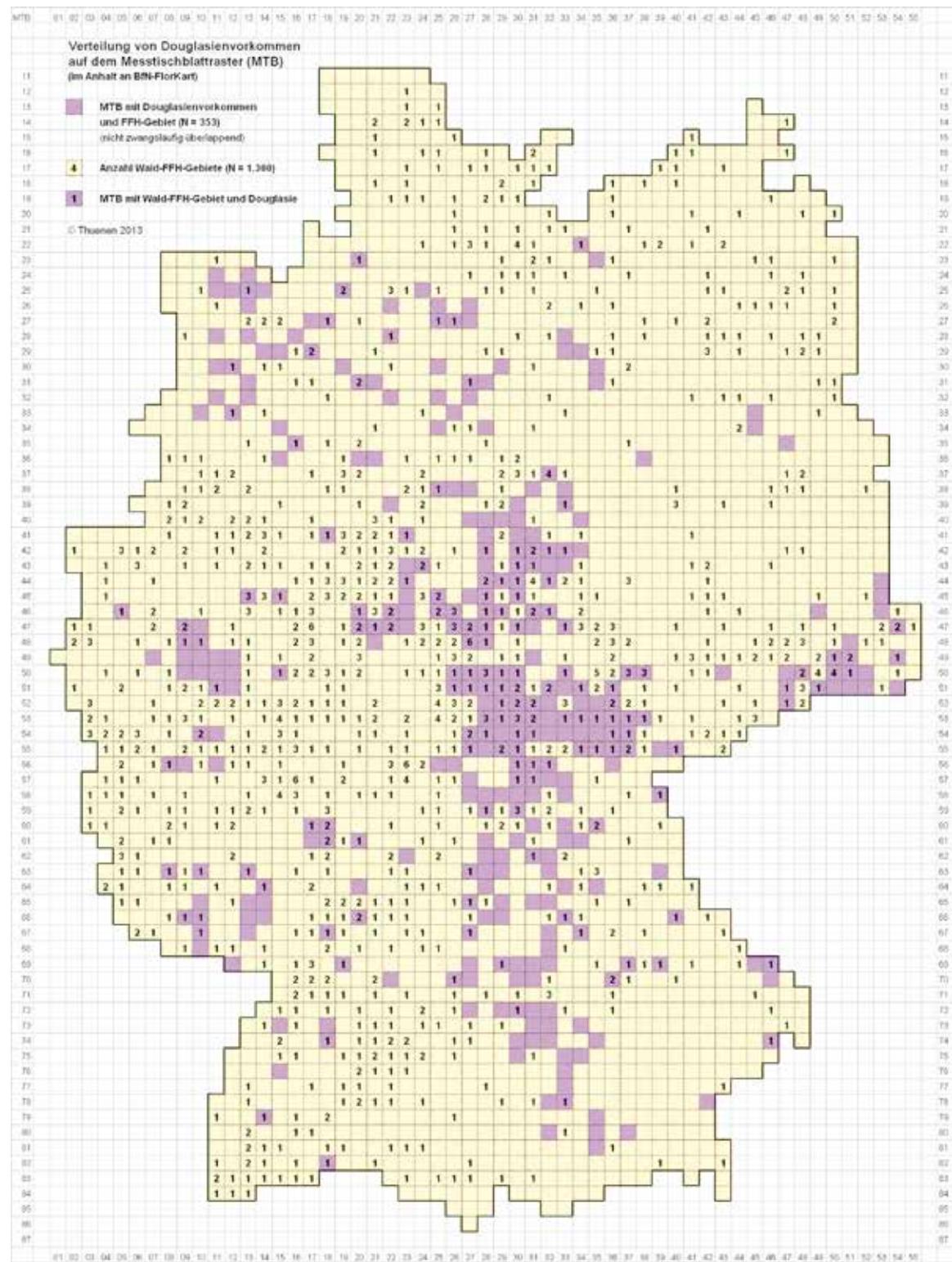


Abbildung 3

Karte der gleichzeitigen Präsenz von Douglasienvorkommen (nach *FlorKart*) und FFH-Gebieten auf Messtischblattebene

Die Zahlenangabe in den gelben und violetten Feldern gibt die Zahl der waldreichen FFH-Gebiete pro Messtischblatt an. Die gleichzeitige Präsenz von FFH-Gebieten (auch mit geringen Waldanteilen oder waldfrei) und Douglasienvorkommen auf ein und demselben Messtischblatt ist durch die violett eingefärbten Quadrate gekennzeichnet (N = 353) – ermittelt von Franz Kroher, Thünen-Institut für Waldökosysteme, Eberswalde auf der Grundlage von *FlorCart* und einer Karte mit den digitalen Außengrenzen aller FFH-Schutzgebiete in Deutschland (Quellen: www.floraweb.de; www.BfN.de). Weitere Hinweise siehe Text.

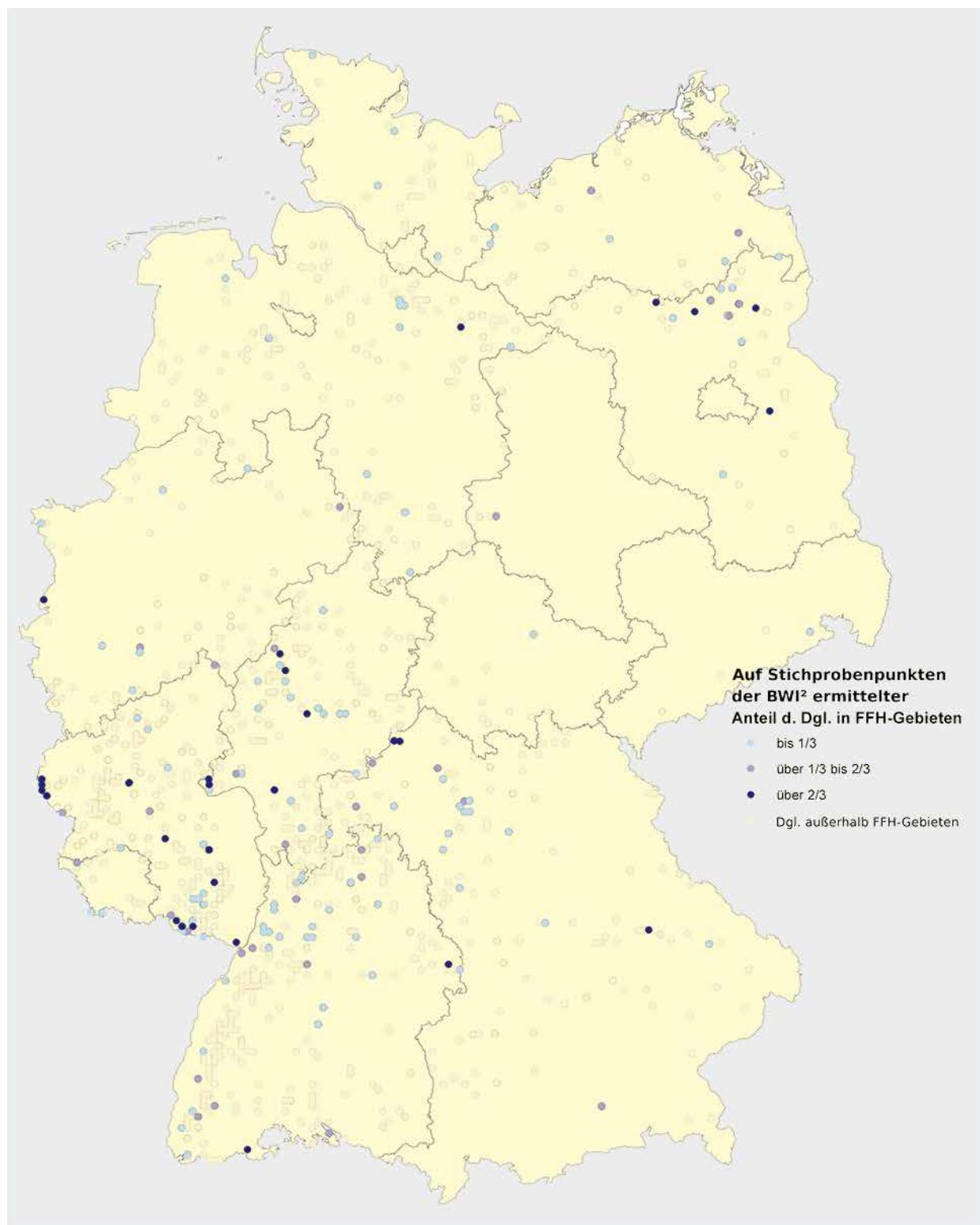


Abbildung 4

Douglasienvorkommen in FFH-Gebieten auf Basis der Zweiten Bundeswaldinventur (BWI²) mit Angaben zu den auf den Stichprobenpunkten ermittelten Douglasienanteilen

schluss sollten demnach in einem Großteil der Wald-FFH-Gebiete keine Douglasien vorhanden sein. Diese Aussage gilt es anhand von konkreteren Informationen über Baumartenvorkommen in den ausgewählten FFH-Gebieten zu überprüfen.

4.1.2 Douglasienvorkommen in FFH-Gebieten nach Angaben der Bundeswaldinventur (BWI)²

In Abbildung 4 sind die 1.506 Traktecken der BWI² dargestellt, auf denen Douglasien festgestellt worden sind. Von diesen dargestellten Traktecken liegen 211 wiederum in FFH-Gebieten und sind mit dem auf der jeweiligen Traktecke ermittelten Anteil von Douglasie wiedergegeben (siehe Abbildung 4).

Das Stichprobenraster der BWI² ist grundsätzlich geeignet, Fragen zum Wald in Deutschland repräsentativ zu beantworten. Eine Hochrechnung aus den Daten der BWI² ergibt zwar eine Waldfläche von schätzungsweise 1,9 Mio. ha (etwa 17 % an der Gesamtwaldfläche) in der terrestrischen FFH-Schutzgebietskulisse (Thoroe, 2009). Für diesen Anteil lassen sich jedoch keine statistisch gesicherten Baumartenanteile angeben; insbesondere nicht für die stichprobentechnisch seltene Douglasie. Dennoch stimmt die ermittelte Anzahl von 211 FFH-Gebieten mit Douglasie der Größenordnung nach recht gut mit den oben genannten *FlorKart*-Angaben überein. Im Vergleich zu Letzteren bestehen allerdings deutliche Unterschiede hinsichtlich der geografischen Schwerpunkte der Douglasienverbreitung, so dass die genannte Zahl von 211 FFH-Gebieten eher eine untere Grenze von Natura 2000-Arealen darstellen dürfte, in denen Douglasien wachsen.

4.1.3 Douglasienvorkommen in der Unterstichprobe von 111 Wald-FFH-Gebieten

In Übereinstimmung mit Abbildung 3 ist in 25 der 111 Wald-FFH-Gebiete (Signatur in Abbildung 5: violette Quadrate) ein Vorkommen von Douglasie zu vermuten. Das entspricht wiederum einer Größenordnung von etwa 20 %. Tatsächlich sind aber nach Auswertung der vorliegenden FFH-Dokumente Douglasien (dunkelblau gerahmte violette Quadrate) in nur 8 der 25 möglichen Gebiete und damit in weniger als 10 %

der gesamten Unterstichprobe vorhanden. Im Gegensatz dazu befinden sich Hinweise auf Anbauten von Douglasien (Signatur in Abbildung 5: dunkelblau gerahmte hellblaue Felder) in 32 der 86 übrigen ausgewerteten Unterlagen von FFH-Gebieten, die nach den vorliegenden Messtischblattangaben der *FlorKart*-Verbreitungskarte (Abbildung 1) potentiell als douglasienfrei gelten durften. Insgesamt sind somit in 40 der 111 betrachteten FFH-Gebiete Douglasienvorkommen dokumentiert. Damit wird der eingangs vermutete Gebietsanteil von 20 % sichtlich überstiegen.

Ursächlich für diese Befunde kann einerseits sein, dass die *FlorKart*-Angaben sich zwar auf Wald innerhalb des Messtischblatt-Viertels, aber nicht explizit auf den Wald in FFH-Gebieten des gleichen Messtischblattes beziehen. Andererseits ist es möglich, dass die Informationen von *FlorKart* den Wald innerhalb eines Messtischblatts nicht vollständig abdecken oder trotz einer laufenden Fortschreibung nicht mehr aktuell sind. Grundsätzlich gilt, dass sich aus der Douglasienverbreitungskarte somit keine generellen Rückschlüsse auf Vorkommen in FFH-Gebieten ziehen lassen. Für konkrete Aussagen hierzu ist eine einzelfallweise Überprüfung für jedes Gebiet erforderlich. Unabhängig vom tatsächlichen Informationsgehalt der Verbreitungskarte und unter der Annahme, dass die Unterstichprobe für Wald-FFH-Gebiete als repräsentativ gelten kann, ist in etwas weniger als 40 % aller Wald-FFH-Gebiete ein Vorkommen von Douglasien möglich. Dies ist erkennbar mehr, als nach den *FlorKart*-Angaben ursprünglich zu vermuten war. Nach vorsichtiger Einschätzung könnten somit in etwa 500 Wald-FFH-Schutzgebieten Douglasien wachsen. Diese Zahl sollte nach Fertigstellung aller Managementpläne für den Wald überprüft werden. Von Interesse ist auch die bisher nicht geklärte Frage, mit welchen Flächenanteilen die Douglasie in diesen Gebieten tatsächlich auftritt.

4.1.3.1 Flächenangaben

Laut Tabelle 2 haben die 111 FFH-Gebiete zusammen eine Fläche von fast 215.000 ha, in der eine Waldfläche von nahezu 135.000 ha (nach den Angaben von 105 Gebieten) enthalten ist. Die Schutzgebietsgröße der untersuchten Gebiete variiert von 13 bis über 56.000 ha und umfasst in der Summe mehr als 64.800 ha naturnahe Wald-Lebensraumtypen.

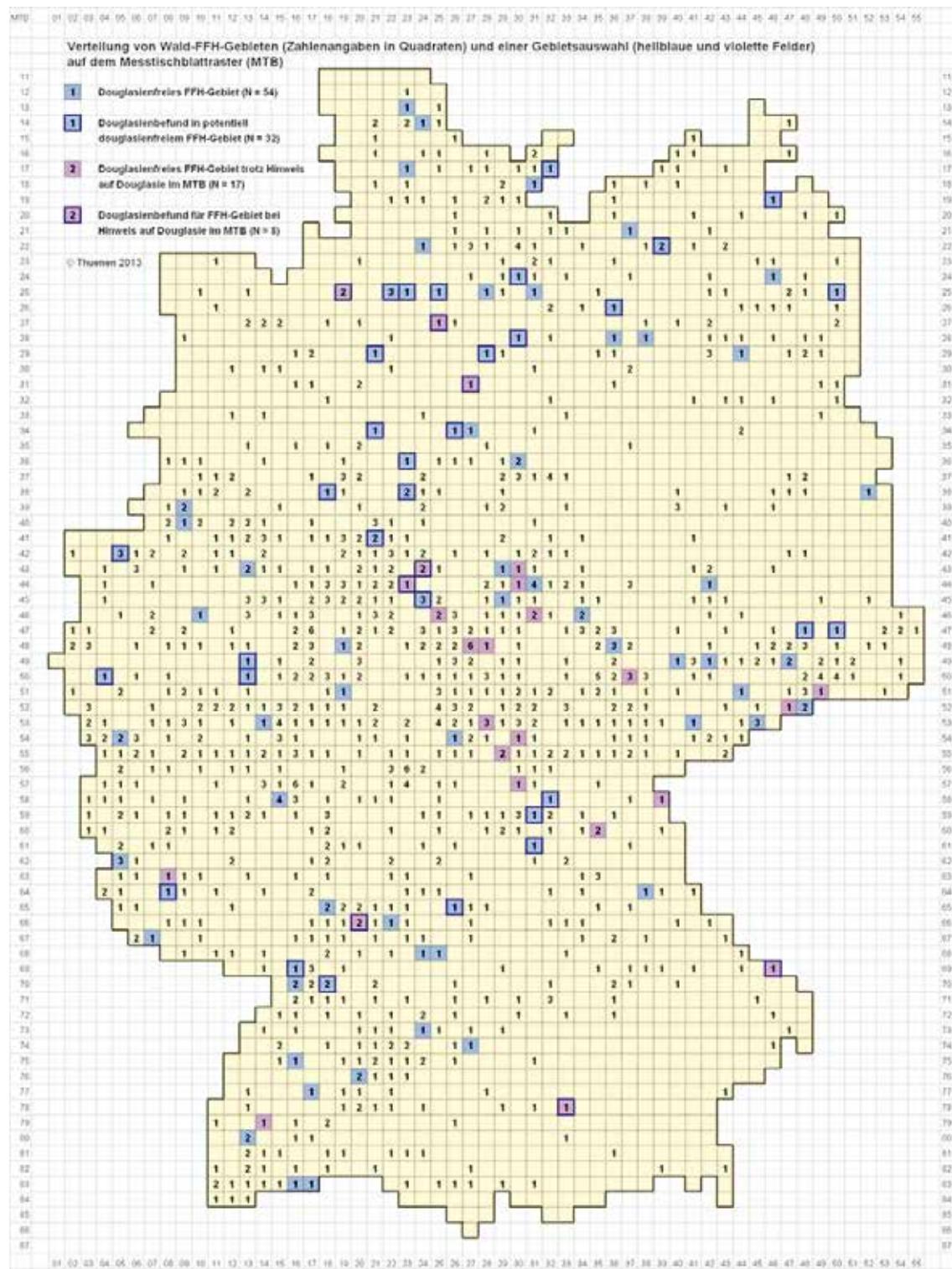
Tabelle 2

Übersicht der Unterlagen zu den 111 erfassten FFH-Gebieten

Art des Dokuments	Anzahl	Gebietsfläche (in ha)	davon mit Angaben zu Wald	Waldfläche (in ha)	Angaben zu Art des Waldbesitzes
Managementplan	59	51.022,9	56	34.662,8	55
Pflege- und Entwicklungsplan	17	34.823,3	17	25.948,8	17
Vorläufiges Waldbehandlungskonzept	15	30.430,0	15	26.165,0	k. A.
Sofortmaßnahmenkonzept	11	5.740,1	9	4.809,7	8
Sonstige*	9	92.742,9	8	43.228,0	4
Summe	111	214.759,2	105	134.814,3	84**

* u. a. Bewirtschaftungserlass, -plan, Nationalparkplan, Biosphärenreservatplan

** repräsentieren in der Summe eine Waldfläche von 107.558,8 ha

**Abbildung 5**

Gebietsauswahl von 111 Wald-FFH-Gebieten (violette und hellblaue Felder) auf dem Messtischblattraster von Deutschland.

Violette Felder ($N = 25$), ohne die Zahlenangabe im Feld selbst zu berücksichtigen, bezeichnen Messtischblätter, in denen lt. *FlorKart* Douglasievorkommen anzutreffen sind (vgl. Abbildung 2). Hellblaue Felder ($N = 86$) bezeichnen Messtischblätter, in denen nach *FlorKart* keine Douglasievorkommen existieren (vgl. Abbildung 2). In den dunkelblau gerahmten hellblauen und violetten Feldern wurden Douglasien in der FFH-Gebietsauswahl gefunden ($N = 40$). In den ungerahmten violetten bzw. hellblauen Feldern gibt es in den Unterlagen über die FFH-Gebiete keine Hinweise auf das Vorhandensein von Douglasie, dies gilt auch für die violetten Quadrate trotz eines *FlorKart*-Hinweises auf Douglasievorkommen im zugehörigen Messtischblatt.

Zudem sind innerhalb dieser FFH-Gebiete 159 Naturschutzgebiete mit einer Gesamtfläche von fast 45.500 ha und, sich teilweise mit den Intensivschutzflächen überschneidend, 5.545 ha Naturwald ausgewiesen.

Die Daten zur Baumartenverteilung innerhalb der Waldflächen bzw. der Wald-Lebensräume in den FFH-Dokumenten stammen teils aus eigens hierfür durchgeführten Erhebungen und teils aus den forstbetrieblichen Unterlagen. Ähnliches gilt für die Aussagen zu den umzusetzenden Maßnahmen, die je nach Quelle einerseits sehr detailliert und auf die Einzelfläche bezogen sind und andererseits sehr allgemein gehalten sind.

4.1.3.2 Struktur des Waldbesitzes

In 84 der 111 FFH-Dokumente fanden sich für über 107.500 ha Wald (ca. 80 % der erfassten Waldfläche) flächenbezogene Angaben zu den Eigentumsverhältnissen, aus denen sich die Verteilung auf die verschiedenen Waldbesitzarten herleiten lässt (siehe Abbildung 6). Aus Gründen der Vereinfachung wurden drei Gruppen von Waldbesitzern (Bundes- bzw. Landeswald, Körperschaftswald, Privatwald) unterschieden.

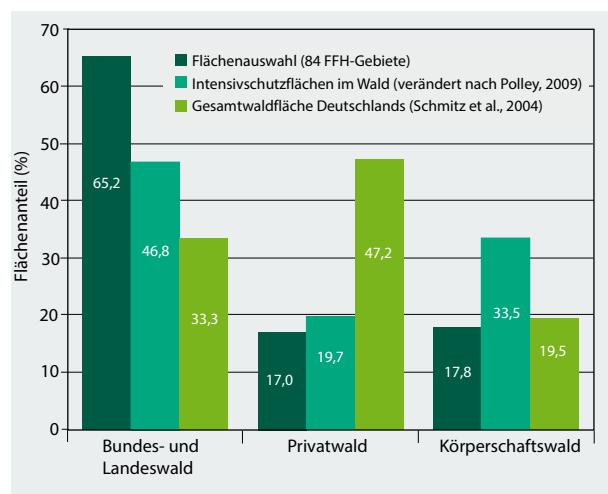


Abbildung 6

Prozentuale Flächenanteile von 84 FFH-Gebieten der Unterstichprobe an verschiedenen Waldbesitzarten sowie prozentuale Flächenanteile von Intensivschutzflächen im Wald und von der Gesamtwaldfläche an den Waldbesitzarten (Intensivschutzfläche im Wald bzw. Gesamtwaldfläche = 100 %).

In der Gebietsauswahl verteilen sich die Waldflächen zu fast zwei Dritteln auf staatlichen Waldbesitz, während die übrigen Waldflächen zu fast gleichen Teilen (etwas mehr als ein Sechstel) dem Privat- bzw. Körperschaftswald zuzurechnen sind. Im Vergleich zur gesamtdeutschen Waldbesitzstruktur (Schmitz et al., 2004) mit einem Drittel Staatswald, etwa einem Fünftel Körperschaftswald und über 47 % Privatwald sind die staatlichen Wälder in den 84 FFH-Gebieten überproportional vertreten. Der hier vorgefundene Kommunalwaldanteil entspricht in etwa dessen Anteil an der Gesamtwaldfläche Deutschlands,

während Privatwaldbesitz in diesen Gebieten sichtlich unterproportional vorhanden ist. Die Zahlen spiegeln den Umstand sehr gut wieder, dass sich ein Flächenanteil von etwa 72 % der FFH-Gebiete in öffentlichen Wäldern befindet (Sippel, 2007).

In Hinblick auf die Ausweisung von naturschutzrechtlich intensiv geschützten Flächen in Wäldern der unterschiedlichen Besitzarten stellt Polley (2009) auf der Grundlage von BWI²-Daten fest, dass solche Gebiete vermutlich auch im Kommunalwald überproportional präsent sind. Ansonsten wird die Aussage für die beiden übrigen Waldbesitzarten bestätigt.

4.1.3.3 Anteil der Baumart Douglasie und anderer als gesellschaftsfremd eingestufter Waldbauarten am Baumarteninventar

Ein Kriterium für die naturschutzfachliche Beurteilung des Erhaltungszustands von FFH-Gebieten ist das Vorkommen gesellschaftsfremder Baumarten. So schmälern Fremdbaumarten einerseits das „lebensraumtypische Arteninventar“ und zum anderen stellen sie eine „Beeinträchtigung“ in Bezug auf die natürliche Entwicklung von Lebensräumen dar (vgl. Burckhardt et al., 2004). Folglich geht dieses als bedeutend eingestufte Kriterium in die für FFH-Gebiete vorgegebenen Bewertungsschemata gleich zweimal ein, und zwar in den beiden zuvor genannten Kategorien; „lebensraumtypisches Arteninventar“ und „Beeinträchtigungen“. Auf die dritte Bewertungskategorie „Habitatstrukturen“ haben gesellschaftsfremde Arten keinen ersichtlichen Einfluss.

Den definitorisch günstigsten Erhaltungszustand erreichen die laut FFH- und Vogelschutzrichtlinie Anhang I besonders gefährdeten, prioritären Lebensraumtypen, wenn ausschließlich die für den Lebensraum typischen Arten vorkommen. In Waldökosystemen sind hiervon alle Vegetationsschichten betroffen, nicht nur die Baumschicht. Bezogen auf die Fläche des jeweiligen FFH-Lebensraumtyps ist in den nicht prioritären Wald-Lebensraumtypen ein Anteil lebensraumfremder Baumarten von weniger als 10 % zulässig, ohne dass dies einen Grund zu einer qualitativen Herabstufung darstellt (siehe a. Burckhardt et al., 2004). In Kombinationen mit anderen Kriterien können sich jedoch die einzelnen Effekte addieren und in ihrer Gänze doch zu einer ungünstigeren Entwicklungsstufe führen. Dies ist z. B. dann der Fall, wenn mehrere gebietsfremde Baumarten mit Anteilen jeweils unter 10 % vorkommen. Welche Rolle dabei die einzelne Baumart spielt, ist stets vom konkreten Beispiel abhängig. In der Summe ist nach der FFH- und Vogelschutzrichtlinie ein Anteil bis zu 30 % zulässig, um noch als natürlicher Lebensraum eingestuft zu werden. Bei Anteilen über diesem Wert sollten keine Wald-Lebensraumtypen mehr ausgewiesen werden.

Nicht alle 111 betrachteten FFH-Dokumente enthalten Informationen über gebiets- bzw. gesellschaftsfremde Baumarten. Die vorhandenen Angaben beziehen sich teils allgemein auf die Waldfläche und teils spezifischer auf jeden einzelnen Wald-Lebensraumtyp. Letzteres ermöglicht eine wesentlich differenziertere Betrachtung von Flächenanteilen und möglichen Beeinträchtigungen der Wald-Lebensräume.

Auch wenn die Bewertung des Erhaltungszustandes primär den unmittelbaren Bezug zu den Wald-Lebensraum-

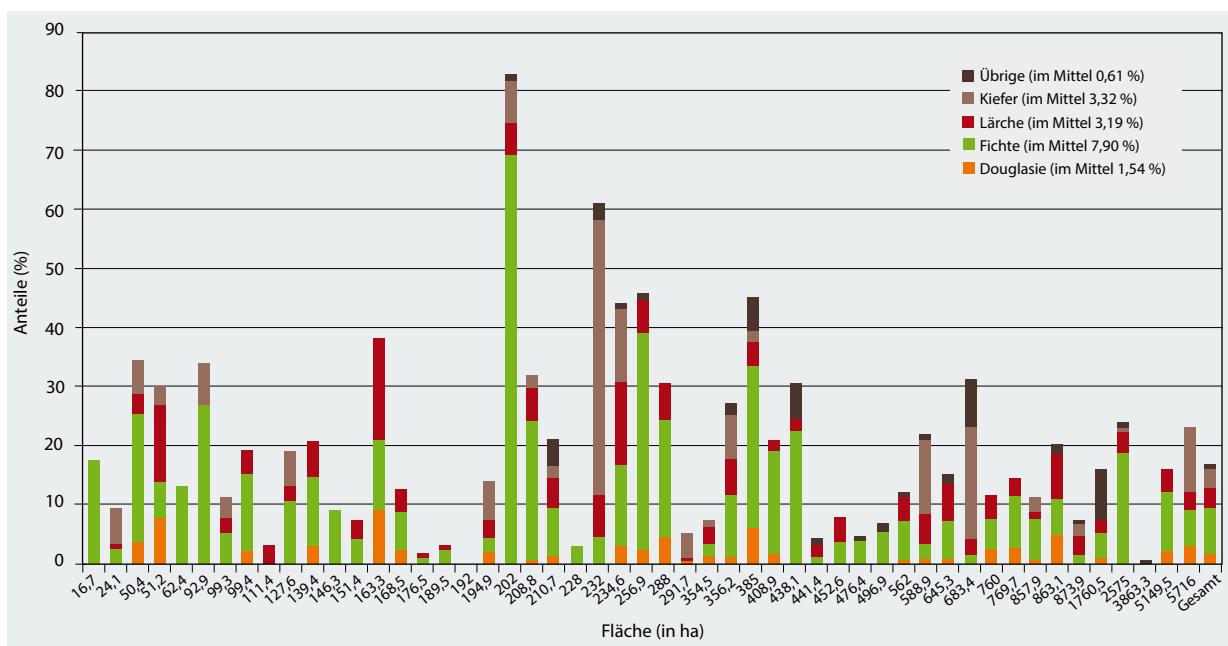


Abbildung 7

Nach Gebietsgröße geordnete prozentuale Anteile gesellschaftsfremder Baumarten (Douglasie, Fichte, Lärche, Kiefer, Übrige) in 51 FFH-Gebieten, jeweils bezogen auf ihre Waldfläche.

Die Säulenhöhe repräsentiert den prozentualen Anteil aller gesellschaftsfremden Baumarten im jeweiligen FFH-Gebiet. Die Farbsegmente innerhalb einer Säule repräsentieren die im FFH-Gebiet vorkommenden Fremdbauarten. Am Säulenfuß ist die Gebietsgröße notiert und die Säulen sind der Gebietsgröße nach angeordnet.

flächen sucht, sind in 51 FFH-Dokumenten lediglich die Anteile der fraglichen Baumarten mit Bezug zur jeweiligen Gebietswaldfläche angegeben (siehe Abbildung 7). Die Angaben vermitteln einen ersten Eindruck zur Präsenz von gebiets- bzw. gesellschaftsfremden Baumarten in FFH-Gebieten und zu deren Beurteilung in Hinblick auf einen mehr generellen Erhaltungszustand.

In Abbildung 7 sind die relativen Anteile gebiets- bzw. gesellschaftsfremder Baumarten dieser 51 FFH-Gebieten in einem Säulendiagramm dokumentiert. Die dargestellten FFH-Gebiete repräsentieren eine Waldfläche von fast 33.900 ha und bilden einen relativ guten Querschnitt kleiner, mittlerer und großer Areale ab. Der Anteil der Douglasie variiert in den Waldflächen zwischen 0 und 9 % (im Mittel 1,54 %) und tritt zugleich deutlich hinter den Anteilen von Fichte, Lärche und Kiefer zurück. Der festgestellte mittlere Douglasien-Anteil liegt nur geringfügig unter dem aus der BWI¹² geschätzten Anteil von 1,9 % an der Gesamtwaldfläche Deutschlands (Schmitz et al., 2004). Damit unterschreiten die Douglasien-Anteile für sich genommen in allen Fällen die Obergrenze von 10 %, die für das Erreichen des günstigsten Erhaltungszustandes bei nicht prioritären Lebensraumtypen festgelegt ist (siehe a. Burckhardt et al., 2004; Sippel, 2005; Müller-Kroehling, 2009).

Durch das Vorkommen mehrerer gesellschaftsfremder Baumarten in ein und demselben FFH-Gebiet relativiert sich diese Aussage allerdings. Die Variationsbreite der Baumartenanteile von Fichte, Lärche und Kiefer in den Flächen ist sehr groß: bei Fichte bis zu einer Obergrenze von 68,9 % (im

Mittel 7,90 %), bei Kiefer bis zu 46,9 % (im Mittel 3,32 %) und bei Lärche etwas moderater bis zu 17,0 % (im Mittel 3,19 %) bezogen auf die Waldfläche der untersuchten Gebiete. Mit einem ähnlichen Variationsbereich wie Douglasie und einen mittleren Anteil von 0,61 % treten alle übrigen gebietsfremden Baumarten in ihrer Bedeutung sichtlich hinter den bereits genannten Arten zurück. Bei einer konkreten Einzelfallbetrachtung und in der Zusammenschau aller Arten kann sich dies möglicherweise anders darstellen.

In 12 dieser 51 Gebiete sind alle Fremdbauarten zusammengefasst mit einem Waldflächenanteil von mehr als 30 % vorhanden, womit hier bezogen auf Wald allgemein die Obergrenze zur Ausweisung von nicht prioritären FFH-Wald-Lebensräumen überschritten wäre. Da dies für die Ausweisung der einzelnen Wald-Lebensräume nicht zulässig ist, ist folglich eine höhere Präsenz von Fremdbauarten in den bewaldeten Nicht-Lebensraumflächen der FFH-Gebiete zu erwarten. Bereits hier deutet sich aber an, dass in einigen FFH-Gebieten der Anteil von gesellschaftsfremden Baumarten aus naturschutzfachlicher Sicht kritisch sein dürfte.

Der Fremdbauartenanteil variiert unabhängig von der Gebietsgröße. In einem Fall erreicht die Summe aller gebietsfremden Baumartenanteile den Spitzenwert von 81,7 %. Im Mittel sind gebietsfremde Baumarten mit einem Anteil von 16,57 % in den untersuchten FFH-Gebieten präsent. Die allgemeinen Angaben zu Baumartenanteilen für Waldflächen reichen jedoch für eine konkrete Beurteilung des Erhaltungszustandes von Wald-Lebensräumen in FFH-Gebieten nicht

aus. Dies lässt sich erst durch eine genauere Erhebung der Baumartenanteile innerhalb der Wald-Lebensraumtypen überprüfen und beurteilen.

4.1.3.4 Anteil der Baumart Douglasie und anderer als gesellschaftsfremd eingestufter Waldbäume innerhalb der Waldlebensraumtypen

Grundlage für eine abschließende Beurteilung des Erhaltungszustands eines FFH-Lebensraums ist die nach Lebensräumen getrennte und flächengenaue Erhebung der Baumartenverteilung. Tatsächlich umgesetzt ist dies vor allem in den Managementplänen der Bundesländer Bayern, Baden-Württemberg und Mecklenburg-Vorpommern sowie in einem FFH-Dokument aus Schleswig-Holstein, wenn auch häufig nur bis zur Baumartenkategorie „gebiets- bzw. gesellschaftsfremd“. Angaben zur Baumartenkategorie in Wald-Lebensräumen finden sich in 32 FFH-Dokumenten, während Informationen zu einzelnen Baumarten lediglich für 15 FFH-Gebiete vorliegen. Für die übrigen Bundesländer, bei denen die Erfassung und teilweise Sicherstellung der Lebensräume in den FFH-Dokumenten vorrangig behandelt sind, steht dies in vergleichbarer Weise noch aus.

In Tabelle 3 sind die Flächensummen von Wald-Lebensraumtypen in den 15 FFH-Gebieten der Bundesländer Bayern (6), Baden-Württemberg (8) und Schleswig-Holstein (1) den relativen Anteilen von Flächen der Lebensraumtypen (in %), in denen gesellschaftsfremde Baumarten vorkommen, gegenübergestellt. Durch diese vorwiegend großflächigen 15 FFH-Gebiete sind insgesamt etwas mehr als 24.700 ha Wald-Lebensräume erfasst und repräsentieren mehrheitlich Gebiete mit einem Fremdbaumartenanteil von weniger als 30 % bezogen auf die Waldfläche (siehe auch Erläuterungen zu Abbildung 6). Die folgenden Aussagen

beziehen sich daher ausschließlich auf Baumartenvorkommen in den schützenswerten Wald-Lebensräumen.

Im Mittel sind etwa 2,8 % der Wald-Lebensraumflächen mit gesellschaftsfremden Baumarten bestanden, davon mehr als 2 % mit den Nadelbaumarten Douglasie, Fichte, Lärche und Kiefer. Den geringsten Anteil hat die Douglasie mit 0,17 %, gefolgt von Lärche und Kiefer mit jeweils etwa 0,5 %. Die Fichte hingegen ist auf fast 0,9 % aller Wald-Lebensraumflächen vertreten und bildet damit die im Mittel häufigste gesellschaftsfremde Baumart. Den zweithöchsten Anteil hat die Kategorie „Übrige“, die vorwiegend Laubbäume repräsentiert.

Eine Betrachtung der einzelnen Wald-Lebensraumtypen zeigt, dass innerhalb der besonders häufig vertretenen Buchenwälder (ca. 17.700 ha) die basenreichen Ausprägungen [9130] hohe Anteile gesellschaftsfremder Baumarten und hier besonders von Fichte aufweisen. Im Kalkbuchenwald [9150] hingegen, der hier nur mit einer sehr geringen Fläche repräsentiert ist, sind fast ausschließlich Schwarzkiefern dokumentiert. Die Waldkiefer stellt in den Eichenwald-Lebensräumen [9170] und [9190] die häufigste gesellschaftsfremde Baumart dar, während in den prioritären Erlen-Eschen-Auenwäldern [91E0] vorwiegend Laubbäume aus der Kategorie „Übrige“ vorhanden sind. In den sonstigen Wald-Lebensraumtypen, die in den untersuchten FFH-Gebieten eine Fläche von fast 7.300 ha repräsentieren, treten Fremdbaumarten nur marginal auf.

Während in den basenreichen Buchenwäldern von den Nadelbäumen die Fichte als Beimischung überwiegt, dominiert die Kiefer in den sekundären Eichenwäldern. Der Douglasienanteil in den nicht prioritären Buchenwald- und Eichenwald-Lebensräumen hingegen beträgt weniger als 1 %. Insgesamt liegt der Anteil gesellschaftsfremder Baumarten in den Buchenwald-Lebensräumen deutlich unter den Vorgaben für einen günstigen Erhaltungszustand. Das ist

Tabelle 3

Übersicht zum Vorkommen gesellschaftsfremder Baumarten in Flächen der Wald-Lebensraumtypen (Wald-LRT) von 15 FFH-Gebieten (vor allem in Bayern und Baden-Württemberg).

Wald-LRT [EU-Kürzel]	LRT-Fläche (in ha)	Gesellschaftsfremde Baumarten (in % der LRT-Fläche)		Douglasie	Fichte	davon		Übrige
						Lärche	Kiefer	
Buchenwald-Lebensraumtypen								
9110	11.439,1	1,86		0,15	0,42	0,22	0,59	0,48
9130	4.897,2	8,15		0,44	3,26	1,75	0,50	2,20
9150	9,1	4,40					4,40	0,00
Eichenwald-Lebensraumtypen								
9160	113,2	0,80			0,27		0,18	0,35
9170	443,0	8,94		0,86	1,67	0,99	4,49	0,93
9190	235,3	4,63		0,34		0,85	2,12	1,32
Weitere Wald-Lebensraumtypen								
91E0*	308,3	5,77			0,19			5,58
Sonstige	7.279,1	0,03			0,01			0,02
Gesamt	24.724,5	2,77		0,17	0,88	0,47	0,48	0,77

* prioritärer Wald-Lebensraumtyp

Werte (kursiv) Baumart(engruppe) mit dem höchsten Anteil in einer Zeile

eine durchweg positive Bilanz für das kontrovers diskutierte Vorkommen der Douglasie in den schützenswerten FFH-Lebensräumen. Durch eine systematische Entnahme gesellschaftsfremder Baumarten im Rahmen der Holzernte wird sich ihr Anteil im Laufe der Zeit noch weiter verringern, da ein aktives Einbringen dieser Arten in den meisten Fällen von Seiten der beteiligten Fachbehörden und -vertretern unerwünscht ist bzw. auf Ausnahmefälle beschränkt bleiben soll.

4.2 Bewertung von gesellschaftsfremden Baumarten auf der Ebene des FFH-Gebietsmanagements

Eine natürliche Entwicklung von Wald-Lebensräume setzt vor allem die Förderung einer naturnahen Baumartenzusammensetzung und die Vermeidung von Beeinträchtigungen durch zum Beispiel die Neuansiedlung gebietsfremder Arten auf den Vorrangflächen voraus. Zuweilen finden sich in FFH-Gebieten auch standortangepasste Mischungen aus gebietsfremden und -heimischen Baumarten, die Zeugnisse früherer waldbaulicher Tätigkeit sind. Auch diese könnten der Ausgangspunkt für eine natürliche Entwicklung sein. Aus forstwirtschaftlich-waldökologischer Sicht repräsentieren derartige Flächen ein vorübergehendes Stadium innerhalb der kulturbedingten Sukzession von bewirtschafteten hin zu unbewirtschafteten Wäldern. In diesem Zusammenhang von besonderem Interesse sind Hinweise auf den Erhaltungszustand der Wald-Lebensräume in Abhängigkeit vom Vorkommen und Ausbreitungsverhalten (Invasivität) gesellschaftsfremder Baumarten. Anhand der Kriterien „lebensraumtypisches Arteninventar“ und „Beeinträchtigungen“ bei der Beurteilung von Einzelerhaltungszuständen soll nachvollzogen werden, welchen Einfluss gesellschaftsfremde Baumarten auf den Erhaltungszustand insgesamt besitzen.

Die FFH-Richtlinie schließt das Vorkommen gebietsfremder Baumarten in den Flächen der Wald-Lebensräume nahezu aus. Eine begrenzte Beimischung in den angrenzenden Nicht-Lebensraumflächen wäre nach der FFH-Richtlinie aber möglich. Allerdings bestehen zwischen den Personen und den Gruppen, die an der Aufstellung von Maßnahmen- bzw. Managementplänen beteiligt sind (Naturschutzvertreter, Jagdinteressenten, Forstverwaltungen, Waldbesitzer, Anrainer, Landschaftsplaner, um nur einige zu nennen) und einen Einfluss auf die Planung und die Umsetzung konkreter Maßnahmen bei der Entwicklung von FFH-Gebieten haben, unterschiedliche Auffassungen von Naturnähe und der Behandlung von Waldschutzgebieten, einschließlich der Nicht-Lebensraumflächen. Zwischen den verschiedenen Landnutzungsinteressen dieser Beteiligten ist daher ein Konsens erforderlich.

4.2.1 Bewertungen des Arteninventars und des Gesamterhaltungszustandes von Wald-Lebensräumen

Der Gesamterhaltungszustand der FFH-Lebensräume setzt sich aus den Einzelbewertungen der drei Kategorien „Habitatstrukturen“, „lebensraumtypisches Arteninventar“ und „Beein-

trächtigungen“ zusammen (Burckhardt et al., 2004). Vorkommen gebietsfremder Baumarten gehen in zwei der drei genannten Kategorien gleichrangig in die Bewertung ein (siehe Kapiteln 4.3.3 und 4.3.4). Dies soll nach Möglichkeit für jeden FFH-Lebensraum flächenbezogen erfolgen. Bei sehr kleinen Flächen kann es gutachtlich geschehen oder gänzlich unterbleiben (vgl. Müller-Kroehling, 2009). Grundsätzlich werden drei Erhaltungszustände unterschieden (u. a. Sippel, 2005): A (herausragend), B (gut) und C (mittel bis schlecht). Die Unterscheidung der einzelnen Zustände erfolgt Kriterien bezogen auf der Grundlage bundeseinheitlich abgestimmter Schwellenwerte (Burckhardt et al., 2004). Abschließend lässt sich der Gesamterhaltungszustand für jeden Lebensraumtyp aus den Einzelbeurteilungen nach dem genannten Bewertungsschema ermitteln. Dieses Schema ist im Rahmen der Umsetzung zuweilen an länderspezifische Verhältnisse angepasst worden (vgl. Sippel, 2005; Müller-Kroehling, 2009 für Bayern).

Soweit die lebensraumspezifische Einzel- und Gesamtbeurteilung von Lebensräumen in den FFH-Unterlagen dokumentiert sind, lässt sich prüfen, ob und im welchem Umfang das Vorhandensein von Fremdbaumarten die Gesamteinrichtung von FFH-Lebensraumtypen beeinflusst hat. Bei der Auswertung der vorliegenden Unterlagen zu den 111 untersuchten FFH-Gebieten ergab sich folgendes Bild im Hinblick auf die Bewertung gebietsfremder Baumarten:

- Bei einigen FFH-Dokumenttypen, wie das „Sofortmaßnahmenkonzept“ und das „Vorläufige Waldbehandlungs-konzept“, fehlten meist Angaben zu gebietsfremden Arten und deren Einfluss auf die Erhaltungszustände der FFH-Lebensräume. Das traf vereinzelt auch auf andere Dokumenttypen zu.
- Zuweilen beziehen sich die FFH-Dokumente auf die Ergebnisse der Ersteinschätzung, die im Standardmeldebo gen der EU dokumentiert ist.
- Die Mehrheit der untersuchten Dokumente fußt jedoch auf einer konkreten Flächenbeurteilung.

Insgesamt berücksichtigen 82 FFH-Dokumente ein gebietsfremdes Arteninventar summarisch, aber nur 55 FFH-Managementpläne schlüsseln diese Information konkret für jedes der drei Bewertungskriterien auf. Da in einem Schutzgebiet durchaus mehrere FFH-Lebensraumtypen vorkommen können, fanden sich in den 55 FFH-Dokumenten Angaben zu insgesamt 136 Erhaltungszuständen, die sich – getrennt nach deren Einzel- und Gesamtzustand – wiederum auf sieben Wald-Lebensräume verteilen (siehe auch Tabelle 4).

Nach Burckhardt et al. (2004) folgt die Gesamtbeurteilung eines Lebensraumes dem Schwerpunkt aller Einzelbewertungen. Demnach sind Abweichungen einzelner Einzelbewertungen von Fremdbaumarten gegenüber der Gesamtbeurteilung möglich. Diese Abweichungen können sowohl positiver als auch negativer Natur sein und beziehen sich immer auf eine bestimmte Betrachtungsrichtung (z. B. Einzel ► Gesamt). In Tabelle 4 werden daher Abweichungen der Einzel- gegenüber der Gesamtbeurteilung von Wald-Lebensräumen sowie indifferente Fälle summarisch betrachtet. Eine positive Abweichung bedeutet in diesem Fall, dass der Erhaltungszustand des lebensraumtypischen Arteninventars günstiger beurteilt wur-

Tabelle 4

Anzahl abweichender und indifferenten Einzelbewertungen gegenüber der Gesamtbeurteilung von Erhaltungszuständen (A: herausragend, B: gut und C: mittel bis schlecht) der Wald-Lebensräume (Wald-LRT) in 55 FFH-Gebieten (Gesamtgebietsfläche = 44.845 ha).

Wald-LRT [EU-Kürzel]	LRT-Fläche (in ha)	Gegenüberstellung von Arteninventar ▶ Gesamtzustand							
		Positive Abweichung				Negative Abweichung			
		A ▶ C	A ▶ B	B ▶ C	ges.	B ▶ A	C ▶ B	ges.	Indiff. ges.
Buchenwald-Lebensraumtypen									
9110	6.696	1	10		11	3		3	24
9130	10.658	1	11		12	1	3	4	16
9150	103		1		1		1	1	3
Eichenwald-Lebensraumtypen									
9160	628		4		4		2	2	9
9170	617	1	2		3				9
9190	508		1		1				3
Weitere Wald-Lebensraumtypen									
91E0*	993		13	3	16				14
Gesamt	20.203	3	42	3	48	4	6	10	78

* prioritärer Wald-Lebensraumtyp

de als der Zustand des gesamten Lebensraumes. Den umgekehrten Fall beschreibt die negative Abweichung. Indifferent sind alle in Bezug auf die Bewertung identischen Erhaltungszustände, und zwar unabhängig davon, welchen der drei möglichen Erhaltungszustände sie tatsächlich repräsentieren.

Die 55 untersuchten FFH-Gebiete repräsentieren eine Gesamtfläche von fast 45.000 ha; davon nehmen die sieben in Tabelle 4 eingehender betrachteten Wald-Lebensraumtypen etwas über 20.000 ha ein.

Es gibt drei Klassen von positiven Abweichungen, bei denen der Erhaltungszustand in Bezug auf das Arteninventar besser als der Gesamtzustand ist. Mit 42 Beobachtungen bildet die Klasse A ▶ B (herausragende Einzelbewertung bei guter Gesamtbewertung) die stärkste Gruppe innerhalb der positiven Abweichungen, dies deutet zugleich auf einen vielfach guten Zustand der Wald-Lebensräume sowie hervorragenden Einzelzustand beim Arteninventar hin. Die insgesamt 48 Fälle belegen den vergleichsweise geringen Einfluss der Fremdarten als Einzelkriterium auf die Bewertung des Gesamtzustandes. Der prioritäre „Erlen- und Eschenwald an Fließgewässern [91E0]“ ist mit 16 Nennungen zahlenmäßig am meisten vertreten und übertrifft damit auch jeden der beiden dominierenden Buchenwald-Lebensräume [9110] und [9130].

Von den drei möglichen Klassen negativer Abweichungen sind nur zwei in den FFH-Unterlagen dokumentiert. Die dritte mögliche Klasse C ▶ A (mittlere bis schlechte Einzelbewertung bei hervorragender Gesamtbewertung) dürfte allein schon aufgrund des Bewertungsansatzes wenig wahrscheinlich sein. Dafür sind in den zwei vorhandenen Klassen 10 Fälle von Abweichungen dokumentiert, bei denen sich trotz einer ungünstigeren Bewertung des vorhandenen (Fremd)Arteninventars der Gesamtzustand der Wald-Lebens-

raumtypen besser darstellt. Diese Abweichungen konzentrieren sich vorwiegend auf die flächenmäßig häufigeren Buchenlebensräume. Die zweimalige Berücksichtigung des Parameters „Fremdarten“ führt offenbar nicht in jedem Fall zu einer besonders negativen Bewertung und bei der Zustandsbeurteilung beeinflussen auch andere Faktoren das Ergebnis. Ein offensichtlicher Zusammenhang zwischen der abweichenden Einzel- und Gesamtbewertung, der einen direkten Rückschluss von der Einzel- auf die Gesamtbewertung zuließe, ist somit nicht erkennbar.

Den 58 dokumentierten Abweichungsfällen stehen 78 als indifferent bewertete Erhaltungszustände gegenüber, die eine ersichtliche Mehrheit der Fälle repräsentieren, bei denen die Einzel- und Gesamtzustandsbeurteilung nicht voneinander abweichen. Von den 78 indifferenten Fällen weisen lediglich 5 den Lebensraumstatus C auf, während die überwiegende Mehrheit einer guten bis herausragenden Habitatqualität zugeordnet ist, im Einzelnen 20 dem Erhaltungszustand A und 53 dem Status B.

4.2.2 Beurteilung der Ausbreitungsbiologie der Douglasie in FFH-Gebieten bzw. Invasivität

Die Ausbreitungsbiologie der Douglasie ist bisher nur punktuell untersucht (Knoerzer, 1999; Kownatzki et al., 2011). Neben der Präsenz von gesellschaftsfremden Baumarten in FFH-Wald-Lebensräumen ist die spontane Ausbreitung der Douglasie in FFH-Managementplänen thematisiert. Mit Hilfe der dort dokumentierten Informationen lässt sich das bisherige Wissen über die Ausbreitungsbiologie dieser Baumart in Wäldern systematisch erweitern. In 45 der 111 FFH-Dokumente wird über verständige bzw. sich verjüngende Douglasie berichtet. Vereinzelt wird deren Vorhandensein nur all-

gemein angemerkt; in einem Fall wird ohne konkreten Flächenbezug darauf hingewiesen, dass „relativ hohe Anteile von Douglasienverjüngung in Buchenbeständen“ wachsen und „die Douglasie sich in Nachbarbeständen verjüngt“. Lediglich für 14 der o. g. 45 FFH-Dokumente werden konkrete Angaben über die Fläche der unterständigen Douglasien gemacht. Für sieben FFH-Gebiete mit ca. 1.800 ha schützwerter Lebensraumfläche ist eine spontane Douglasieverjüngung von insgesamt 23,4 ha dokumentiert. In sieben weiteren Gebieten wird ein Douglasienunterstand von insgesamt 4,6 ha beschrieben, allerdings ohne Angaben ob es sich um Naturverjüngung handelt.

Das Vorkommen von Douglasien-Verjüngung stellt aus naturschutzfachlicher Sicht eine Beeinträchtigung in den schützenswerten Wald-Lebensräumen dar. Die Tatsache, dass in den meisten FFH-Dokumenten Naturverjüngung entweder nicht explizit angesprochen oder klar negiert wird, erlaubt den Rückschluss, dass sie kein vordringliches Problem darstellt.

In den Managementplänen beziehen sich die wenigen, meist allgemein gehaltenen Angaben zur Invasivität von Douglasie auf die spontane Verjüngung im Nahbereich. So wird im Nationalpark Bayerischer Wald „die Dringlichkeit (Anm.: zum Zurückdrängen fremdländischer Baumarten) als umso größer angesehen, je verjüngungsfreundlicher die Baumart ist. Dies betrifft vor allem die Douglasie“. Ohne nach systematischer Kultur und spontaner Ansammlung zu differenzieren und ohne dies zahlenmäßig zu belegen, stellt ein anderes Dokument fest, dass „der Nachwuchs der Douglasie stark zugenommen hat.“ Ein wenig konkreter wird in einem Fall berichtet, dass „in mehreren Gebietsteilen allerdings relativ hohe Douglasien-Anteile in der Vorausverjüngung der Buchenbestände festzustellen sind; die Douglasie verjüngt sich hier aus benachbarten Douglasienbeständen bzw. aus horst- oder truppweise vorhandenen Douglasienestern.“

Mehr allgemeiner Natur ist der Hinweis, dass die „natürliche Verjüngung von Fichte und Douglasie nach Möglichkeit gebremst bzw. zurückgedrängt“ werden sollte. Die Fichte spielt in vielen FFH-Gebieten eine wesentlich größere Rolle als die Douglasie und wird deshalb häufig gleich- bzw. vorrangig genannt. Für das FFH-Gebiet „Lüneburger Heide“ wird eine Flächenabnahme des Fichtenjungwuchses von 771,3 ha (Ende 1998) auf 317,3 ha (Ende 2006) beschrieben. Zugleich wird damit dokumentiert, dass „alles unternommen wurde, um die sich stark ausbreitende Fichten-Naturverjüngung einzudämmen, und dass dies, wenn auch nicht immer, so doch auf großer Fläche geglückt ist“. Ähnliches gilt für die Douglasienverjüngung. Die Abnahme im gleichen Zeitraum von 18 ha auf 13,4 ha nimmt sich gegenüber der Flächenreduktion bei der Fichtenverjüngung allerdings eher marginal aus.

Hinweise auf die Fernausbreitung gesellschaftsfremder Baumarten finden sich in den Managementplänen nicht. Lediglich ein Hinweis auf die potentielle Ausbreitungsgefahr von Neophyten, die sich durch das unkontrollierte Deponieren von Gartenabfällen im Wald etablieren könnten, dokumentiert ein moderates Problembewusstsein zur anthropogenen Fernausbreitung gesellschaftsfremder Arten.

Im Vergleich zur Spätblühenden Traubkirsche, die nach Expertenmeinung bei finanziell vertretbarem Aufwand nicht mehr vollständig aus Waldökosystemen zu entfernen sein wird (Starfinger, 1990), nimmt sich die Douglasie in Hinblick auf ihre Ausbreitungsbiologie eher verhalten aus. Dies bestätigen auch die in den FFH-Dokumenten belegten Relationen zur Fichte, die weitaus größere naturschutzfachliche Probleme verursachen dürfte.

4.2.3 Veränderung des Baumartenspektrums in FFH-Gebieten

Keiner der FFH-Managementpläne enthält flächengenaue Angaben zur Verjüngung von Beständen sowie detaillierte Angaben zur Baumarten- und Herkunftswahl. Lediglich in acht Plänen wird der konkrete Bezug zur Anpflanzung von gesellschaftsfremden Baumarten hergestellt. In nur einem Fall ist das aktive Einbringen von Fremdbaumarten (u. a. Douglasie) zu einem Anteil von bis zu 20 % zulässig, in vier Fällen soll auf deren Anpflanzung freiwillig verzichtet werden und in drei FFH-Dokumenten ist eine Beimischung vollständig untersagt.

Alle übrigen FFH-Managementpläne streben relativ vage ein möglichst lebensraumtypisches Arteninventar – dokumentiert durch einen günstigen Erhaltungszustand der jeweiligen schützenswerten Lebensräume – an. Sie legen somit indirekt den Anteil fest, mit dem gesellschaftsfremde Baumarten in FFH-Gebieten vorkommen dürfen. Konkret dürfte sich dies im vermehrten Anbau und in der Förderung der Naturverjüngung gebietsheimischer Laubbaumarten äußern. Langfristig fallen diese Flächen für den Nadelholzanbau aus und genutzte Nadelholzbestände werden in Laubholzbestände überführt. Da nur in wenigen FFH-Managementplänen Flächenangaben zu den zu überführenden Nadelholzbeständen existieren, lässt sich bestenfalls die untere Grenze für den geplanten Umbau in diesen Gebieten ermitteln. Diese untere Grenze ist nicht repräsentativ und erlaubt daher auch keine Hochrechnung für alle Wald-FFH-Gebiete.

Ein wenig differenzierter und zahlreicher aufgeführt sind geplante Steuerungsmaßnahmen zur waldbaulichen Behandlung der Douglasie und anderer gebiets- bzw. gesellschaftsfremder Baumarten. Angaben dazu finden sich in 71 der 111 FFH-Unterlagen. Am häufigsten wird das allgemeine Ziel verfolgt, auf mindestens 80 % der Fläche im Zuge der Durchforstung bzw. End- und Zielstärkennutzung lebensraumtypische Baumarten zu fördern. Dieses Ziel wird in 40 Managementplänen genannt, teilweise erscheint es auch in den Dokumenten als Umkehrformulierung, nämlich den Anteil junger Nadelholzmonokulturen und Douglasienbestände auf max. 20 % zu reduzieren. Interessanterweise steht diese Obergrenze im Einklang mit den forstlichen Zertifizierungssystemen einerseits (FSC, 2010) und mit den Vorgaben für die naturnahe Bewirtschaftung öffentlicher Wälder andererseits. Möglicherweise handelt es sich bei dieser Zielsetzung um einen Zwischenschritt, um in weiteren Phasen das eigentliche Ziel, den günstigsten Erhaltungszustand mit einem Flächenanteil gesellschaftsfremder Baumarten von

weniger als 10 %, zu erreichen. Ungeachtet dieser aufgezeigten Entwicklung ermöglicht das 20 %-Ziel vorübergehend höhere Anteile dieser Baumarten in den FFH-Lebensräumen.

Beispielhaft für die Umsetzung dieser Regelung ist das folgende Zitat aus dem Sofortmaßnahmenkonzept für das FFH-Gebiet „Eulenbruchs Wald (DE-5013-301)“; Stand 18.11.2004: „In Mischbeständen mit Baumarten, die nicht der natürlichen Waldgesellschaft angehören (z. B. Fichte, Douglasie, Lärche, Roteiche), sollten die Anteile der zur natürlichen Waldgesellschaft gehörenden Baumarten erhalten und möglichst unabhängig ihrer Qualität bei den nächsten Durchforstungen unter Wahrung der Bestandes- und Einzelbaumstabilität erhöht werden. Befinden sich diese Bestände in einem FFH-LRT, sind die Anteile im Laufe der nächsten Durchforstungen bzw. Pflegeeingriffe auf mind. 80 % zu erhöhen.“

Für 15 FFH-Gebiete konnte gezeigt werden, dass dieses 80 %-Ziel für die einzelnen Wald-Lebensraumtypen bereits erreicht wird (vgl. Tabelle 3). Das lässt für die betroffenen Flächen eine den Grundsätzen nach nachhaltig naturnahe Waldbewirtschaftung seitens der Waldeigentümer vermuten, ohne die eine derart hohe Lebensraumqualität kaum erreichbar ist. Anders stellt sich dies für die Gesamtwaldflächen einschließlich der Nicht-Lebensraumflächen für die ausgewerteten FFH-Gebiete dar. In 31 der insgesamt 51 auswertbaren Dokumente sind gesellschaftsfremde Baumarten insgesamt mit einem Anteil unter 20 % vertreten. Die Gesamtwaldfläche ist ebenso wie die Nicht-Lebensraumfläche jedoch bisher nicht Gegenstand der Bewertung von Erhaltungszuständen in FFH-Gebieten.

In 19 FFH-Gebieten sollen Nadelbäume, darunter natürlich Douglasie, Kiefer, Lärche und Fichte, systematisch vor deren Hiebsreife entnommen werden; in fünf dieser Gebiete wird in diesem Zusammenhang eine Gesamtfläche von über 758 ha zu nutzender Nadelholzbestände konkretisiert. Ein einziger Plan verlangt die kurzfristige, vollständige Verdrängung der Douglasie aus dem Schutzgebiet. Sieben weitere Pläne sehen eine auf lange Sicht vollständige Entnahme von Douglasien oder anderer naturferner Baumarten im Zuge der Durchforstung vor, während fünf Dokumente lediglich die langfristige Überführung von Nadelholz- in standortgerechte Laubholzbestände propagieren. Aufgrund des fehlenden Zeithorizonts kann von einem mittelfristigen Verbleib gesellschaftsfremder Baumarten in diesen FFH-Gebieten ausgegangen werden. Zudem unterscheiden die Pläne nicht erkennbar zwischen prioritären und nicht prioritären Lebensräumen.

Jede waldbauliche Maßnahme in FFH-Wald-Lebensräumen ist zunächst auf die Förderung des lebensraumtypischen Baumartengefüges ausgerichtet und priorisiert folglich die Entnahme vorwiegend gesellschaftsfremder Nadelbäume, unabhängig von deren potentiellen Beitrag zur Bestandesstabilität und biologischen Vielfalt im Begleitartenpektrum. Wie sich die systematische Entnahme auf die Baumartenzusammensetzung der FFH-Lebensräume auswirken wird, kann abschließend erst im Rahmen der Planforschreibung ermittelt werden, wenn die dafür erforder-

lichen Angaben bei der ersten Planaufstellung erhoben wurden. Aus waldökologischer Sicht fehlen allerdings bereits jetzt elementare Angaben in einigen Plänen für eine derartige Beurteilung.

4.2.4 Integration der Douglasie in FFH-Wald-Lebensraumtypen

Wie bereits in Kap. 1 erwähnt, verhält sich die Douglasie wie ein Agriophyt (Schroeder, 1968), der gebietsbezogen durchaus ein Bestandteil der heutigen potentiell natürlichen Vegetation darstellt (Reif et al., 2005) und damit die Kriterien einer neuheimischen Art erfüllt (Schmidt, 2010). Im Folgenden geht es um die Beantwortung der Fragen: (1) Lassen die Managementpläne überhaupt eine Integration der Douglasien zu und (2) auf welche Wald-Lebensräume ist dies möglicherweise beschränkt? Dabei sollte berücksichtigt werden, dass auch natürliche Lebensräume der eigendynamischen Veränderung und der Einwirkung von sich wandelnden Umweltbedingungen unterliegen. Das gilt auch für die klassifizierten FFH-Lebensräume, deren Systematik vergleichsweise starr ist.

Die FFH-Dokumente lassen sich in Bezug auf die Integrationsfrage in mehrere Klassen einteilen. Die erste Klasse lehnt die Beteiligung gesellschaftsfremder Baumarten an Wäldern innerhalb des FFH-Gebietes grundsätzlich ab und plädiert für ein umgehendes Zurückdrängen. Die zweite Klasse duldet diese Baumarten vorübergehend und sieht ihre sukzessive Entfernung aus den Wald-Lebensräumen im Rahmen der Holzernte und Waldpflege vor. Eine dritte Klasse lässt den Verbleib dieser Baumarten in den Nicht-Lebensraumflächen, also außerhalb der natürlichen Wald-Lebensräume zu, so lange dies einen günstigen Erhaltungszustand des FFH-Gebietes nicht beeinträchtigt.

Letzteres ist vereinzelt in großflächigen FFH-Gebieten (z. B. die Lüneburger Heide) zu beobachten, in denen die Wald-Lebensräume in bewirtschafteten Wäldern eingebettet sind. Zu dieser dritten Klasse findet sich auch der Hinweis, dass „in Fichten-Stangenhölzer ohne Struktur (Anmerkung: die in dem betreffenden Gebiet kein FFH-Lebensraumtyp repräsentieren) die beigemischte und tlw. geastete Douglasie in gewissen Anteilen am Bestandesaufbau beteiligt bleiben kann, da auch sie zu einer Strukturbereicherung beiträgt.“

Anderenorts kommen „kleinflächig Douglasien-Buchen-Mischbestände als Waldentwicklungstypen in Frage“. Dies ist, wie hier dokumentiert, auf Einzelfälle beschränkt und wird es sicher auch bleiben. Immerhin deutet sich damit die Möglichkeit zu einer vorübergehenden Integration der Douglasie an, die mit Blick auf die dynamische Entwicklung des jeweiligen FFH-Gebietes im Rahmen von Pflegemaßnahmen stets beeinflussbar bleibt.

4.2.5 Sonstige Zielkonflikte

Lokal eng begrenzte Zielkonflikte mit Douglasie werden lediglich in drei Managementplänen konkret benannt. Einmal handelt es sich um ein Wanderfalkenvorkommen, das im

Horstbereich durch eine Douglasienaufforstung gestört wird. In einem zweiten Plan beeinträchtigt das Vorhandensein von Douglasien kleinräumig offene, als natürlicher Lebensraum ausgewiesene Felsenbereiche und in einem dritten Fall haben sich Douglasien mit relativ hohen Anteilen in naturnahen Buchenbeständen verjüngt (siehe Kap. 4.2.2). Diese Konflikte sind durch eine gezielte Entnahme der störenden Douglasien kurzfristig lösbar. In allen übrigen Gebieten sind offensichtlich keine Zielkonflikte vorhanden oder werden nicht als solche geführt. Ohne konkreten Bezug zur Douglasie finden sich darüber hinaus sehr vereinzelt allgemeine Hinweise auf Nadelholzvorkommen, die dem Erhalt seltener Pilzarten im Gebiet entgegenstehen, bzw. auf die Existenz naturferner Bestockungen, die dem Schutzzweck des Gebietes widersprechen. Um diese Aussagen einer Baumart zuordnen zu können, müssten die Angaben in den Dokumenten präzisiert werden.

5 Abschließende Bemerkungen

Dies Kapitel gliedert sich in zwei Teile, von denen der eine sich mit der Annäherung an bundesweite Informationen zu Douglasenvorkommen in Wald-FFH-Gebieten und der zweite sich mit der Bewertung von gesellschaftsfremden Baumarten auf der Ebene des Gebietsmanagements auseinandersetzt.

5.1 Flächenübergreifende Informationen zu Douglasenvorkommen in FFH-Gebieten

Eine Vielzahl von zeitgeschichtlichen Einflüssen hat dazu geführt, dass wuchskräftige gesellschaftsfremde Baumarten, zu denen auch die Douglasie zählt, in Wäldern angebaut worden sind (vgl. Reif et al., 2011; Kownatzki et al., 2011). Die allgegenwärtige Präsenz dieser Baumarten ist somit das Ergebnis einer zeitgeschichtlichen Entwicklung, die bis in die heutige Zeit nachwirkt. Ein zeitgeschichtlich ebenfalls gewachsenes Natur- und Umweltbewusstsein hat dazu geführt, dass die Naturschutzziele im Wald sich verändert haben und aus naturschutzfachlicher Sicht eine größere Naturnähe angestrebt wird (Reif et al., 2011). Für die Definition der Naturnähe eines Lebensraumes gibt es unterschiedliche Möglichkeiten (vgl. Dierschke, 1984; Scherzinger, 1996).

Bereits eingebürgerte Tier- und Pflanzenarten haben eine geringe naturschutzfachliche Akzeptanz. Die Wahrnehmung einzelner Arten, auch wenn sie nur eine unbedeutende Rolle spielen, übersteigt in der Darstellung in den Medien vielfach ihre tatsächliche Präsenz. Um die Diskussion um das Vorkommen gesellschaftsfremder Baumarten in den schützenswerten FFH-Lebensräumen zu versachlichen, wurde der Versuch unternommen, objektivierbare Informationen oder Einschätzungen für Wälder in Deutschland zusammenzustellen.

Die auf dem Messtischblatt-Viertel erhobenen *FlorKart*-Informationen sind nicht flächendeckend verfügbar und nur in Teilen aktuell überprüft (siehe auch Kap. 3.3). Eine wesentliche Einschränkung der Nutzbarkeit von *FlorKart*-Informationen ist die ungenaue Verortung der kartierten Vorkommen, die mit heutigen Methoden geografischer Informationssysteme zeit-

nah nachgeholt werden könnte, wenn die Kartierunterlagen dies erlauben. Dies wäre besonders dann interessant, wenn neben den Flächengeometrien der FFH-Gebiete auch die der Lebensräume verfügbar sind. Zudem fehlen in den *FlorKart*-Daten Angaben zur Ausdehnung der Vorkommen, die für eine Beurteilung der lokalen Beeinträchtigung wichtig sind. Unabhängig davon könnten Informationen aktueller Vegetationserhebungen, wie sie auch im Rahmen der Bundeswaldinventur oder anderer Gebietsinventuren durchgeführt werden, zur Vervollständigung und Aktualisierung der *FlorKart*-Daten beitragen. Im Vergleich zu *FlorKart* liefern auch die Stichprobeninformationen der BWI² nur ein unvollständiges Bild zu den Douglasenvorkommen in den FFH-Gebieten. Insbesondere lassen sich aus den Angaben zu den auf den Stichprobennpunkten der BWI² ermittelten Douglasienanteilen keine Baumartenanteile für einzelne Gebiete oder Großregionen ableiten.

Dies leisten nur wesentlich feiner auflösende Gebietsinventuren, die sich nur mit erheblichem Zeit- und Kostenaufwand flächenrepräsentativ umsetzen lassen. Dem steht die Erstellung von FFH-Managementplänen oder vergleichbarer Planungsunterlagen gegenüber, in denen Informationen zur Baumartenverteilung bereits enthalten sein könnten (aber leider nicht immer sind). Diese Angaben könnten die Stichprobeninformationen der BWI² sinnvoll ergänzen.

5.2 Management gesellschaftsfremder Baumarten in FFH-Gebieten

Die Nationale Strategie zur biologischen Vielfalt (BMU, 2007) sieht lokale Defizite bei der Waldbewirtschaftung, besonders in Hinblick auf die bisherige Verwendung nicht standortgerechter Baumarten. Daraus leitet sich das Ziel ab, bei der Waldneubegründung künftig vermehrt standortheimische Baumarten zu verwenden (BMU, 2007). Die Baumartenwahl im Wald ist von einer Reihe von Faktoren abhängig, von denen der Standort eine Komponente ist. Daneben spielen auch die lokale Forstgeschichte und die betrieblichen Ziele des Waldbesitzers eine nicht unbedeutende Rolle. Letztere bestimmen die Waldbewirtschaftung und -entwicklung für viele Jahrzehnte.

In diese gewachsene Struktur der Waldbewirtschaftung haben sich Flächen hoher Naturnähe erhalten, die zu Vorrangflächen des Biotop- und Naturschutzes erklärt wurden. Um diese Flächen zu sichern und zu entwickeln, wurden bestehende Schutzgebiete zusammengefasst oder arrondiert. Neben den eigentlich schützenswerten Wald-Lebensräumen können FFH-Gebiete daher Waldflächen enthalten, die keinem Lebensraumtyp zugeordnet sind. Der Umfang dieser Waldflächen ist kaum dokumentiert, da sich die Angaben zu Wald in FFH-Gebieten entweder nur auf die Wald-Lebensräume oder auf alle Waldflächen innerhalb der Gebiete beziehen. Nicht selten führt dieser Umstand zu einer wenig differenzierten Betrachtung der Gesamtwaldfläche bzw. der Wald-Lebensräume in den Managementplänen der FFH-Gebiete. Eine solche Differenzierung ist jedoch notwendig, wenn es darum gehen soll, Wald-Lebensräume über geeignete Maßnahmen zu entwickeln.

Die getrennte Betrachtung von Wald in den FFH-Gebieten allgemein und den intensiv zu schützenden Wald-Lebensräumen im Speziellen macht deutlich, dass einerseits Fremdbaumarten in FFH-Gebieten noch mit nennenswerten Anteilen vorkommen können (vgl. Abbildung 7), aber andererseits die eigentlich ökologisch wertvollen Gebietsteile hiervon deutlich geringer beeinträchtigt sind (vgl. Tabelle 3), als allgemein angenommen wird. Im direkten Vergleich mit den Gesamtwaldflächen in den 51 FFH-Gebieten (ca. 33.900 ha) hat sich der Anteil an Fremdbaumarten in den 15 FFH-Gebieten (ca. 24.700 ha), in denen Wald-Lebensraumtypen ausgewiesenen wurden, im Mittel auf weniger als ein Fünftel reduziert.

Nach den vorliegenden Befunden kann davon ausgegangen werden, dass das Vorkommen gesellschaftsfremder Baumarten in den schützenswerten Wald-Lebensräumen mehrheitlich unterhalb der naturschutzfachlich festgelegten Grenzen für einen günstigen Erhaltungszustand von FFH-Gebieten liegt. Folglich müssten höhere Fremdbaumartenanteile in den bewaldeten Nicht-Lebensraumflächen innerhalb der FFH-Gebiete vorhanden sein, als es die Baumartenverteilung für die Waldfläche allgemein widerspiegelt. Diese Aussagen gelten jedoch nur für die beschränkte Anzahl von 15 FFH-Gebieten, für die die erforderlichen Angaben verfügbar waren. Zudem verteilen sich diese nicht gleichmäßig über Deutschland, sondern sind, von einer Ausnahme abgesehen, im süddeutschen Raum konzentriert.

Auch die Gegenüberstellung der Einzelbewertungen des Arteninventars zum Gesamtzustand eines Lebensraums hat keine Hinweise ergeben, dass die schützenswerten Flächen innerhalb der FFH-Gebiete verstärkt von gesellschaftsfremden Baumarten beeinträchtigt werden. Dennoch wird in vielen FFH-Dokumenten dieser Umstand thematisiert.

Die vorliegende Studie hat gezeigt, dass sich verlässliche Informationen nur auf der Gebietsebene erfassen lassen, wenn auch teilweise unvollständig. Die Natura 2000-Standardbögen enthalten beispielsweise keine Angaben zu Baumartenvorkommen. Derartige Informationen werden auch nicht auf einer übergeordneten Ebene (Region, Bundesland, Bundesgebiet) zusammengeführt und abgeglichen.

Selbst auf lange Sicht wird sich auch die uneinheitliche Vorgehensweise bei der Aufstellung von Managementplänen und die Dokumentationstiefe in den FFH-Unterlagen der Länder nicht verändern, womit auf absehbare Zeit kaum verlässlichere Angaben zu Baumartenanteilen in den naturschutzfachlich sensiblen Bereichen der FFH-Gebiete verfügbar sein werden. Für ein überregionales Gebietsmanagement, das auch auf die Vernetzung der einzelnen FFH-Gebiete abzielt, scheint es unerlässlich, in den genannten Bereichen nachzubessern, um die Diskussion auf eine verlässliche Datengrundlage zu heben.

6 Literatur

- Arbeitskreis Standortskartierung in der Arbeitsgemeinschaft Forsteinrichtung (ed) (1996) Forstliche Standortaufnahme. Echting : IHW-Verl, 352 p
- BfN - Bundesamt für Naturschutz (2011) Managementpläne (inkl. Bewirtschaftungspläne und Sofortmaßnahmenkonzepte) für FFH-Gebiete, tabellarische Übersicht, Stand 2010 [online]. Zu finden in <http://www.bfn.de/0316_stand-umsetzung-deutschland.html> [zitiert am 31.07.2013]
- BfN - Bundesamt für Naturschutz (ed) (2010) Natura 2000-Sachdaten : Access-Datenbank der aktualisierten Standarddatenbogeninformationen ohne Angaben zu sensiblen Arten [CD-ROM]. Bonn : Bundesamt für Naturschutz
- BfN - Bundesamt für Naturschutz (ed) (2009) Karte der Douglasienverbreitung in Deutschland. Datenbank FlorKart. Unkorrigierter Datenstand 12/2006. Zu finden in <<http://www.floraweb.de/MAP/scripts/esrimap.dll?name=florkart&cmd=mapflor&app=distflor&ly=gw&taxnr=6528>> [zitiert am 18.10.2010]
- BMU - Bundesministerium für Umwelt, Naturschutz und Reaktorsicherheit (ed) (2007) Nationale Strategie zur biologischen Vielfalt [online]. Zu finden in <http://www.biologischevielfalt.de/fileadmin/NBS/documents/broschuere_biolog_vielfalt_strategie_bf.pdf> [zitiert am 02.08.2013]
- Budde S (2006) Auswirkungen des Douglasienanbaus auf die Bodenvegetation im nordwestdeutschen Tiefland. Göttingen : Cuvillier, 111 p
- Bürger-Arndt R (2000) Kenntnisse zur Synökologie der Douglasie als Grundlage für eine naturschutzfachliche Einschätzung. Forst Holz 55(22):707-712
- Burkhardt R, Robisch F, Schröder E (2004) Umsetzung der FFH-Richtlinie im Wald. Gemeinsame bundesweite Empfehlungen der Länderarbeitsgemeinschaft Naturschutz (LANA) und der Forstchefkonferenz (FCK). Nat Landschaft 79(7):316-323
- Dierschke H (1984) Natürlichkeitsgrade und Pflanzengesellschaften unter besonderer Berücksichtigung der Vegetation Mitteleuropas. Phyto-coenologia 12(2/3):173-184
- Dieter M, Hartebrodt C, Becker G (2012) Auswirkungen von naturschutzfachlichen Anforderungen auf die Forst- und Holzwirtschaft. AFZ Wald 67(20):4-5
- EC (1992) Richtlinie 92/43/EWG des Rates vom 21. Mai 1992 zur Erhaltung der natürlichen Lebensräume sowie der wildlebenden Tiere und Pflanzen. Amtsbl Europ Gemeinsch L 206 vom 22.07.1992, pp 7-50
- EC (1994) Natura 2000-Standarddatenbogen [online]. Zu finden in <http://ec.europa.eu/environment/nature/legislation/habitatsdirective/docs/standarddataforms/form_de.pdf> [zitiert 29.08.2013]
- Erb W (2007) FFH-Managementplanung aus forstpolitischer Sicht. AFZ Wald 60(5):228-229
- FSC - Forest Stewardship Council (2010) Deutscher FSC-Standard. Version 2.2 vom 02.02.2011 [online]. Zu finden in <http://www.fsc-deutschland.de/index.php?option=com_content&view=article&id=164&Itemid=190> [zitiert am 19.09.2012]
- Knoerzer D (1999) Zur Naturverjüngung der Douglasie im Schwarzwald : Inventur und Analyse von Umwelt- und Konkurrenzfaktoren sowie eine naturschutzfachliche Bewertung. Berlin : Cramer, 283 p, Dissertationes Botanicae 306
- Kownatzki D, Kriebitzsch W-U, Bolte A, Liesebach H, Schmitt U, Elsasser P (2011) Zum Douglasienanbau in Deutschland : ökologische, waldbauliche, genetische und holzbiologische Gesichtspunkte des Douglasienanbaus in Deutschland und den angrenzenden Staaten aus naturwissenschaftlicher und gesellschaftspolitischer Sicht. Braunschweig : vTI, 67 p, Landbauforsch SH 344
- Müller-Kroehling S (2009) Bewertung von FFH-Lebensraumtypen. LWF aktuell 69:12-14
- Polley H (2009) Wald in Schutzgebieten – ein Überblick. Landbauforsch SH 327:75-82
- Reif A, Aas G, Essl F (2011) Braucht der Wald in Zeiten des Klimawandels neue, nicht heimische Baumarten? Nat Landschaft 86(6):256-260
- Reif A, Brucker U, Kratzer R, Schmiedinger A, Bauhus J (2010) Waldbau und Baumartenwahl in Zeiten des Klimawandels aus Sicht des Naturschutzes : Abschlussbericht eines F+E-Vorhabens im Auftrag des Bundesamtes für Naturschutz (FKZ 3508 84 0200). Bonn-Bad Godesberg : Bundesamt für Naturschutz, 125 p, BfN-Skripten 272

- Reif A, Wagner U, Bieling C (2005) Analyse und Diskussion der Erhebungsmethoden und Ergebnisse der zweiten Bundeswaldinventur vor dem Hintergrund ihrer ökologischen und naturschutzfachlichen Interpretierbarkeit. Bonn-Bad Godesberg : Bundesamt für Naturschutz, 47 p, BfN-Skripten 158
- Scherzinger W (1996) Naturschutz im Wald : Qualitätsziele einer dynamischen Waldentwicklung. Stuttgart : Ulmer, 447 p, Praktischer Naturschutz
- Schmidt P (2010) Einheimisch/nichteinheimisch, gebietsheimisch/gebietsfremd : Gehölzartenwahl nach spezifischen Anforderungen und auf fachlicher Grundlage. Jb Baumpflege 2010:72-84
- Schmitz F, Polley H, Hennig P, Schwitzgebel F, Kriebitzsch W-U (2004) Die zweite Bundeswaldinventur – BWI² : das Wichtigste in Kürze. Berlin : BMVEL, 87 p
- Schroeder F-G (1968) Zur Klassifizierung der Anthropochoren. Vegetatio 16(5/6):225-238
- Sippel A (2005) Erfassung, Bewertung und Sicherung von FFH-Waldlebensraumtypen. AFZ Wald 60(2):71-74
- Sippel A (2007) Forstliche Nutzung in FFH-Gebieten : Situationsanalyse und Perspektiven ; Fachstudie erstellt durch die Forstliche Versuchs- und Forschungsanstalt Baden-Württemberg im Auftrag der Bundesforschungsanstalt für Forst- und Holzwirtschaft. Freiburg : Forstl Versuchs For schungsanst Baden-Württemberg, 86 p
- Ssymank A (2007) Wald im Natura 2000 Netzwerk : Management und Erhaltungszustände [online]. Zu finden in <http://www.natur.bsl-ag.de/fileadmin/user_upload/bl/news/Wald_im_Natura-2000-Netzwerk.pdf> [zitiert am 12.08.2013]
- Starfinger U (1990) Die Einbürgerung der Spätblühenden Traubenkirsche (*Prunus serotina* Ehrh.) in Mitteleuropa. Berlin : TU Berlin, 119 p, Landschaftsentwickl Umweltforsch 69
- Thoroe C (2009) Wald im Wandel – gesamtgesellschaftliche Herausforderungen. Landbauforsch SH 327:5-9
- Walentowski H (2008) Die Douglasie aus naturschutzfachlicher Sicht. In: Schmidt O, Wauer A (2008) Die Douglasie : Perspektiven im Klimawandel. Freising : LWF, LWF Wissen 59:67-69

Floristic diversity in Short Rotation Coppice (SRC) plantations: Comparison between soil seed bank and recent vegetation

Sarah Baum*, Martin Weih** and Andreas Bolte***

Abstract

In the near future an increase in Short Rotation Coppice (SRC) plantations is to be expected. The objective was to compare the recent vegetation and the soil seed bank in SRC plantations to reveal the functioning of the soil seed bank for phytodiversity and vegetation structure after reconversion of SRC plantations into arable land. For the analyses, above-ground vegetation surveys and soil seed bank samples of six German and four Swedish SRC plantations were used. Similarity in composition of soil seed banks and recent vegetation was low in terms of species, plant strategy types, species habitat preferences and seed longevity. On average, the proportion of common species of recent vegetation and soil seed bank was 8.4 % ($\pm 6.7\% \text{ SD}$). The recent vegetation was dominated by competitive (c) plant species while in the soil seed banks highest proportions were detected for ruderals (r) and competitors (c). Species with long-term persistent seeds had the highest contribution to both the recent vegetation and the soil seed banks. Grassland species had highest species habitat preference proportion in the recent vegetation. The soil seed banks contained predominantly ruderal species and woodland species were almost absent. Due to the poor coherence of seed bank vs. recent vegetation, we conclude that the site history has only a minor influence on phytodiversity in SRC plantations, suggesting that recent vegetation composition is mainly due to the species pool of the adjacent vegetation and site conditions like below-canopy irradiance and site nutrition.

Keywords: *seedling emergence method, reconversion, functional species composition*

Zusammenfassung

Floristische Vielfalt in Kurzumtriebsplantagen (KUP): Vergleich zwischen Diasporenbank und aktueller Vegetation

Es wird eine zeitnahe Zunahme von Kurzumtriebsplantagen (KUP) erwartet. Um die potentielle Rolle der Samenbanken im Boden in KUPs für die Phytodiversität und Vegetationsstruktur nach Rückumwandlung in Ackerland abschätzen zu können, wurde in sechs deutschen und vier schwedischen KUPs die floristische Zusammensetzung der aktuellen Vegetation und der Diasporenbank verglichen. Die Ähnlichkeit hinsichtlich der Zusammensetzung der Arten, Konkurrenzstrategen, Lebensraumpräferenzen sowie der Lebensdauer der Samen war gering. Der Anteil der Arten, die sowohl in der aktuellen Vegetation als auch in der Diasporenbank auftraten, lag bei 8,4 % ($\pm 6,7\% \text{ SD}$). In der aktuellen Vegetation dominierten Konkurrenzstrategen (c), in den Diasporenbanken Ruderal- (r) und Konkurrenzstrategen (c). In aktueller Vegetation und Diasporenbank überwogen Arten mit langlebigen Samen. Grünlandarten hatten den größten Anteil der Lebensraumpräferenzen der aktuellen Vegetation. In den Diasporenbanken überwogen Ruderalarten, während Waldarten kaum anzutreffen waren.

Aus der schwachen Übereinstimmung von aktueller Vegetation und Diasporenbank schließen wir, dass die Nutzungsgeschichte einen geringen Einfluss auf die Phytodiversität in KUPs hat, was nahelegt, dass die aktuelle Zusammensetzung vor allem durch den Artenpool der angrenzenden Vegetation und Standortbedingungen wie Unterkrönungstrahlung und Nährstoffangebot bestimmt wird.

Schlüsselworte: *Keimplings-Auflauf-Verfahren, Rückumwandlung, funktionelle Artenzusammensetzung*

* Thünen Institute of Rural Studies, Bundesallee 50, D-38116 Braunschweig, Germany

** Swedish University of Agricultural Sciences (SLU), Dept. of Crop Production Ecology, P.O. Box 7043, Ulls väg 16, SE-750 07 Uppsala, Sweden

*** Thünen Institute of Forest Ecosystems, Alfred-Möller-Str. 1, D-16225 Eberswalde, Germany

Contact: sarah.baum@ti.bund.de

1 Introduction

Due to political efforts to reduce greenhouse gas emissions, the proportion of renewable energies has to be increased to 20 % in the EU until 2020 (European Commission Climate Action, 2010). One promising option contributing to this goal is woody biomass production in Short Rotation Coppice (SRC) plantations (cf. Berndes et al., 2003). Fast growing tree species like *Salix* spp. or *Populus* spp. are planted in high densities on agricultural lands and harvested after two to six years. These tree species have the ability to re-grow from their stools which generally remain viable for 15 to 30 years (Aylott et al., 2008). When agricultural lands are changed into SRC plantations, the ground has to be prepared by ploughing and weed control to ensure the establishment of the planted crop. Since no further measures are necessary, a ground vegetation cover establishes. This can be by living vegetative parts like rhizomes, tillers or alive roots in the soil (Gustafsson, 1987) and from the soil seed banks (Gustafsson, 1987, 1988; Stoll & Dohrenbusch, 2008). Plants can also establish by diaspore input from the surroundings (Gustafsson, 1987; Weih, 2009).

Many studies deal with the role of soil seed banks in re-colonization after disturbances (Bakker et al., 1996; Waldhardt et al., 2001; Luzuriaga et al., 2005; Dölle & Schmidt, 2009), restoration (Blomqvist et al., 2003; Matus et al., 2003; Martin & Wilsey, 2006; Bossuyt & Honnay, 2008) and succession (Hill, 1986; Young et al., 1987; Milberg, 1995; Grandin & Rydin, 1998; Falińska, 1999; Bekker et al., 2000). In general, great floristic differences between above-ground vegetation and soil seed bank are reported for different habitats (e.g. D'Angela et al., 1988; Kitajima & Tilman, 1996; Davies & Waite, 1998; Bekker et al., 2000; Dölle & Schmidt, 2009) due to the ability of seeds to survive in the soil for many years without being present in the recent vegetation (Thompson & Grime, 1979; Hill & Stevens, 1981). Especially weed seeds in agricultural soils are able to outlast long periods and germinate when conditions are suitable again (Brown & Oosterhuis, 1981; Bakker et al., 1996). In contrast, vegetation and seed bank are similar in early successional communities following periodical disturbance, where early successional annual weed

species with persistent seed banks dominate (Moore, 1980; Luzuriaga et al., 2005; Dölle & Schmidt, 2009). Persistent seed existence in the soil depends on many aspects like predation, germination requirements, dormancy mechanisms, seed shape, and resistance to pathogens (Thompson et al., 1993).

Despite abundant reports on relationships between soil seed banks and recent vegetation across various habitats, we are aware of only one study on soil seed banks in SRC plantations: Hoffmann (2005) surveyed the soil seed banks in SRC plantations of different poplar clones in northern Hesse (Germany), but made no comparisons with above-ground vegetation. The author found a relationship between planted clone types, light conditions on the soil surface and different species and numbers of individuals in the soil seed banks.

Our study focuses on the differences in germinable seeds in 10 to 20 cm depth and the recent vegetation in SRC plantations and thus on the role of the soil seed bank for phyto-diversity in SRC plantations. A great coherence of soil seed bank and recent vegetation would imply different floristic diversity in SRC plantations in dependency on the site history. Further, comparing floristic diversity of the recent vegetation and the soil seed bank provides information about the potential contribution of the soil seed bank to the above-ground vegetation after reconversion into arable land. We address the hypothesis that functional species composition of recent SRC vegetation and soil seed bank differ with regard to strategy types, habitat-specific species diversity, and seed longevity. Thus, we expect weak influence of vegetation elements of former land uses on recent vegetation in SRC plantations.

2 Materials and Methods

2.1 Study sites: Locations and site conditions

Soil seed bank sampling and vegetation surveys were conducted on ten study sites located in northern Germany and central Sweden. The German sites are situated in the federal states Brandenburg (site CD) and Lower Saxony (all other sites). Four of them contained willow and two poplar (Table 1).

Table 1

Overview of the study sites: Abbreviations, crops and ages. Country: DE: Germany, SE: Sweden

Abbreviation and site	Country	Crop	Established	Last harvest	Rotation no.
BDI Bohndorf I	DE	Willow: Tordis, Inger	2006	2009	2
BDII Bohndorf II	DE	Willow: Tordis	2008	-	1
BDIII Bohndorf III	DE	Willow: Tordis	2007	-	1
CD Cahnsdorf	DE	Poplar: Japan 105	2006	2008	2
HTP Hamerstorf: <i>Populus</i>	DE	Poplar: Hybrid 275, Max 4, Weser 6	2006	-	1
HTS Hamerstorf: <i>Salix</i>	DE	Willow: Tora, Tordis, Sven, one unknown	2006	-	1
HSI Hjulsta I	SE	Willow: Jorr	1995	2008	4
HSII Hjulsta II	SE	Willow: Jorr	1995	2008	4
LBI Lundby I	SE	Willow: 78021	1995	2005	3
LBII Lundby II	SE	Willow: Tora	2000	2005	2

The four Swedish sites are located in the Uppland province and contained willow clones. Two of the Swedish SRC plantations were treated with sewage sludge before planting the crop (HSII and LBII). SRC plantations were established on arable land (CD, HTS, HSI, HSII, LBI, LBII) or grassland (BDI, BDII, BDIII, HTP). We chose SRC plantations for which we had sufficient information regarding plant material and management history.

Mean annual temperatures were higher at the German sites (about 8.5 °C) than at the Swedish sites (about 5.5 °C). During the growing season (May to September) mean temperature for the German sites was 15 °C and 13.5 °C for the Swedish sites.

Precipitation rates were higher in Germany (annual precipitation: 640 mm; during growing season: 60 mm) than in Sweden (annual mean: 530 mm; during growing season: 55 mm; data base: long-term recordings from 1961 to 1990, German Weather Service (DWD, 2010); Swedish Meteorological and Hydrological Institute (SMHI, 2011)). The German study sites were characterized by sandy soils with sandy deposits as parent material. The soils of the Swedish sites are cohesive with high clay contents. The bedrock is predominantly granite or gneiss (site Djurby: greywacke, schist and quartzite).

2.2 Seed bank sampling

A pilot study was conducted in 2009 in order to find the most feasible method for seed bank sampling. In early March, 18 soil samples were taken on two 100 m² plots (one located centrally and one at the edge of the SRC plantation) in a willow SRC in Jamikow/Uckermark (Brandenburg, northeast Germany) from three different depths (0 to 10; 10 to 20 and 20 to 30 cm) with a 8 cm diameter soil corer. Three different volumes were taken per depth: 5, 10, or 15 soil cores (corresponding, 2510 cm³, 5030 cm³ and 7540 cm³ respectively). Soil cores of respective depths and volumes were mixed for each

plot and concentrated to the fraction between 0.2 to 2 mm by washing and sieving. This sample concentration leads to an enhanced number of emerging seedlings by applying the seedling emergence method afterwards in comparison to raw samples (Ter Heerdt et al., 1996; Thompson et al., 1997). Approximately 2000 g of sieved soil of each sample were spread in a 28 x 46 cm plant tray on a 3 cm layer of sterilized sandy subsoil. Trays were placed in an unheated greenhouse for five months (April to September), and were covered with gauze to avoid contamination by external seeds. Emerging seedlings were determined, counted and removed creating optimal conditions for further seedling. Seedlings initially undeterminable were transplanted in separate pots where they could grow till they could be identified.

Data analyses of the pilot study showed a dependency of species number and number of individuals on sample depth with highest numbers for 10 to 20 cm depth ($R^2 = 0.47$ or $R^2 = 0.57$, respectively; Figure 1a). Species number and number of individuals were not influenced by sample volume ($R^2 = 0.15$ or $R^2 = 0.04$, respectively; Figure 1b). Of the total number of species recorded for each sampling area (all depths and volumes), 9 % within the SRC and 21 % at the edge of SRC, respectively, were not found in 10 to 20 cm depth. Thus, we decided in the main study to sample the depth of 10 to 20 cm within the SRC and to take nine soil cores (=4523.9 cm³) corresponding to the number of vegetation survey sub-plots per 100 m² allowing a consistent soil sampling in 2010. Another aspect is that the upper layer is presumably strongly influenced by the recent vegetation (Bakker et al., 1996; Grandin & Rydin, 1998) and deeper layers contain thus more information regarding species of the former use.

Soil samples evaluated in this study were taken at the beginning of 2010 after winter stratification, but before emergence of early spring annuals. The German sites were sampled between the end of March and the beginning of April, the Swedish sites at the beginning of May as the growing season starts approximately one month later in central Sweden

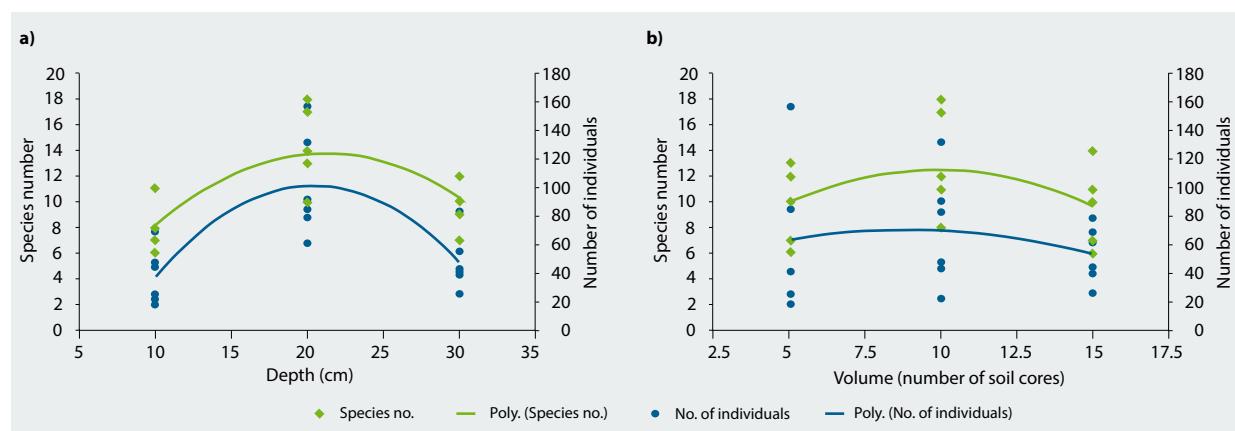


Figure 1

Pilot study for seed bank sampling: dependency of species number and number of individuals on a) sample depth and b) sample volume. Equations: a) Species no./depth: $y = -0.0442x^2 + 1.875x - 6.1667$, $R^2 = 0.47$, $N = 18$; no. of individuals/depth: $y = -0.58x^2 + 23.717x - 141.5$, $R^2 = 0.57$, $N = 18$; b) Species no./volume: $y = -0.1067x^2 + 2.1x + 2.1667$, $R^2 = 0.15$, $N = 18$; no. of individuals/volume: $y = -0.46x^2 + 8.1667x + 34.167$, $R^2 = 0.04$, $N = 18$. Poly.: Polynomial (square) function.

compared to northern Germany. At each SRC site two plots of 100 m² were sampled. All plots were located within the SRCs to avoid edge effects. In total, there were 12 samples in Germany and eight samples in Sweden with 4523.9 cm³ (= 9 soil cores) each. After mixing and weighing the nine soil cores, composite samples were halved, sieved and spread into plant trays as in the preliminary study in 2009. Samples were halved to avoid thick layers where seeds would have lower chance to germinate due to light deficiency and less suitable temperatures (e.g. Thompson et al., 1997). The trays were placed in the greenhouse for six month from May till November. Samples were disturbed in June and August after a period of no new seedlings by drying out for one week and intermixing. Afterwards samples were watered again to enable as many seeds as possible to germinate.

2.3 Vegetation sampling

The recent above-ground vegetation was recorded in 2009 from May till July in Germany and from July till August in Sweden. At each SRC site the same two plots of 100 m² (10 x 10 m) as for the soil seed bank analyses were sampled. Each 100 m² plot was divided into nine sample sub-plots which were pooled for evaluating the vegetation data. A species list of the vascular plants with percentage covers was created on a scale subdivided into 5 % intervals based on the scale of Londo (1975) for the ground vegetation layer. Below 5 % cover the intervals were 1 % and under 1 % it was differentiated between two to five individuals (0.2) and unique (0.01) referring to the scale of Braun-Blanquet (1928). The nomenclature follows Rothmaler et al. (2002).

2.4 Data analysis

For each plot the density of germinating seedling per m² (from now on named seed density) was calculated by eq. 1:

$$S = \frac{1}{4.5 * A_c} * n_s \quad (1)$$

Where S = seed density (seeds/m²), A_c = circle area of soil cores: $A_c = \pi * r^2$ with $r = 0.04$ m (A_c was multiplied by 4.5 as nine soil cores were taken but samples were halved after mixing, see chapter Materials and Methods, section Seed bank sampling) and n_s = number of germinating seedlings of the sampled plot.

The mean values of species proportions in regard to strategy types, proportions of species habitat preference types and seed longevity were calculated. The plant strategy type classification was done according to Hodgson et al. (1988) with the differentiation c: competitors, r: ruderals, s: stress tolerators and the intermediate strategy types cr, cs, sr and csr. Species habitat preferences were based on coarse habitat preferences according to Ellenberg et al. (2001), cf. Dölle & Schmidt (2009): arable field (a), grassland (g), ruderal site (r) and woodland (w) species. Some species are assigned to more than one group concerning strategy type classification and habitat preferences. The proportions of these mixed

categories were split into the number of their groups. Species seed longevity was determined according the classification scheme by Thompson et al. (1997) who defined three main types of seed longevity: transient (seeds persisting in the soil for less than one year), short-term persistent (seeds persisting 1 to 5 years) and long-term persistent (seeds persisting at least 5 years).

Before mean values of species proportions of strategy types, habitat preferences or seed longevity were compared, residuals were tested for normal distribution with the Shapiro-Wilks test. In case of normal distributed residuals and homogeneous variances (tested by Levene's test of homogeneity of variance) differences between groups were tested by one-way ANOVA and subsequent multiple comparisons using Tukey's HSD post-hoc test for unbalanced data considering type I errors. The significance level for all tests was $p < 0.05$.

3 Results

3.1 Species of the recent vegetation and their abundances

Recording the recent vegetation resulted in a total of 140 vascular plant species. 79 species were recorded on the Swedish sites and 98 on the German ones. Mean species number per plot (100 m²) was higher in Sweden (29.5, range: 20 to 35) than in Germany (24, range: 13 to 37).

The most frequent species on the German sites was *Elymus repens* (couch grass), found on all sites. *Holcus lanatus* (Yorkshire fog) occurred in 83 % of the plots. *Epilobium tetragonum* (square-stalked willowherb) was found in 75 %, *Taraxacum officinale* (common dandelion) in 67 % of the plots. In Sweden, *Taraxacum officinale* occurred in all plots. *Betula pendula* (silver birch), *Dactylis glomerata* (orchard grass) and *Geum urbanum* (wood avens) were found in 88 % of the Swedish plots.

3.2 Species of the soil seed banks and their abundances

In total, 2,077 seeds germinated and were assigned to 43 vascular plant species. 18 species were found in the Swedish SRC plantations and 34 species in the German SRC plantations. The species numbers per plot ranged from 4 to 14 at the German sites and from 2 to 5 at the Swedish sites. Calculated seed density per m² ranged from 354 to 20,336 at the German plots and from 221 to 4,112 at the Swedish plots.

Only few species dominated the soil seed banks: At the German sites, the most frequent germinating species with an occurrence in 55 % of the plots was *Chenopodium album* (goosefoot). *Juncus bufonius* (toad rush) was detected in 40 %, *Trifolium repens* (white clover) in 30 % of the study plots. Most frequent were the seedlings of *Juncus bufonius* which accounted for 28 % of the germinated seeds and seedlings of *Poa pratensis* (common meadow-grass, 13 % of the germinating seeds). Most frequent species at the Swedish sites were *Polygonum aviculare* (common knotgrass), *Brassica elongata* (elongated mustard) and *Convolvulus arvensis* (plot

bindweed), occurring in 62.5, 50, and 37.5 % of the plots, respectively. The seedlings of *Chenopodium polyspermum* (many-seeded goosefoot) accounted for 34 % of the germinating seeds, seedlings of *Ranunculus repens* (creeping buttercup) for 23 %.

3.3 Common species of recent vegetation and the soil seed bank

Out of the 43 soil seed bank species, 21 also occurred in the recent vegetation of the corresponding plot, with *Convolvulus arvensis*, *Holcus lanatus*, *Trifolium repens* (each in 25 % of the plots) and *Epilobium tetragonum* (20 %) being most frequent.

Per study plot, the cumulative species number of the soil seed bank and the recent vegetation was set to 100 %. The proportion of common species ranged between 0 and 21.7 % and was on average 8.4 % ($\pm 6.7\% \text{ SD}$).

3.4 Functional species composition

The significantly highest strategy type proportions in the recent vegetation of the SRC plantations had the competitors. In the soil seed banks, proportions of ruderals were highest, but their proportion differed not significantly from that of the competitors (Figure 2).

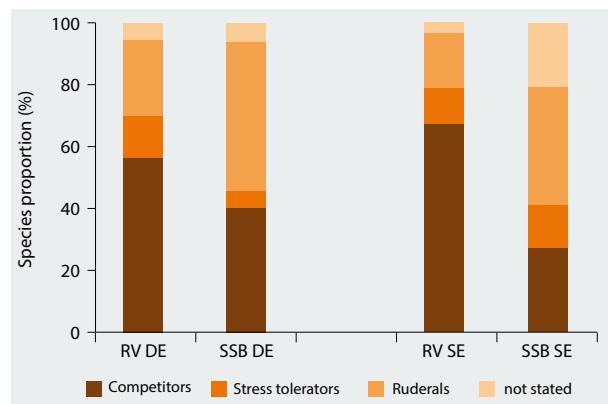


Figure 2

Strategy type proportions after Hodgson et al. (1988). N of RV DE and SSB DE = 12, N of RV SE and SSB SE = 8. RV: recent vegetation, SSB: soil seed bank, DE: Germany, SE: Sweden.

The proportions of the strategy types of the recent vegetation did not differ significantly between the German and Swedish SRC plantations. The same was found for the strategy type proportions in the soil seed bank. Within the German plantations, the proportion of competitors did not differ between recent vegetation and the soil seed bank, but the soil seed bank contained more ruderals. The recent vegetation of the Swedish SRC plantations had a higher proportion of competitors, but the proportion of ruderals was higher in the soil seed bank. The proportions of stress tolerators were low and did not differ significantly in all possible comparisons.

Species with long-term persistent seeds had the significantly highest proportions of the recent vegetation and the soil seed banks (Figure 3). No significant differences in species proportion of long-term persistent seeds were found. Short-term persistent seed species proportions did not differ. Species with transient seeds were only detected in the recent vegetation and differed not between German and Swedish plantations.

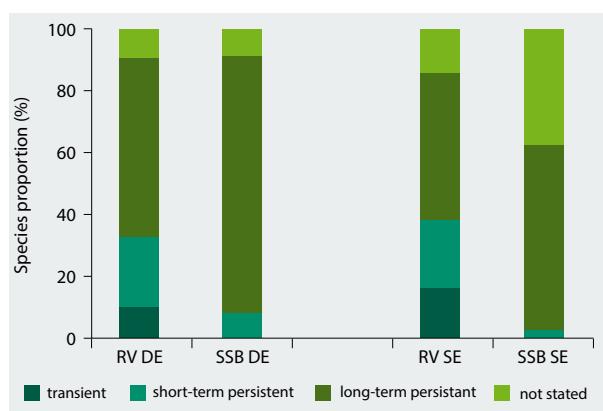


Figure 3

Proportions of seeds with different longevities after Thompson et al. (1997). N of RV DE and SSB DE = 12, N of RV SE and SSB SE = 8. RV: recent vegetation, SSB: soil seed bank, DE: Germany, SE: Sweden.

In total, recent vegetation was dominated by grassland species (mean: 36 %). Ruderal species proportion was on average 24 %. Woodland and arable field species proportions were significantly lower (13 % or 8 %, respectively). However, in the soil seed bank, ruderal species had the highest proportion (mean: 48 %). 21 % were arable field species, and 18 % grassland species. Woodland species (0.4 %) were almost absent from the soil seed bank.

4 Discussion

4.1 Low similarity of soil seed banks and recent vegetation

Our results show a low similarity of the species composition of the soil seed bank in 10 to 20 cm depth and the recent SRC vegetation. On average, the recent vegetation and the soil seed bank had 8.4 % ($\pm 6.7\% \text{ SD}$) of their cumulative species number in common. Differences in seed banks between SRC sites (e.g. due to different site history) therefore seem not to contribute much to floristic diversity in SRC plantations, and the actual conditions in the plantations (e.g. plantation age, irradiance available for ground vegetation, soil nutrient contents; Baum et al. (2012a)) appear to be more important for phytodiversity than seed bank diversity. Low similarities of the soil seed bank and the recent vegetation were also reported in studies on several land uses other than SRC (cf. Thompson & Grime, 1979: vegetation types dominated by

woody species, derelict herbaceous, wetland and disturbed vegetation; Fischer, 1987: forest and grassland communities; Bekker et al., 2000: hayfield; Luzuriaga et al., 2005: perennial grassland after ploughing).

Our data are not suitable for time series analyses, but other authors found the variables time, disturbance and light to be important factors influencing ground vegetation: Dölle & Schmidt (2009) found a decreasing correspondence of soil seed bank and recent vegetation for increasing successional stage as well as for decreasing disturbance intensity of former arable fields. Hoffmann (2005) found that different poplar clones providing different light conditions for the ground vegetation influenced species numbers as well as individual numbers of the soil seed banks: conditions of soil seed bank renewal were better under the more light-transmissive Max clones (no differentiation was made between different Max clones) than under Hybrid 275, where less species and individuals germinated in both surveyed soil depths (0 to 5 cm and 5 to 20 cm). As the SRC trees re-grow denser after each harvest (Tubby & Armstrong, 2002), the amount of light reaching the ground decreases and thus germination conditions in terms of light and soil temperature might deteriorate. Further, referring on land use intensity, Waldhardt et al. (2001) presume an exponential depletion of the seed bank of arable land species and their abundance starting around ten years after last cultivation and a nearly exhausted seed bank of arable land species after twenty years.

4.2 Large differences in functional composition of soil seed banks and recent vegetation

The strategy type proportions are indicators for the different disturbance regimes of the past, when the SRC fields were arable land or grassland, and today: while species of the soil seed banks were predominantly ruderals (r strategists) and competitors (c strategists), the recent SRC vegetation was dominated only by competitors (c). Ruderals are typical for habitats with low stress and high disturbance. In this context, stress includes conditions that restrict biomass production like shortage of water, mineral nutrients, light, or suboptimal temperatures. Disturbance refers to destruction of plant biomass by for example man, herbivores, or wind damage (Grime, 1977). The high proportion of ruderals in the soil seed banks may result from former cultivation with treatments like ploughing, mowing and harvesting at sufficient conditions regarding e.g. water and nutrient supply. Further, ruderals are adapted to highly disturbed habitats in terms of their rapid growth, high seed production and long-term persistent seed banks (Thompson et al., 1997). Competitors are typical for low stress and low disturbance conditions (Grime, 1977). Our study sites were characterized by still high nutrient availability but lower disturbance in comparison to the former land use. These conditions might have favoured competitors.

In yearly ploughed fields as well as in 23 and 36 years old successions on former arable lands, Dölle & Schmidt (2009)

found that the proportions of ruderals and competitors were inversely related with more ruderals and less competitors in the soil seed bank than in the recent vegetation. This result goes in line with our findings for the Swedish SRC plantations that showed that the recent vegetation had a higher proportion of competitors but a lower proportion of ruderals than the soil seed bank. In the German SRC plantations, the proportion of ruderals was lower in the recent vegetation than in the soil seed bank, too, but the proportion of competitors did not differ significantly. The strategy type proportions of the German and Swedish SRCs did not differ significantly.

The high habitat-specific diversity in the recent SRC vegetation (on average 36 % grassland, 24 % ruderal, 13 % woodland and 8 % arable field species) shows the great heterogeneity of SRC plantations, suitable for species with diverging ecological demands (Baum et al., 2012b). The habitat-specific species proportions of recent vegetation and soil seed bank were reverse: In the soil seed bank, the proportions of arable field species were 2.6 times higher and the proportions of ruderal species were twice as high as in the recent vegetation. However, proportions of woodland and grassland species were higher in the recent vegetation than in the soil seed bank. This discrepancy shows the difference in lighting conditions between the former land uses without tree cover (arable field, grassland) and the SRC plantations, whereas light conditions were suitable for light-demanding arable field and ruderal species in the former land uses (arable fields, grasslands) and vice versa, conditions were more suitable for woodland species in SRC plantations. Seeds of woodland species are often transient (Thompson et al., 1997) what might explain that they were almost absent from the soil seed banks.

The recent vegetation and the soil seed banks of the SRC plantations were dominated by species with long-term persistent seeds. Especially for the soil seed banks, this can be explained by the finding that the majority of arable weeds have persistent seed banks (Thompson et al., 1998). Specifically in the soil seed banks short-term persistent seeds were found in much lower numbers than long-term persistent seeds. Transient seeds were absent from the soil seed banks. This can be explained by seed longevity that is 1 to 5 years for short-term persistent seeds and less than one year for transient seeds (Thompson et al., 1997). Further, seed characteristics play a role: persistent seeds are small, light and rounded, whereas transient seeds are larger and heavier with a flattened or elongated shape (Thompson et al., 1993; Bakker et al., 1996). Thus, unlike to transient seeds, persistent seeds penetrate more easily into deeper soil layers in general (Poschlod, 1991; Bakker et al., 1996). Transient or short-term persistent seeds might have reached deeper soil layers during the former usage as arable land by tillage but could have lost germination ability because tillage damages short-lived seeds more than persistent ones (Albrecht & Auerswald, 2009). But the main reason for the absence (transient) or low number (short-term persistent) in our study can be explained by their seed longevity with a maximum of five years.

4.3 The possible relevancy of soil seed banks for vegetation composition in the light of succession

In general, the planted crops remain viable for 15 to 30 years (Aylott et al., 2008). After this period, replanting of the crop or reconversion of the SRC plantation into arable land is conceivable. In both cases the soil gets mixed due to root removal and seeds from the lower layer can reach the soil surface and are likely to influence vegetation composition. Especially the species grown from persistent seeds in the soil will have the opportunity to characterize the upcoming vegetation. These are predominantly species of frequently disturbed habitats, while plant communities of relatively undisturbed habitats such as woodland and pasture have generally lower seed persistence (cf. Poschlod, 1991; Thompson et al., 1998; Albrecht & Auerswald, 2009). In perennial grasslands Luzuriaga et al. (2005) found low plant densities and slow colonisation rates in sterilised plots indicating the crucial role of seeds and propagules stored in the soil in colonisation of disturbed habitats and only a minor contribution of seed rain. The example from perennial grasslands indicates that the soil seed bank can be of great importance for potential future vegetation (Bakker et al., 1996; Waldhardt et al., 2001), but vegetation structure and development depend also on the new land use and secondary succession processes. In general, initial vegetation is highly determined by early successional species characterized by high growth rate but short life span and high amount of small seeds dispersed over large distances and with long seed viability, while late succession species have low growth rates but long life spans and few larger seeds dispersed over shorter distances and with short viability (Huston & Smith, 1987). These differences in seed and plant characteristics between early and late successional species result in vegetation shift over time (i.e. succession) and in initially great but later decreasing importance of soil seed bank for the apparent vegetation. Our results show a poor coherence of seed bank and recent vegetation, probably indicating that the vegetation analyses were carried out at a later successional stage. Thus, we conclude that the site history might have an initial influence on phytodiversity in SRC plantations, but successional processes have taken place between the point in time of SRC establishment and our investigations, suggesting that recent vegetation composition is mainly due to the species pool of the adjacent vegetation and site conditions like below-canopy irradiance and site nutrition.

References

- Albrecht H, Auerswald K (2009) Seed traits in arable weed seed banks and their relationship to land-use changes. *Basic Appl Ecol* 10:516-524
- Aylott MJ, Casella E, Tubby I, Street NR, Smith P, Taylor G (2008) Yield and spatial supply of bioenergy poplar and willow short-rotation coppice in the UK. *New Phytol* 178:358-370
- Bakker JP, Poschlod P, Strykstra RJ, Bekker RM, Thompson K (1996) Seed banks and seed dispersal: important topics in restoration ecology. *Acta Bot Neerl* 45(4):461-490
- Baum S, Weih M, Bolte A (2012a) Stand age characteristics and soil properties affect species composition of vascular plants in short rotation coppice plantations. *BioRisk* 7:51-71
- Baum S, Bolte A, Weih M (2012b) High value of short rotation coppice plantations for phytodiversity in rural landscapes. *GCB Bioenergy* 4:728-738
- Bekker RM, Verweij GL, Bakker JP, Fresco LFM (2000) Soil seed bank dynamics in hayfield succession. *J Ecol* 88:594-607
- Berndes G, Hoogwijk M, van den Broek R (2003) The contribution of biomass in the future global energy supply: a review of 17 studies. *Biomass Bioenergy* 25:1-28
- Blomqvist MM, Bekker RM, Vos P (2003) Restoration of ditch bank plant species richness: the potential of the soil seed bank. *Appl Vegetation Sci* 6:179-188
- Bossuyt B, Honnay O (2008) Can the seed bank be used for ecological restoration? An overview of seed bank characteristics in European communities. *J Vegetation Sci* 19:875-884
- Braun-Blanquet J (1928) *Pflanzensoziologie: Grundzüge der Vegetationskunde*. Berlin: Springer, 330 p, Biol Studienbücher 7
- Brown AHF, Oosterhuis L (1981) The role of buried seed in coppicewoods. *Biol Conserv* 21:19-38
- D'Angela E, Facelli JM, Jacobo E (1988) The role of the permanent soil seed bank in early stages of a post-agricultural succession in the Inland Pampa, Argentina. *Vegetatio* 74:39-45
- Davies A, Waite S (1998) The persistence of calcareous grassland species in the soil seed bank under developing and established scrub. *Plant Ecol* 136:27-39
- Dölle M, Schmidt W (2009) The relationship between soil seed bank, above-ground vegetation and disturbance intensity on old-field successional permanent plots. *Appl Vegetation Sci* 12:415-428
- DWD (German Weather Service) (2010) Download of precipitation and temperature data [online]. To be found at <http://www.dwd.de/bvbw/app-manager/bvbw/dwdwwwDesktop?_nfpb=true&_pageLabel=_dwdw-ww_klima_umwelt_klimadaten_deutschland&T82002gsbDocumentPath=Navigation%2FOeffentlichkeit%2FKlima_Umwelt%2FKlimadaten%2Fkldaten__kostenfrei%2Fausgabe_mittelwerte_akt_node.html%F_nnn%3Dtrue> [quoted 02.10.2013]
- Ellenberg H, Weber HE, Düll R, Wirth V, Werner W (2001) *Zeigerwerte von Pflanzen in Mitteleuropa*. Göttingen: Götze, 262 p, Skripta Geobotanica 18
- European Commission Climate Action (2010) The EU climate and energy package [online]. To be found at <http://ec.europa.eu/clima/policies/package/index_en.htm> [quoted 02.10.2013]
- Falińska K (1999) Seed bank dynamics in abandoned meadows during a 20-year period in the Białowieża National Park. *J Ecol* 87:461-475
- Fischer A (1987) Untersuchungen zur Populationsdynamik am Beginn von Sekundärsukzessionen: die Bedeutung von Samenbank und Samenniederschlag für die Wiederbesiedlung vegetationsfreier Flächen in Wald- und Grünlandgesellschaften. Berlin: Cramer, 234 p, Dissertationes Botanicae 110
- Grandin U, Rydin H (1998) Attributes of the soil seed bank after a century of primary succession on islands in Lake Hjälmmaren, Sweden. *J Ecol* 86:293-303
- Grime JP (1977) Evidence for the existence of three primary strategies in plants and its relevance to ecological and evolutionary theory. *Am Nat* 111:982:1169-1194
- Gustafsson L (1987) Plant conservation aspects of energy forestry: a new type of land use in Sweden. *For Ecol Manage* 21:141-161
- Gustafsson L (1988) Vegetation dynamics during the establishment phase of an energy forest on a riverside in south-western Sweden. *Studia Forestalia Suecica* 178. Uppsala: Sveriges lantbruksuniversitet, 16 pp, ISBN 91-576-3297-9
- Hill MO, Stevens PA (1981) The density of viable seeds in soils of forest plantations in Upland Britain. *J Ecol* 69:693-709
- Hill MO (1986) Ground flora and succession in commercial forests. In: Jenkins D (ed) *Trees and wildlife in the Scottish uplands*. Abbots Ripton: Inst of Terrestrial Ecology, pp 71-78
- Hodgson JG, Grime JP, Hunt R (1988) Comparative plant ecology: a functional approach to common British species. London: Unwin Hyman, 742 p
- Hoffmann M (2005) *Pappeln als nachwachsender Rohstoff auf Ackerstandorten: Kulturverfahren, Ökologie und Wachstum unter dem Aspekt der Sortenwahl*. Hann Münden: Forschungsinst schnellwachsende Baumarten, 143 p, Schr Forschungsinst schnellwachsende Baumarten 8
- Huston M, Smith T (1987) Plant succession: Life history and competition. *The American Naturalist* 130:168-198

- Kitajima K, Tilman D (1996) Seed banks and seedling establishment on an experimental productivity gradient. *Oikos* 76(2):381-391
- Londo G (1975) Dezimalskala für die vegetationskundliche Aufnahme von Dauerquadraten. In: Schmidt W (ed) *Sukzessionsforschung* : (Rinteln, 16.-19. April 1973). Vaduz : Cramer, pp 613-617
- Luzuriaga AL, Escudero A, Olano JM, Loidi J (2005) Regenerative role of seed banks following an intense soil disturbance. *Acta Oecol* 27:57-66
- Martin LM, Wilsey BJ (2006) Assessing grassland restoration success: relative roles of seed additions and native ungulate activities. *J Appl Ecol* 43:1098-1109
- Matus G, Verhagen R, Bekker RM, Grootjans AP (2003) Restoration of the *Cirsio dissecti-Molinietum* in The Netherlands: can we rely on soil seed banks? *Appl Vegetation Sci* 6(1):73-84
- Milberg P (1995) Soil seed bank after eighteen years of succession from grass-land to forest. *Oikos* 72:3-13
- Moore PD (1980) Soil seed banks. *Nature* 284:123-124
- Poschlod P (1991) Diasporenbanken in Böden: Grundlagen und Bedeutung. In: Schmid B, Stöcklin J (eds) *Populationsbiologie der Pflanzen*. Basel : Birkhäuser, pp 15-35
- Rothmaler W, Jäger EJ, Werner K (2002) Gefäßpflanzen: kritischer Band. Heidelberg : Spektrum Akad Verl, 948 p, Exkursionsflora von Deutschland 4
- SMHI - Swedish Meteorological and Hydrological Institute (2011) Download of precipitation and temperature data [online]. To be found at <<http://www.smhi.se/klimatdata/meteorologi/temperatur/dataserier-med-norrv%C3%A4rden-1.7354>> [quoted 02.10.2013]
- Stoll B, Dohrenbusch A (2008) Der Einfluss der Flächenvornutzung (Acker/Grünland) auf den Anwuchserfolg von Energieholzplantagen: waldbauliche Ergebnisse aus dem Projekt NOVALIS. *Cottbuser Schr Öko-systemgenese Landschaftsentwickl* 6:163-166
- Ter Heerdt GNJ, Verweij GL, Bekker RM, Bakker JP (1996) An improving method for seed-bank analysis: seedling emergence after removing the soil by sieving. *Funct Ecol* 10:144-151
- Thompson, K, Grime JP (1979) Seasonal variation in the seed banks of herbaceous species in ten contrasting habitats. *J Ecol* 67:893-921
- Thompson K, Band SR, Hodgson JG (1993) Seed size and shape predict persistence in the soil. *Funct Ecol* 7(2):236-241
- Thompson K, Bakker, JP, Bekker RM (1997) The soil seed banks of North West Europe: methodology, density and longevity. Cambridge : Cambridge Univ Pr, 276 p
- Thompson K, Bekker RM, Bakker JP (1998) Weed seed banks: evidence from the north-west European seed bank database. *Aspects Appl Biol* 51:105-112
- Tubby I, Armstrong A (2002) Establishment and management of short rotation coppice. Edinburgh : Forestry Commission, 12 p, Practice Note 7
- Waldhardt R, Fuhr-Bossdorf K, Otte A (2001) The significance of the seed bank as a potential for the reestablishment of arable-land vegetation in a marginal cultivated landscape. *Web Ecol* 2:83-87
- Weih M (2009) Perennial energy crops: growth and management [online]. To be found at <<http://www.eolss.net/Sample-Chapters/C10/E1-05A-28-00.pdf>> [quoted 02.10.2013]
- Young KR, Ewel JJ, Brown BJ (1987) Seed dynamics during forest succession in Costa Rica. *Vegetatio* 71:157-173

Single and combined applications of arbuscular mycorrhizal fungi and *Enterobacter radicincitans* affect nutrient uptake of faba bean and soil biological characteristics

Malek Almethyeb*, Silke Ruppel**, Hans-Marten Paulsen***, Nikolay Vassilev**** and Bettina Eichler-Löbermann*

Abstract

Microorganisms like arbuscular mycorrhizal fungi (AMF) and plant growth-promoting rhizobacteria (PGPR) can contribute significantly to plant nutrition and thus may help to reduce chemical inputs in agricultural systems.

In two pot experiments under semi-controlled conditions the effects of applications with AMF and an *Enterobacter radicincitans* strain were evaluated regarding shoot yield and nutrient uptake (P and N) of faba bean (*Vicia faba*) as well as on soil characteristics (basal respiration, microbial biomass, and the number of P solubilizing bacteria). The first experiment (2007) was established to investigate the single and combined effects of AMF and *E. radicincitans*. The second experiment (2008) was established on a nutrient poor soil to evaluate the efficacy of PGPR and AMF with or without mineral fertilizer (P, K and Mg) application.

For the experiment with suboptimal soil nutrient contents (2008) higher nutrient uptakes of bean was found after application of AMF in comparison to the control. The effect of AMF was comparable to the positive effect of mineral nutrient application. Under better nutrient status of soil (experiment 2007) none of the applied microorganisms affected the growth and nutrient uptake of bean. However, AMF application alone or with mineral nutrient supply increased the soil respiration and soil microbial biomass. The studies showed the potential of AMF applications for plant growth and nutrition mainly under nutrient deficient conditions.

Keywords: *Vicia faba*, arbuscular mycorrhizal fungi, *Enterobacter radicincitans*, phosphorus, nitrogen, soil microbial parameters

Zusammenfassung

Einzel- und Kombinationseffekte von Mykorrhizapilzen und *Enterobacter radicincitans* auf die Nährstoffaufnahme von Bohnen und bodenbiologische Parameter

Mikroorganismen wie arbuskuläre Mykorrhizapilze (AMF) und Bakterien können zur Stärkung des Pflanzenwachstums und zur Nährstoffaufnahme von Pflanzen beitragen. In zwei Gefäßversuchen wurden AMF sowie ein Bakterienstamm der Art *Enterobacter radicincitans* appliziert und bezüglich ihrer Effekte auf den Ertrag und die Nährstoffaufnahme (N und P) von Bohnen (*Vicia faba*) sowie auf bodenbiologische Charakteristika untersucht. Im ersten Experiment wurden Einzel- und Kombinationseffekte von AMF und *E. radicincitans* geprüft. Das zweite Experiment wurde durchgeführt, um auf einem nährstoffarmen Boden die Wirksamkeit von AMF und des Bakterienstamms mit und ohne mineralische Düngung (P, K und Mg) zu prüfen. Bei suboptimaler Nährstoffversorgung des Bodens wurden nach Ausbringung der AMF höhere Nährstoffaufnahmen der Bohne ermittelt als in der Kontrolle. Der Effekt der Pilze war hierbei vergleichbar mit dem der mineralischen Düngung. Bei guter Nährstoffversorgung des Bodens konnte keine Auswirkung der Mikroorganismen auf Ertrag und Nährstoffaufnahme nachgewiesen werden. Jedoch führte die Ausbringung von AMF zur Erhöhung der Bodenatmung und der mikrobiellen Biomasse im Boden. Die Ergebnisse deuten auf eine bessere Wirkung der AMF auf den Ertrag und die Nährstoffaufnahme von Bohnen bei schlechterer Nährstoffversorgung des Bodens hin.

Schlüsselworte: *Vicia faba*, Mykorrhizapilze, *Enterobacter radicincitans*, Phosphor, Stickstoff, bodenbiologische Parameter

* University of Rostock, Faculty of Agriculture and Environmental Sciences,
J. von Liebig-Weg 6, 18059 Rostock, Germany

** Leibniz-Institute of Vegetable- and Ornamental Crops Grossbeeren/Erfurt e.V.,
Theodor-Echtermeyer Weg 1, 14979 Grossbeeren, Germany

*** Thünen-Institute of Organic Farming, Trenthorst 32, 23847 Westerau,
Germany

**** University of Granada, Hospital Real, Cuesta del Hospicio, S/N.,
18071 Granada, Spain

Contact: bettina.eichler@uni-rostock.de

Introduction

An efficient use of phosphorus (P) and mobilization of P by crops and microorganisms has special importance in cropping systems, since P often is the limiting nutrient in soils. The integration of P mobilizing crops in crop rotation is one of the most effective methods to improve the P supply in cropping systems (Eichler et al., 2004; Eichler-Löbermann et al., 2008). Along with peas, faba bean is the most important grain legume in Europe followed by lupine, soya, chickpea and lentil (Metayer, 2004). Besides the positive effect of nitrogen (N_2) fixation and following N input into the cropping system legumes were also often described to be efficient in utilization of less available soil P. The mobilization of P is mainly due to excretion of organic acids and subsequent acidification, chelation, and exchange reactions (Vassilev et al., 1995; Dakora and Phillips, 2002).

The application of microbial inoculants as so called biofertilizers is a promising method to promote plant growth by increasing the availability of nutrients to plants, mainly N and P (Eichler et al., 2004; Yasmin et al., 2007; Shaharoona et al., 2008; Richardson et al., 2011). Main sources of biofertilizers are plant growth-promoting rhizobacteria (PGPR), beneficial fungi and cyanobacteria (blue-green algae). In addition to the improvement of nutrient uptake microbial inoculants can promote the growth of crops by protecting plants against soil-borne pathogens (Thrane et al., 2000) and the production of phytohormones (Kannan and Sureendar, 2009).

Enterobacter radicincitans is a PGPR which was shown to increase growth of winter wheat, corn and beans (Ruppel, 2008). These bacteria are able to colonize different parts of plants and to survive both on the surface and within internal tissue of the plant (Ruppel et al., 2006). In pure culture, the bacterial cells can fix atmospheric N, produce phytohormones (auxin-like and cytokinin-like compounds) and solubilize calcium phosphate (Schilling et al., 1998).

Arbuscular mycorrhizal fungi (AMF) are known to improve the bio-availability of nutrients, in particular P (Jakobsen, 1999; Vassilev et al., 2001). Additionally, AM fungi may increase plant N uptake as a result of mineralizing organic soil N and/or producing phytohormones (Mohammadi et al., 2008). Despite the high importance of native AM fungi for plant nutrition, the application of AM fungi as inoculant is often limited due to the disability to grow in artificial media and the inconsistent effect of those inocula in field (Richardson et al., 2011). A joint inoculation of AMF with other microorganisms however, might be more promising due to additive effects on plant growth and plant nutrition. For example, positive effects of dual inoculation of a P-solubilizing fungus (*Mortierella* sp.) together with AMF were described by Zhang et al. (2011). Optimistic results of the interactions of bacteria and AMF were found by Gamalero et al. (2004) with *Pseudomonas* sp., by Singh and Kapoor (1999) with *Bacillus circulans*, and by Ruiz-Lozano and Bonfante (1999) with *Burholderia* sp.

It was shown, that AM fungi can increase the spread of PGPR throughout the rhizosphere (Morrissey et al., 2004; Toljander et al., 2007) as well as so called mycorrhiza helper

bacteria may promote mycorrhizal development or interact positively with the functioning of the symbiosis (Frey-Klett et al., 2007; Dames and Ridsdale, 2012).

However, antagonism between AM fungi and bacteria might be also possible (Adesemoye et al., 2009) and the combined application of different microorganisms did not always show advantages. All microbial inoculants alone and in association with the plant affect the native soil microbial biomass and their activities. These complex microbial-plant interactions need additional research especially in native soils. Therefore, the objective of the present study was to investigate the effect of single and combined inoculations of AM fungi (*Glomus etunicatum*, *Glomus intraradices* and *Glomus claroideum*) and the bacterial strain *E. radicincitans* DSM 16656 under different soil nutrient conditions on shoot dry weight, P and N uptake of faba bean. To evaluate the impacts of microbial inoculants on the native soil microflora we monitored changes in the soil microbial biomass and microbial activity. We assumed that the effect of single and combined application of AM fungi and *E. radicincitans* will depend on chemical soil characteristics (nutrient supply and pH value).

Material and Methods

Experimental setup

The experiments were established under semi controlled conditions in a greenhouse at the University of Rostock, Northern Germany. The soil utilized was loamy sand originating from the upper soil layer (0 to 30 cm) of two field experiments established in the experimental station of the Rostock University (soil characteristics are given in Table 1). The dominant soil type on the field site was a Stagnic Cambisol. The trials were carried out in a complete randomized design with four replications using Mitscherlich pots containing 6 kg air-dried soil. Soil was sieved (10 mm) but not sterilized to allow competition by indigenous microorganisms and colonization by the soil indigenous mycorrhizal spores and soil bacteria. Ten *Vicia faba* seeds (Sciocco cultivar) were cultivated per pot. The seeds were obtained from SAATEN-UNION GmbH in Germany.

Table 1

Chemical properties of soils used in the experiments in 2007 and 2008

	pH	C org (%)	P* mg kg ⁻¹ soil	K* mg kg ⁻¹ soil	Mg* mg kg ⁻¹ soil
2007	5.8	1.41	53	82	281
2008	6.6	1.76	40	57	305

* Nutrients extracted with double lactate solution represent the plant available nutrients

The first experiment was established in 2007 to study the effect of inoculation with *E. radicincitans*, AM fungi and their co-inoculation. It comprised the following four treatments:

I Control (without inoculation), II Inoculation with *E. radicincitans*, III Inoculation with AMF, IV Combined inoculation *E. radicincitans* + AMF.

The second experiment was performed in 2008 to investigate the effect of the microbial inoculants in dependence of nutrient status of soil, which usually has an impact on the efficacy of microbial inoculants. The soil had suboptimal P and K contents (according to German soil test classification) and the impact of AMF and *E. radicincitans* was tested with and without nutrient addition. Six treatments were established: I Control without inoculation and without nutrient addition, II Inoculation with *E. radicincitans*, III Inoculation with AMF, IV Nutrient addition, V Nutrients + AMF, VI Nutrients + *E. radicincitans*. The amounts of nutrients in the respective treatments comprised 1 g KH₂PO₄ (= 0.23 g P and 0.28 g K) 1.46 g MgSO₄ (= 0.14 g Mg and 0.19 g S) and 3 g KH₂SO₄ (= 0.70 g S and 0.85 g K) per pot. In both experiments plants were harvested after 51 days of growth.

Microbial inoculants

The mycorrhizal commercial product (INoQ Top) consisted of *Glomus etunicatum*, *Glomus intraradices* and *Glomus claroides* with a spore number of 10⁵ per l. The carrier material was expanded clay with a grain size of 2 to 4 mm and a pH of 7.5. Twenty five ml product was incorporated into the 6 kg soil per pot.

The bacterial strain *Enterobacter radicincitans* DSM 16656 was isolated from winter wheat phyllosphere and selected for its plant growth-promoting abilities (Ruppel, 2008). *E. radicincitans* cells were grown in standard nutrient solution (MERCK 1) at 29 °C in a rotary incubator at 100 rpm for 48 h (Ruppel et al., 2006). Faba bean seeds were treated with *E. radicincitans* by coating the seeds with the bacterial suspension of 10⁸ cells ml⁻¹ for 5 to 10 minutes, and then dried in the dark at room temperature. Additionally, after seeding in the stage of two leaves a bacterial suspension was sprayed onto young plants (10⁸ cell per plant) using a hand pump to increase the chances of colonization and establishment of the bacterial cells.

Plant and soil analyses

After plant harvest the shoot dry yield was measured. Shoot-biomass P concentrations were measured after dry-ashing using the vanadad-molybdate method (Page et al., 1982). Shoot biomass N concentration was measured by using a modified Kjeldahl digestion method (Jones et al., 1991). Nutrient uptake was calculated by multiplying shoot weight with nutrient concentration.

The soil samples were taken after plant harvest and the soil was sieved to 2 mm and stored in aliquots at -20 °C until microbial analysis. Microbial biomass carbon (Cmic) content of the soil samples (100 g wet soil, 50 % water holding capacity) was determined using substrate-induced respiration activity measurements (SIR) with an infrared gas analyser (Heinemeyer et al., 1989). Microbial biomass C, which

encompasses all respiratory active soil organisms, are able to metabolise glucose, is expressed as µg Cmic g⁻¹ dry soil. Soil basal respiration activity (R) was measured by an infrared gas analyser without addition of substrates (4 - 16 h, 20°C ± 1 K) and expressed as µg CO₂-C g⁻¹ dry soil h⁻¹.

To enumerate P solubilizing bacteria, bacterial cells were separated from soil samples by shaking (290 rpm) 10 g soil with 90 ml 0.05 M NaCl + 10 glass beads at 4 °C for 1 h. Bacterial numbers were determined applying the MPN (most probable number) dilution and plating technique (Bast, 1999). Therefore, separated microorganisms were 5 times tenfold diluted in sterile 0.05 M NaCl. Hundred µl of succeeding dilutions were streaked onto solid Muroveč nutrient medium in three replicates and incubated at 29 °C for two weeks (Deubel, 1996). The medium consisted of (g l⁻¹) K₂SO₄ 0.2, MgSO₄ * 7H₂O 0.4, agar agar 20, glucose 10, L-asparagine 1 (both separately filter sterilized and added after autoclaving and cooling down the medium to 60 °C), simultaneously CaCl₂ 2.2, Na₃PO₄ * 12H₂O 3.8 were mixed by consistent shaking the medium to precipitate Calciumphosphate. After one and two weeks colonies inducing transparent zones in the medium (indicating P-solubilizing activity) were counted. Numbers per g dry soil were calculated according the MPN method. P solubilizing bacteria were estimated for all treatments in 2007 and for 4 treatments in 2008 (control, mineral fertilization, *E. radicincitans*, AM fungi).

Statistical Analyses

The results of the experiments were analysed using Statistica 6.0 software (StatSoft, 2001). The effects of experimental factors were evaluated by the analysis of variance (ANOVA), and comparisons between means were carried out using Tukey HSD test at the significance level of *P* ≤ 0.05.

Results and discussion

Shoot weight and nutrient uptake

The effects of the applied microorganisms on shoot weight and plant nutrient uptake differed between the both experiments.

In 2007 when soil with higher P and K contents but lower pH values was used, the yield and nutrient uptake into the shoots of bean did not differ significantly between the treatments (Table 2). However, a tendency for higher yields and N uptakes became observable when microorganisms were applied. For the experiment in 2008 with suboptimal soil P and K contents but relatively high pH values the application of AMF raised the plant P and N uptake significantly in comparison to the non-inoculated control. Here, the AMF had a similar positive effect like the mineral nutrients (Min treatment). No treatment affected the biomass yield significantly. We did not measure the root weight and length. However, nutrient supply may affect the root:shoot ratio within a short time span (Peek et al., 2003).

Often, the effect of MO was found to be higher under sub-optimal nutrient supply. This can be confirmed by results of Krey et al. (2011), where a strain of *P. fluorescens* increased plant P uptake and P contents in soil only when it was not combined with organic fertilizers. Similarly, for AMF higher efficacy was usually detectable when applied on P poor soils (Schweiger et al., 1995; Richardson et al., 2011). Here, the AMF with their extensive hyphal length and density have a spatial advantage to explore P-sources.

However, sometimes positive impacts on yield after AMF application were also found when it was combined with mineral fertilizers. For example, for a sandy soil deficient in P small doses of nutrients showed good results regarding the efficacy of AMF (Bagayoko et al., 2000). This was related to enhanced root growth which appears to be a precondition for mycorrhizal infections and a subsequent significant contribution of AMF to plant growth. This improved root growth and mycorrhization rate can have especial importance in short term pot experiments, and might be the explanation for the relatively high yields and nutrient uptakes in the AMF + Min treatment in our experiment.

The added mineral fertilizers could also have served as an energy source to the applied microorganisms. This was reported by El-Ghandour et al. (1996) when applied AMF increased dry weight of faba bean plants in presence of an additional P source in pot experiments.

Table 2

Shoot yield (dry matter), P and N uptake of faba bean in dependence of the treatments applied in the pot experiment 2007 ($n = 4$, SD values in brackets)

Treatment	shoot yield g pot ⁻¹	P uptake mg pot ⁻¹	N uptake mg pot ⁻¹
Control	19.8 a (1.29)	55.6 a (6.57)	468 a (44.9)
ER	20.8 a (1.94)	55.8 a (3.65)	488 a (43.4)
AMF	21.7 a (1.07)	57.4 a (5.02)	508 a (59.4)
ER + AMF	21.4 a (2.26)	54.7 a (3.15)	492 a (38.9)

ER = *E. radicincitans*,

AMF = arbuscular mycorrhiza fungi.

Different letters show significant statistical differences between the treatments according to Tukey's Test ($p \leq 0.05$), values within columns with the same letter are not significantly different.

The inoculation of beans with the PGPR strain *E. radicincitans* did not result in higher yields and nutrient uptakes, neither in 2007 nor in 2008.

Since, the activity of microbes also depends on the soil reaction (Vassilev et al., 2012) the pH value may also have been contributed to the differences in the efficacy of micro-organisms. Generally the soil respiration and soil microbial biomass was higher in the second experiment in 2008, independently of whether nutrients were applied or not. Therefore we assume that the pH values had a considerable effect and that the pH of 6.8 was better for the development of the soil micro biota in soil and probably also for the applied microorganisms. However, also other soil features, like quality and quantity of organic matter influence the microflora in soil and further experiments would be necessary to evaluate the impact of pH on the efficacy of the tested microorganisms.

Table 3

Shoot yield (dry matter), P and N uptake of faba bean in dependence of the treatments applied in the pot experiment 2008 ($n = 4$, SD values in brackets)

Treatment	shoot yield g pot ⁻¹	P uptake mg pot ⁻¹	N uptake mg pot ⁻¹
Control	15.0 a (0.74)	30.8 a (2.51)	399 a (77.9)
Min	17.3 ab (2.24)	49.4 bc (4.77)	516 abc (47.9)
ER	15.9 a (1.45)	33.6 a (5.40)	430 ab (38.8)
AMF	17.4 ab (0.35)	48.4 b (3.95)	549 bc (46.6)
Min + ER	19.4 bc (2.10)	50.0 bc (6.51)	590 c (65.0)
Min + AMF	21.4 c (0.55)	57.3 c (2.49)	634 c (69.9)

ER = *E. radicincitans*,
AMF = arbuscular mycorrhiza fungi,
Min = mineral nutrients applied.
Different letters show significant statistical differences between the treatments according to Tukey's Test ($p \leq 0.05$), values within columns with the same letter are not significantly different.

Soil microbial biomass, microbial respiration activity, microbial metabolic quotient and P solubilizing bacteria

Due to the immobility of P in soil the AMF inoculation has special importance for plant P nutrition. In comparison to the control, P uptake in 2008 increased about 57 % when AMF was applied. The N uptake increased about 37 % and the yield only about 15 % (not significant different from the control). Due to the higher P concentration in bean seeds compared to the whole bean plant the P effect would have been even higher with running experimental time and the formation of the bean seeds.

The microbial inoculants affected the soil microbial parameters. Highest values of microbial biomass and microbial respiration were found after application of AMF alone or AMF in combination with mineral fertilizers (Table 4 and 5). The inoculation with *E. radicincitans* alone did not increase these parameters, whereas the combined application with AMF in 2007 resulted in a higher soil microbial biomass than the control. Considering the values of the single application it seems however, that this increase was mainly due to the appli-

cation with AMF. Promoting effects on the soil microbial community and their activity after mycorrhizal application was observed by Cavagnaro et al. (2006). Similar effects were recently reported by Vassileva et al. (2010) analysing the multifunctional properties of plant growth-promoting, particularly P solubilizing microorganisms after inoculation with AMF.

Table 4

Soil basal respiration, soil microbial biomass, number of P solubilizing bacteria in soil in dependence of the treatments applied in the pot experiment 2007 ($n = 4$, SD values in brackets)

Treatment	Basal Respiration $\text{CO}_2\text{-C, } \mu\text{g g}^{-1}\text{ soil h}^{-1}$	Soil Microbial Biomass $\text{C, } \mu\text{g g}^{-1}\text{ soil}$	Metabolic quotient $\mu\text{g CO}_2\text{-C/ mg C}_{\text{mic}}\text{ h}^{-1}$	P Solubilizing Bacteria $\text{cells g}^{-1}\text{ soil}$
Control	15.6 ab (3.24)	148 a (7.00)	105 (2.40947E+05)	1.441E+06 a (2.40947E+05)
ER	17.1 ab (1.07)	186 ab (26.3)	92 (1.08572E+06)	3.608E+06 b (1.08572E+06)
AMF	19.1 b (1.42)	193 b (28.5)	99 (1.20412E+06)	2.691E+06 ab (1.20412E+06)
ER + AMF	14.4 a (1.44)	192 b (13.6)	75 (4.52565E+05)	1.744E+06 ab (4.52565E+05)

ER = *E. radicincitans*,

AMF = arbuscular mycorrhiza fungi.

Different letters show significant statistical differences between the treatments according to Tukey's Test ($p \leq 0.05$), values within columns with the same letter are not significantly different.

The metabolic quotient describing the value of CO_2 emission per unit microbial biomass is often discussed as an efficiency parameter of microbial metabolic processes (Anderson, 1994). This quotient was lower after microbial inoculation in comparison to the control since the microbial biomass was stronger increased than the basal respiration (Table 4 and 5). The organic matter application in the AMF treatment as an additional carbon (C) source might have been contributed to the increased values of the soil microbial biomass C. The plant nutrition effects obtained in 2008 after AMF inoculation could be induced by the inoculated organisms themselves, their P-solubilizing or atmospheric N fixing activities, or they could also be induced by affecting the native soil microbial population. Such changes could be very versatile and they are hard to prove.

The number of P solubilizing bacteria was significantly increased after *E. radicincitans* application in 2007 in comparison to the non-inoculated control experiment. In 2008 the application of *E. radicincitans* also increased the number of P solubilizing bacteria in the soil, however, due to high standard deviation the differences were not significant. Surprisingly, the combination of *E. radicincitans* with AMF in 2007 resulted in lower numbers of P solubilizing bacteria than the single treatments. One has to consider that the effects of inoculants are highly variable (Avis et al., 2008; Adesemoye and Kloepper, 2009; Fini et al., 2011). The complex interaction

between microbial inoculants, plants and environmental factors can turn out in synergistic, mutualistic or even antagonistic effects.

Table 5

Soil basal respiration, soil biomass, number of P solubilizing bacteria in soil in dependence of the treatments applied in the pot experiment 2008 ($n = 4$, SD values in brackets)

Treatment	Basal Respiration $\text{CO}_2\text{-C, } \mu\text{g g}^{-1}\text{ soil h}^{-1}$	Soil Microbial Biomass $\text{C, } \mu\text{g g}^{-1}\text{ soil}$	Metabolic quotient $\mu\text{g CO}_2\text{-C/ mg C}_{\text{mic}}\text{ h}^{-1}$	P Solubilizing Bacteria $\text{cells g}^{-1}\text{ soil}$
Control	20.6 a (3.79)	299 a (49.5)	69 (2.44192E+06)	8.833E+06 a (2.44192E+06)
Min	20.7 a (1.47)	338 a (94.2)	61 (19.3)	1.025E+07 a (4.17890E+06)
ER	20.9 a (1.93)	338 a (19.3)	61 (19.3)	1.817E+07 a (3.35499E+06)
AMF	26.1 ab (2.46)	433 ab (52.2)	60 (2.46)	1.842E+07 a (3.29421E+06)
Min + ER	20.6 a (1.18)	304 a (46.2)	67 (46.2)	n.d.
Min + AMF	29.5 b (3.81)	495 b (101.7)	59 (101.7)	n.d.

ER = *E. radicincitans*,

AMF = arbuscular mycorrhiza fungi,

Min = mineral nutrients applied,

n.d. = not determined.

Different letters show significant statistical differences between the treatments according to Tukey's Test ($p \leq 0.05$), values within columns with the same letter are not significantly different.

The results showed the potential of microbial inoculants but also made clear that further investigation of these processes would be necessary for obtaining optimal benefits to plant growth and plant nutrition.

References

- Adesemoye AO, Kloepper JW (2009) Plant-microbes interactions in enhanced fertilizer-use efficiency. *Appl Microbiol Biotechnol* 85:1–12
- Adesemoye AO, Torbert HA, Kloepper JW (2009) Plant growth promoting rhizobacteria allow reduced application rates of chemical fertilizers. *Microb Ecol* 58:921–929
- Anderson TH (1994) Physiological analysis of microbial communities in soil: Applications and limitations. In: Beyond the Biomass Ritz K, Dighton J and Giller KE, Eds. Wiley-Sayce: pp 67–76
- Avis TJ, Gravel V, Antoun H, Tweddell RJ (2008) Multifaceted beneficial effects of rhizosphere microorganisms on plant health and productivity. *Soil Biol Biochem* 40:1733–1740
- Bagayoko M, George E, Römhild V, Buerkert A (2000) Effects of mycorrhizae and phosphorus on growth and nutrient uptake of millet, cowpea and sorghum on a West Africa soil. *J Agric Sci* 135:399–407
- Bast E (1999) Mikrobiologische Methoden: eine Einführung in grundlegende Arbeitstechniken. Heidelberg : Spektrum Akad Verl, 425 p
- Cavagnaro TR, Jackson LE, Six J, Ferris H, Goyal S, Asami D, Scow KM (2006) Arbuscular mycorrhizas, microbial communities, nutrient availability, and soil aggregates in organic tomato production. *Plant Soil* 282:209–255

- Dakora FD, Phillips DA (2002) Root exudates as mediators of mineral acquisition in low-nutrient. *Plant Soil* 245:35-47
- Dames JF, Ridsdale CJ (2012) What we know about arbuscular mycorrhizal fungi and associated soil bacteria. *Afric J Biotechn* 11(73):13753-13760
- Deubel A (1996) Einfluss wurzelbürtiger organischer Kohlenstoffverbindungen auf Wachstum und Phosphatmobilisierungsleistung verschiedener Rhizosphärenbakterien. Aachen : Shaker, 114 p
- Eichler B, Caus M, Schnug E, Köppen D (2004) Soil acid and alkaline phosphatase in relation to crop species and fungal treatment. *Landbauforsch Völkenrode* 54(1):1-5
- Eichler-Löbermann B, Köhne S, Kowalski B, Schnug E (2008) Effect of catch cropping on phosphorus bioavailability in comparison to organic and inorganic fertilization. *J Plant Nutr* 31:659-676
- El-Ghandour IA, Elsharwy MAO, Abdelmoneim EM (1996) Impact of vesicular arbuscular mycorrhizal fungi and Rhizobium on the growth and P, N and Fe uptake by faba bean. *Fert Res* 43:43-48
- Fini A, Fangi P, Amoroso G, Piatti R, Faoro M, Bellasio C, Ferrini F (2011) Effect of controller inoculation with specific mycorrhizal fungi from the urban environment on growth and physiology of containerized shade tree species growing under different water regimes. *Mycorrhiza* 21:703-719
- Frey-Klett P, Garbaye J, Tarkka M (2007) The mycorrhiza helper bacteria revisited. *New Phytol* 176:22-36
- Gamalero E, Trotta A, Massa N, Copetta A, Martinotti MG, Berta G (2004) Impact of two fluorescent pseudomonads and an arbuscular mycorrhizal fungus on tomato plant growth, root architecture and P acquisition. *Mycorrhiza* 14:185-192
- Heinemeyer O, Insam H, Kaiser EA, Walenzik G (1989) Soil microbial biomass and respiration measurements - an automated technique based on infrared gas-analysis. *Plant Soil* 116:191-195
- Jakobsen I (1999) Transport of phosphorus and carbon in arbuscular mycorrhizas. In: Varma A, Hock B (eds) *Mycorrhiza : structure, function, molecular biology and biotechnology*. Berlin : Springer, pp 309-332
- Jones JB Jr, Wolf B, Mills HA (1991) *Plant analysis handbook : a practical sampling, preparation, analysis, and interpretation guide*. Athens, GA : Micro-Macro Publ, 213 p
- Kannan V, Sureendar R (2009) Synergistic effect of beneficial rhizosphere microflora in biocontrol and plant growth promotion. *J Basic Microbiol* 49:158-164
- Krey T, Caus M, Baum C, Ruppel S, Eichler-Löbermann B (2011) Interactive effects of plant growth-promoting rhizobacteria and manuring on the phosphorus supply of *Zea mays* L. and *Brassica napus* L. *J Plant Nutr Soil Sci* 174:602-613
- Metayer N (2004) Vicia faba breeding for sustainable agriculture in Europe : identification of regional priorities and definition of target genotypes [online]. To be found at <EUFABA_Metayer_04_V-faba-for-sust-agric-in-Europe-GIE-févereole-3.pdf> [quoted 16.07.2013]
- Mohammadi EG, Rezaee YD, Prasad R, Varma A (2008) Mycorrhizal fungi : what we know and what should we know?. In: Varma A (ed) *Mycorrhiza : state of the art, genetics and molecular biology, eco-function, biotechnology, eco-physiology, structure and systematics*. Berlin : Springer, pp 3-27
- Morrissey JP, Dow M, Mark GL, O'Gara F (2004) Are microbes at the root of a solution to world food production? : Rational exploitation of interactions between microbes and plants can help to transform agriculture. *EMBO Rep* 5(10):922-926
- Page AL, Miller RH, Keeney DR (1982) *Methods of soil analysis : 2: Chemical and microbiological properties*. Madison, WI : Am Soc Agron, 1159 p
- Peek CS, Robson AD, Kuo J (2003) The formation, morphology and anatomy of cluster root of *Lupinus albus* L. as dependent on soil type and phosphorus supply. *Plant Soil* 248:237-246
- Richardson AE, Lynch JP, Ryan PR, Delhaize E, Smith FA, Smith SE, Harvey PR, Ryan MH, Veneklaas EJ, Lambers H, Oberson A, Culvenor RA, Simpson RJ (2011) Plant and microbial strategies to improve the phosphorus efficiency of agriculture. *Plant Soil* 349:121-156
- Ruiz-Lozano JM, Bonfante P (1999) Identification of a putative P-transporter operon in the genome of a Burkholderia strain living inside the arbuscular mycorrhizal fungus *Gigaspora margarita*. *J Bacteriol* 181:4106-4109
- Ruppel S, Rühlmann J, Merbach W (2006) Quantification and localization of bacteria in plant tissues using quantitative real-time PCR and online emission fingerprinting. *Plant Soil* 286:21-35
- Ruppel S (2008) Die Rolle der Mikroflora bei den im System Pflanze-Boden ablaufenden Prozessen : Wirkungsmechanismen und Bedeutung. Halle : Univ, 259 p
- Schilling G, Gransee A, Deubel A, Lezovit G, Ruppel S (1998) Phosphorus availability, root exudates, and microbial activity in rhizosphere. *Zeitschrift Pflanzenern Bodenkd* 161:465-478
- Schweiger PF, Robson AD, Barrow NJ (1995) Root hair length determines beneficial effect of a Glomus species on shoot growth of some pasture species. *New Phytol* 131:247-254
- Shahroona B, Naveed M, Arshad M, Zahir ZA (2008) Fertilizer dependent efficiency of Pseudomonads for improving growth, yield, and nutrient use efficiency of wheat (*Triticum aestivum* L.). *Appl Microbiol Biotechnol* 79:147-155
- Singh S, Kapoor KK (1999) Inoculation with phosphate-solubilizing microorganisms and a vesicular-arbuscular mycorrhizal fungus improves dry matter yield and nutrient uptake by wheat grown in a sandy soil. *Biol Fertil Soils* 28:139-144
- Thrane C, Nielsen TH, Nielsen MN, Sørensen J, Olsson S (2000) Viscosinamide – producing *Pseudomonas fluorescens* DR54 exerts a biocontrol effect on *Pythium ultimum* in sugar beet rhizosphere. *FEMS Microbiol Ecol* 33:139-146
- Toljander JF, Paul L, Lindahl BD, Elfstrand M, Finlay RD (2007) Influence of AM fungal exudates on bacterial community structure. *FEMS Microbiol Ecol* 61:295-304
- Vassilev N, Baca MT, Vassileva M, Franco I, Azcon R (1995) Rock phosphate solubilization by *Aspergillus niger* grown on sugar beet wastes. *Appl Microbiol Biotechnol* 44:546-549
- Vassilev N, Eichler-Löbermann B, Vassileva M (2012) Stress-tolerant P-solubilizing microorganisms. *Appl. Microbiol. Biotechn.* 95:851-859
- Vassilev N, Vassileva M, Azcon R, Medina A (2001) Application of free and Ca-alginate-entrapped *Glomus deserticola* and *Yarrowia lipolytica* in a soil-plant system. *J Biotechnol* 91:237-242
- Vassileva M, Serrano M, Bravo V, Jurado E, Nikolaeva I, Martos V, Vassilev N (2010) Multifunctional properties of phosphate-solubilizing microorganisms grown on agro-industrial wastes in fermentation and soil conditions. *Appl Microbiol Biotechnol* 85(5):1287-1299
- Yasmin F, Othman R, Sijam K, Saad MS (2007) Effect of PGPR inoculation on growth and yield of sweetpotato. *J Biol Sci* 7(2):421-427
- Zhang H, Wu X, Li G, Qin P (2011) Interactions between arbuscular mycorrhizal fungi and phosphate-solubilizing fungus (*Mortierella* sp.) and their effects on *Kosteletzkya virginica* growth and enzyme activities of rhizosphere and bulk soils at different salinities. *Biol Fert Soils* 47:543-554

Phosphatlöslichkeiten und Phosphatdüngewirkung von Stoffen aus der Klärschlammaufbereitung – Betrachtung unterschiedlicher Aufbereitungsverfahren

Maximilian Severin*, Christian Ahl*, Martin Kücke***, Herman Van den Weghe** und Jörg-Michael Greef***

Zusammenfassung

Ziel dieser Untersuchung war die Ermittlung der P-Düngewirkung von vier mit unterschiedlichen Aufbereitungsverfahren hergestellten P-Düngemitteln aus thermisch sowie chemisch aufgeschlossenen Klärschlammassenchen im Vergleich zu zwei unbehandelten Klärschlammassenchen. Die P-Freigabe wurde chemisch durch Extraktion in Wasser, Wasser und neutralem Ammoniumcitrat und Mineralsäure analysiert. Danach wurde im Gefäßversuch mit Weidelgras die P-Aufnahme im Vergleich zu einer konventionellen Mineraldüngung mit Tricalciumphosphat ermittelt.

Das nasschemisch aus Klärschlamm hergestellte Seaborne Produkt zeigte eine Löslichkeit in Wasser und neutralem Ammoniumcitrat (WNA) von 95 % von P_{gesamt} und eine P-Aufnahme von 151 % gegenüber der P-Nullvariante (100 %). Die mit Schwefelsäure vollaufgeschlossene Klärschlammasse zeigte eine WNA-Löslichkeit von 90 % von P_{gesamt} und eine P-Aufnahme von 123 %. Das AshDec Produkt (thermisch vollaufgeschlossene Klärschlammasse) zeigte eine WNA-P-Löslichkeit von 85 % von P_{gesamt} und eine P-Aufnahme von 132 %. Die Kontrollvariante (Tricalciumphosphat) zeigt gegenüber der Variante P_0 eine P-Aufnahme von 105 %.

Einige Produkte aus aufbereitetem Klärschlamm können P-Löslichkeiten und P-Düngewirkungen wie Thomasphosphat und Superphosphat aufweisen. Verfahren zur Klärschlammaufbereitung sind von großer Bedeutung, um eine P-Versorgung in der Pflanzenproduktion im Hinblick auf die endliche Ressource P in Zukunft gewährleisten zu können.

Schlüsselwörter: Phosphat, Phosphatverfügbarkeit, Klärschlamm, Klärschlammaufbereitung, Klärschlammasse, P-Recycling

Summary

Phosphate solubility and phosphate fertilizer effect of substances from sludge treatment – analysis of different treatment methods

The aim of this study was to determine the P fertilization efficiency of four products from sewage sludge ash conditioned by different digestion processes compared to two undigested sewage sludge ashes. The chemical plant availability of P was determined by extraction with water, water and neutral ammonium citrate and mineral acid.

Subsequently, the biological plant availability was determined by measuring the P-uptake in a fertilization pot experiment with ryegrass.

The magnesium-ammonium-phosphate from wet-chemical sludge digestion (Seaborne product) showed a water and neutral ammonium citrate (WNA) solubility of 95 % of P_t and a P-uptake of 151 % compared to the zero P-control (100 %). The partially with sulfuric acid digested sewage sludge ash showed a WNA solubility of 90 % of P_t and a P-uptake of 123 %. The AshDec product (thermically treated) has a solubility of 85 % WNA and the P-uptake is 132 %. The P fertilization with tricalciumphosphate resulted in a P-uptake of 105 % compared to the P_0 treatment.

This paper shows that some products from recycled sewage sludge have a P solubility and a P fertilization effect similar to commercial P fertilizers. Therefore sludge treatment is very important to ensure the P supply in plant production, because P will be a finite resource in future.

Keywords: phosphate, phosphate availability, sewage sludge treatment, sludge ash, p-recycling

* Georg-August-Universität Göttingen, Fakultät für Agrarwissenschaften, Abteilung Agrarpedologie, Büsgenweg 2, 37077 Göttingen

** Georg-August-Universität Göttingen, Fakultät für Agrarwissenschaften, Department für Nutztierwissenschaften, Albrecht-Thaer-Weg 3, 37075 Göttingen

*** Julius-Kühn-Institut, Institut für Pflanzenbau und Bodenkunde, Bundesallee 50, 38116 Braunschweig

Kontakt: maximilian.severin@agr.uni-goettingen.de

1 Einleitung und Zielsetzung

Mit zunehmendem Bevölkerungswachstum und steigendem Fleischkonsum stieg der Phosphatverbrauch in den letzten 100 Jahren rapide an, so dass die natürlichen Phosphatkörper nach neuesten Berechnungen in 115 bis 122 Jahren erschöpft sein werden (BGR, 2007; Elsner, 2008; U.S. Geological Survey, 2009). Die wichtigsten Phosphatquellen in der Landwirtschaft sind neben mineralischen P-Düngern aus geogenem Phosphat Wirtschaftsdünger und Klärschlämme.

Klärschlämme können allerdings mit organischen und anorganischen Schadstoffen (Polychlorierte Biphenyle, Dioxine und Furane, Pharmazeutika, Schwermetalle u. a.) sowie Krankheitserregern belastet sein. Die Ausbringung von Klärschlamm ist deshalb rückläufig, nur 30 % des anfallenden Klärschlamms werden in Deutschland landwirtschaftlich verwertet. Stattdessen wird heutzutage ein Großteil (53,2 %) der anfallenden Klärschlämme verbrannt (UBA, 2011). Die entstehenden Aschen werden deponiert, im Straßenbau eingesetzt oder als Düngemittel genutzt.

Gegenüber Superphosphat weisen Klärschlämme eine langsamere P-Düngewirkung im Düngungsjahr auf. Langfristig ist die P-Ausnutzung aus Klärschlamm durch die Pflanze ähnlich hoch wie die von Superphosphat (Suntheim und Dittrich, 2000). Klärschlammassen haben einen hohen P-Gehalt (4,4 bis 9,0 %), allerdings ist das Phosphat in Klärschlammassen schlecht pflanzenverfügbar und die Schwermetallgehalte werden aufgrund des Masseverlustes bei der Verbrennung und dem folgenden Aufschluss aufkonzentriert (Schick, 2010; DWA, 2009, Franz 2008). Insbesondere hohe Cadmium-, aber auch Nickel- und Bleigehalte können eine landwirtschaftliche Verwertung un behandelter Klärschlammassen einschränken, da die in der Düngmittelverordnung (DÜMV) festgelegten Grenzwerte nicht selten überschritten werden (Kördel et al., 2007).

Gegenwärtig werden deshalb verstärkt Verfahren entwickelt, die die Schwermetallgehalte in Klärschlammassen absenken, den P-Gehalt erhöhen und die P-Verfügbarkeit verbessern sollen. Das Ziel ist es, derartig behandelte Klärschlammassen als P-Düngemittel handelbar und in der Landwirtschaft einsetzbar zu machen.

Das Ziel dieser Arbeit war, die chemische Abschätzung der Pflanzenverfügbarkeit des Phosphats in zwei Klärschlammassen und vier Aufbereitungsprodukten aus Klärschlamm und Klärschlammassen. Hierzu wurde die Mineralsäure-, Wasser und Neutralammoniumcitrat- sowie Wasserlöslichkeit der Produkte untersucht. Zur Ermittlung der Pflanzenverfügbarkeit wurde ein Gefäßversuch zur Ableitung der potenziellen P-Düngewirkung durchgeführt. Hierdurch können die chemische und die biologische P-Verfügbarkeit im Boden verglichen werden.

2 Material und Methoden

2.1 Phosphatlöslichkeiten

Es wurden wasserlösliches Phosphat (EU Methode 3.1.6, EU-Komission, 2003), Wasser- und neutral Ammoniumcitrat lösliches Phosphat (VDLUFA Methode 4.1.4, Fresenius-Neubauer, VDLUFA, 1995) und mineralsäurelösliches Phosphat (Aufschluss mit Königswasser VDLUFA Methode 5.1.1.1, VDLUFA, 1995) bestimmt. Die Ergebnisse von P_{KW} werden in dieser Arbeit im Folgenden als P_{gesamt} bezeichnet. Zum Nachweis der schnellen und standortunabhängigen P-Düngewirkung wurde die Extraktion mit Wasser und neutralem Ammoniumcitrat durchgeführt. Es wurde bewusst auf die Extraktion mit Zitronensäure verzichtet, da dieses Lösungsmittel nur für langsam wirkende P-Düngemittel benutzt wird. Nach BMELV (2011) soll die beste möglich verfügbare P-Fraktion im Düngemittel ermittelt werden.

Die P-Gehaltsbestimmung im Extrakt erfolgte mit induktiv gekoppeltem Plasma (ICP-OES) (VDLUFA 3.2.2.2).

2.2 Klärschlammprodukte

Zur Untersuchung der P-Düngewirkung wurden zwei nicht aufbereitete Klärschlammassen und vier Aufbereitungsprodukte aus Klärschlamm und Klärschlammassen miteinander im Gefäß- und Laborversuch verglichen (Tabelle 1). Bei den nicht aufbereiteten Klärschlammassen handelt es sich um eine Asche aus der Monoverbrennung und eine Asche aus der Mitverbrennung.

Die unbehandelte Klärschlammasse „Monoverbrennung“ resultiert aus der Verbrennung eines kommunalen Klärschlammes, der mittels einer Zentrifuge entwässert und anschließend in einem Wirbelschichtofen verbrannt wurde (Groß, 2011).

Die Klärschlammasse „Mitverbrennung“ wurde durch gemeinsame Verbrennung von Klärschlamm mit anderen Abfällen erzeugt (Breuer, 2011). Bei dem eingesetzten Ausgangsprodukt handelt es sich um Klärschlamm aus industriellen Abwässern und Schlammassen.

Das untersuchte Magnesium-Ammonium-Phosphat (MAP, „Seaborne“) wurde aus kommunalen Klärschlämmen erzeugt, indem der pH-Wert durch die Zugabe von Schwefelsäure abgesenkt wird und so Schwermetalle und Phosphate in Lösung gebracht werden. Die Schwermetalle fallen aus und können abgeschieden werden. Das Endprodukt ist erdfreudt und amorph (Bayerle, 2011).

Durch den Zusatz von Schwefelsäure (75 %ig) wird aus Klärschlammasse vollaufgeschlossene Klärschlammasse „A KSA“ hergestellt.

Zum Aufschluss von 1 t Klärschlammasse wurden 800 kg Schwefelsäure eingesetzt. Die Schwefelsäure verbleibt nach dem Aufschluss in der Asche (Petzet und Cornel, 2011).

Die für das „*Mephrec*“-Verfahren eingesetzten Klärschlämme und Klärschlammassen werden vor dem Beginn des eigentlichen Verfahrens briktiert und anschließend zusammen mit Koks und weiteren Zuschlagstoffen im Mephrec-Reaktor (Kupolofen) verbrannt. Es bilden sich Schlacken, die bei durchschnittlich 1450 °C abgestochen werden (Mallon, 2011). Die Phosphatform ist Thomasphosphat hinsichtlich seiner Löslichkeit (16 % zitronensäurelöslich) ähnlich.

Durch das „*AshDec*“-Verfahren wurde der Schwermetallgehalt von unbehandelten Klärschlammassen durch erneute Verbrennung und Zusetzung von MgCl₂ stark reduziert. Zur Verbesserung der P-Verfügbarkeit erfolgte eine weiterführende Behandlung mit Natriumcarbonat. Durch die Zugabe von Natriumcarbonat wird der pH-Wert des Produkts erhöht, Phosphat wird besser verfügbar, weil die Bindung an Schwermetalle geringer wird (Adam, 2012).

2.3 Gefäßversuch mit *Lolium multiflorum* zur Bestimmung der Phosphataufnahme

Zur Versuchsdurchführung wurde ein Unterboden (4 mg P/100 g Boden CAL-P, Bodenart lehmiger Sand) ausgewählt, der zur Erhöhung von Wasserhaltekapazität und Sorptionsfähigkeit mit 6 % Torf gemischt wurde. Dieses Gemisch hatte einen CAL-P-Gehalt von 6 mg P/100 g Boden. Von diesem Gemisch wurden 1500 g in Töpfen mit 16 cm Durchmesser gefüllt. Mit Hilfe eines Vorversuchs zur Einstellung des gewünschten pH-Wertes wurde ermittelt, dass dem Gemisch 15 g kohlensaurer Kalk pro 1500 g zur Einstellung eines leicht sauren pH-Werts hinzugegeben werden müssen. Es wurde ein leicht saurer pH-Wert von 6 angestrebt, um eine optimale P-Verfügbarkeit zu gewährleisten. Nach der Kalkzugabe wurden die Düngemittel in den Boden eingebracht. Jeder Topf wurde mit 100 mg Gesamt-P in Form der oben genannten Düngemittel gedüngt. Der Versuch wurde mit vier Wiederholungen angelegt.

Zusätzlich wurden eine Variante ohne jede P-Düngung (P-Nulldüngung) und eine mit einer mineralischen P-Düngung in Form von Tricalciumphosphat (TriCaP, Ca₃O₈P₂) angelegt.

In jedem Topf wurden 70 Samen Welsches Weidelgras (*Lolium multiflorum* LAM.) der Sorte Gisel gleichmäßig ausgesät und mit etwas Bodentorfgemisch bedeckt. Anschließend wurden die Töpfe im Gewächshaus (18 bis 22 °C) in Unterschalen randomisiert aufgestellt. Die Pflanzen wurden regelmäßig manuell und nach Bedarf bewässert. Das Gießwasser wurde unter den Töpfen mit Untersetzern aufgefangen und den Pflanzen erneut zugeführt, um Düngemittelausträge zu vermeiden. Der Versuch erstreckte sich über einen Zeitraum von 20 Wochen, in denen 3 Schnitte geerntet wurden. Nach den Schnitten wurden die Pflanzen jeweils mit einer P-freien Stickstofflösung gedüngt (insgesamt 954 mg N Gefäß⁻¹). Die Düngung nach dem ersten Schnitt erfolgte mit Flory (18 % N, 22 % K₂O, 3,3 % MgO, 0,02 % B, 0,04 % Cu, 0,1 % Fe, 0,05 % Mn, 0,01 % Mo und 0,01 % Zn). Nach dem zweiten Schnitt erfolgte die Düngung mit KAS (27 % N, 4 % MgO).

Es wurden drei Schnitte in 4 cm Höhe über der Bodenoberfläche vorgenommen und die Frischmasse ermittelt.

Nach einer 48 stündigen Trocknung bei 60 °C erfolgte die Bestimmung der Trockenmasse. Die Messung der P-Gehalte im Pflanzenmaterial erfolgte mit ICP-OES (VDLUFA Methode 2.1.3) (VDLUFA, 2011; VDLUFA, 2008a; VDLUFA, 2008b).

3 Ergebnisse

3.1 Phosphatlöslichkeiten

Die in den Extrakten (Mineralsäure, Wasser- und neutrales Ammoniumcitrat sowie Wasser) vorliegenden Phosphatgehalte wurden durch ICP-OES bestimmt. Als Referenzprobe wurde ein mineralischer NPK-Dünger (5,3 % P, im Folgenden NPK-Referenz genannt) genutzt, dessen Nährstoffgehalte zuvor in einem Ringversuch analysiert wurden. Die untersuchten Produkte wiesen Gesamt-P-Gehalte zwischen 4,4 und 15,7 % P (Tabelle 1).

Tabelle 1

Nährstoffgehalte der untersuchten Klärschlammassen
(Eigene Untersuchungen, 2012 und Adam, 2012)

Variantennummer	Probenbezeichnung	P [%]	K [%]	Mg [%]	S [%]	Ca [%]
1	Monoverbrennung	9,0	0,6	1,8	0,7	9,0
2	Mitverbrennung	4,0	0,5	1,5	2,1	11,5
3	Seaborne	15,7	0,4	5,9	1,3	16,1
4	A KSA	5,1	u. B.	0,3	10,9	3,4
5	Mephrec	4,4	0,1	2,3	0,1	20,1
6	AshDec	4,7	0,3	5	0,3	7,8

u. B. = unter Bestimmungsgrenze

Die Variante Monoverbrennung hat in neutralem Ammoniumcitrat und Wasser eine Löslichkeit von 34 % von P_{gesamt}, die Variante Mitverbrennung eine Löslichkeit von 62 % von P_{gesamt}. Die Wasserlöslichkeit beider Produkte betrug nahezu 0 % (Tabelle 2). Das Seaborne Produkt zeigte eine sehr hohe Wasser und Neutralammoniumcitratlöslichkeit (95 % von P_{gesamt}) und eine geringe Wasserlöslichkeit (15 % von P_{gesamt}). Bei der mit Schwefelsäure vollaufgeschlossenen Klärschlammasse lagen die Wasser und Neutralammoniumcitratlöslichkeit und die Wasserlöslichkeit bei 90 % von P_{gesamt}. Die beiden thermisch behandelten Klärschlammassen (Mephrec und AshDec) zeigten eine Wasser und Neutralammoniumcitratlöslichkeit von 23 % von P_{gesamt} (Mephrec) und 85 % von P_{gesamt} (AshDec). Beide Produkte haben eine Wasserlöslichkeit von < 1 %. Auch die Varianten Mono- und Mitverbrennung liegen auf einem vergleichbaren Niveau.

Die Produkte Seaborne (15 % H₂O von P_{gesamt}), A KSA (90 % H₂O von P_{gesamt}) und NPK-Referenz (76 % H₂O von P_{gesamt}) hatten eine Wasserlöslichkeit über diesem Niveau (Tabelle 2).

Die Ermittlung der Schwermetallgehalte (Tabelle 3) zeigt, dass die Schwermetallgrenzwerte nach Abfallklärschlammverordnung 1992 teilweise stark überschritten werden. Dies betrifft vor allem die nicht aufbereiteten Klärschlammassen.

Tabelle 2 P_{W-NAC} und P_{H2O} im Vergleich zu P_{gesamt} , Tukey $\alpha < 0,05$

Produkt	P_{gesamt}	SA	Signifikanz	P_{W-NAC}	% von P_{gesamt}	SA	Signifikanz	P_{H2O}	% von P_{gesamt}	SA	Signifikanz
Minimum	9,03	0,04	b	34,03 %	8,61 %	a	0,05 %	0,00 %	a		
Maximum	4,07	0,04	f	62,12 %	0,42 %	a	0,11 %	0,00 %	a		
Seaborne	15,72	0,05	a	95,00 %	2,47 %	b	14,61 %	2,49 %	b		
A KSA	5,14	0,07	cd	90,11 %	1,55 %	c	89,61 %	0,05 %	c		
Mephrec	4,41	0,03	cde	23,12 %	4,11 %	d	0,25 %	20,00 %	a		
AshDec	4,69	0,09	cd	85,21 %	13,46 %	ce	0,98 %	4,76 %	a		
NPK-Referenz	5,61	0,04	c	100,20 %	9,52 %	cf	76,35 %	0,21 %	dc		

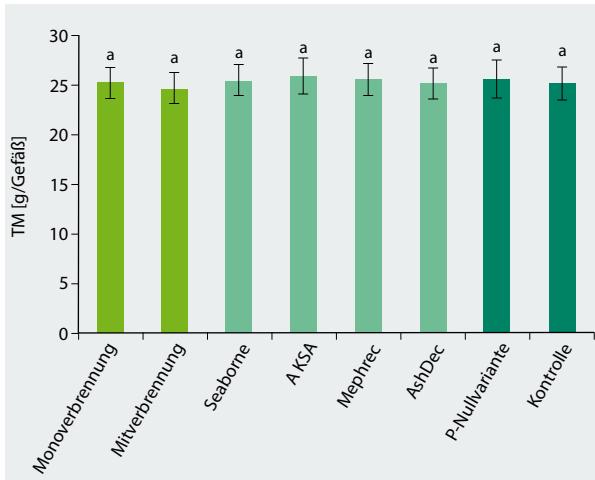
SA = Standardabweichung

Tabelle 3

Schwermetallgehalte der untersuchten Klärschlammassen (Adam, 2012)

Varianten-nummer	Proben-bezeichnung	As [mg/kg]	Cd [mg/kg]	Cr [mg/kg]	Zn [mg/kg]
1	Minimum	17	3	98	2399
2	Maximum	29	5	594	2789
3	Seaborne	2	u. B.	3	35
4	A KSA	25	1	59	1551
5	Mephrec	10	u. B.	119	56
6	AshDec	12	0	266	1153

u. B.= unter Bestimmungsgrenze

unterschiedliche Kleinbuchstaben = sign. Diff. zwischen den Düngemitteln (Tukey-Test $\alpha < 0,05$), Fehlerbalken stellen Standardabweichungen dar

3.2 Wachstum und P-Aufnahme von Weidelgras

Die Erträge von Weidelgras (Summe über drei Schnitte, Abbildung 1) lagen durchschnittlich bei 25 g TM pro Gefäß. Hinsichtlich des Untersuchungsparameters „Ertrag“ zeigten sich zwischen den einzelnen Düngungsvarianten und der P-Nullvariante keine signifikanten Unterschiede.

Nach Düngung mit dem Seaborne Produkt zeigten die Pflanzen eine signifikant erhöhte P-Aufnahme gegenüber den anderen Düngemitteln, der Kontrolle und der Nullvariante (Tabelle 2). Die AshDec Variante zeigte eine erhöhte P-Aufnahme gegenüber der Kontrolle und der Nullvariante, nicht aber gegenüber den anderen Varianten. Nach Düngung mit dem letzteren war die P-Aufnahme nur gegenüber den beiden Kontrollvarianten signifikant höher. Gegenüber der Null- und Kontrollvariante zeigten alle anderen Düngungsvarianten nur tendenziell, nicht signifikant erhöhte P-Aufnahmen.

Abbildung 1

Trockenmasseerträge von Weidelgras (Summe von drei Schnitten [g TM/Gefäß]) nach Düngung mit 100 mg P/Gefäß mit verschiedenen Klärschlammprodukten und Tricalciumphosphat (Kontrolle)

Bei Betrachtung der einzelnen drei Schnitte zeigte sich beim ersten Schnitt eine signifikant höhere P-Aufnahme der Varianten Seaborne und AshDec gegenüber allen anderen Varianten. Der zweite und dritte Schnitt zeigten, dass die schnelle Wirksamkeit des AshDec Produkts im Wachstumsverlauf nicht aufrechterhalten wurde und auf das Niveau der anderen Düngungsvarianten absank. Beim dritten Schnitt lagen alle Düngevarianten leicht über dem Niveau der Null- und Kontrollvariante. Die Seaborne Variante zeigte über alle drei Schnitte und in der Gesamtbetrachtung signifikant höhere P-Aufnahmen als die anderen Düngemittel.

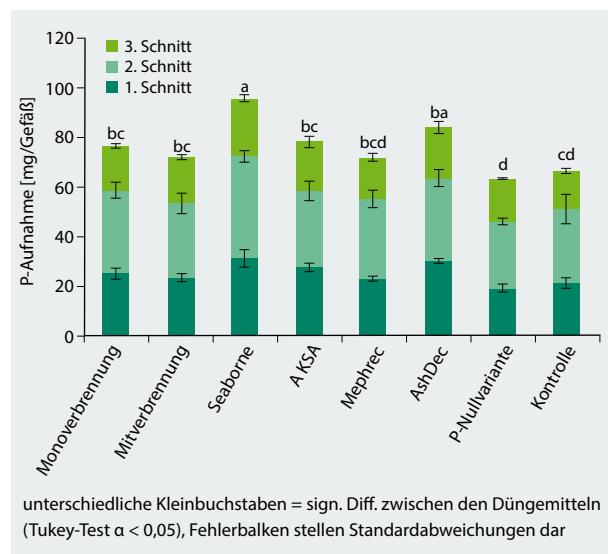


Abbildung 2

P-Aufnahme von Weidelgras (Summe der drei Schnitte [mg P/Gefäß]) nach Düngung mit 100 mg P/Gefäß mit unterschiedlichen Klärschlammprodukten und Tricalciumphosphat (Kontrolle)

Eine Überprüfung des Zusammenhangs zwischen den im Labor ermittelten Löslichkeiten und der P-Aufnahme durch das Weidelgras zeigte, dass nur für die Löslichkeit in Wasser und Neutralammoniumcitrat ein signifikanter Zusammenhang besteht.

Die Korrelation zwischen der P-Aufnahme und der Löslichkeit in Wasser und neutralem Ammoniumcitrat beträgt $R = 0,83$. Die Korrelation zwischen der P-Aufnahme und dem P_{gesamt} der Düngemittel liegt bei $R = 0,73$. Diese beiden Korrelationen sind signifikant. Zwischen der Wasserlöslichkeit und der P-Aufnahme besteht eine nicht signifikante Korrelation von $R = 0,56$.

4 Diskussion

4.1 P-Löslichkeiten

Nach BMELV (2011) fordert der wissenschaftliche Beirat für Düngungsfragen für P-Düngemittel eine Wasser oder Neutralammoniumcitratlöslichkeit, die sehr nah am P-Gesamtgehalt des Düngemittels liegt, da ansonsten kein nennenswerter Düngungseffekt zu erwarten ist. Ein Großteil des gedüngten Phosphats bliebe im Boden gebunden und wäre nur sehr langsam und langfristig pflanzenverfügbar. Die unterschiedlichen Extraktionsmethoden deuten auf eine unterschiedlich schnelle Verfügbarkeit hin.

Die un behandelte Klärschlamm aus der Monoverbrennung weist einen P_{gesamt} von 9 %, eine Wasser und Neutralammoniumcitrat von 34 % von P_{gesamt} und eine niedrige Wasserlöslichkeit (unter 1 % von P_{gesamt}) auf. Die Asche aus der Mitverbrennung weist einen mittleren P-Gehalt von 4 % P, eine mittlere Wasser und Neutralammoniumcitratlöslichkeit (62 % von P_{gesamt}) und eine schlechte Wasserlöslichkeit (unter 1 % von P_{gesamt}) auf (Tabelle 2).

Dagegen wies das Seaborne Produkt von allen untersuchten Düngemitteln mit 15 % P_{gesamt} den höchsten P-Gehalt auf. Die Löslichkeit in Wasser und Neutralammoniumcitrat beträgt 95 % und in Wasser 16 % von P_{gesamt}, was auf eine gute Pflanzenverfügbarkeit des Phosphats in diesem Produkt hindeutet (Tabelle 2).

Bei dem mit Schwefelsäure vollaufgeschlossenen Produkt (A KSA) wurde sowohl eine hohe Wasser und Neutralammoniumcitrat- (85 % von P_{gesamt}) als auch eine hohe Wasserlöslichkeit (90 % von P_{gesamt}) festgestellt. Dies spricht für eine sehr gute P-Verfügbarkeit des Produkts.

Das Mephrec Produkt ließ hinsichtlich seiner P-Löslichkeiten (Wasser und Neutralammoniumcitratlöslichkeit von 21 %; Wasserlöslichkeit von unter 1 % von P_{gesamt}) keine guten P-Düngereigenschaften erwarten (Tabelle 2). Zudem war das vorliegende Produkt in seiner Konsistenz nicht homogen und hat sich teilweise entmischt. Das stellt einen Nachteil für die Ansprüche an ein qualitativ gleichbleibendes und hochwertiges Düngemittel dar.

Das AshDec Produkt hat zwar eine Wasser und Neutralammoniumcitratlöslichkeit von über 80 % von P_{gesamt} doch ist die Wasserlöslichkeit mit 1 % von P_{gesamt} sehr gering (Tabelle 2). Aufgrund des hier gefundenen engen Zusammenhangs zwischen der Wasser- und Neutralammoniumcitratlöslichkeit und dem P-Entzug durch Weidelgras kann aber davon ausgegangen werden, dass sich die Pflanzenverfügbarkeit vielmehr durch diese als durch die Wasserlöslichkeit charakterisieren lässt. Die unbehandelten Klärschlammmaschen „Monoverbrennung“ und „Mitverbrennung“ sind in ihrer Wasserlöslichkeit vergleichbar mit den Ergebnissen von Kratz und Schnug (2008). Die Wasser und Neutralammoniumcitratlöslichkeit ist bei der in unserer Arbeit verwendeten Probe „Monoverbrennung“ allerdings deutlich höher.

Das untersuchte AshDec Produkt wurde mit dem von Schick (2010) verglichen. Mehrere von Schick (2010) untersuchte AshDec-Produkte wiesen eine Wasserlöslichkeit von unter 1 % von P_{gesamt} und eine Wasser- und Neutralammoniumcitratlöslichkeit (Fresenius-Neubauer) von je nach Behandlung von 15 bis 40 % von P_{gesamt} auf. Adam et al. (2006) konnte ähnliche P-Löslichkeiten wie Schick (2010) ermitteln. Im Vergleich zu vorherigen Untersuchungen wurden die in diesem Versuch untersuchten Produkte durch einen veränderten Herstellungsprozess in ihrer P-Löslichkeit verbessert. Die Wasser und Neutralammoniumcitratlöslichkeit liegt mit über 80 % im Bereich herkömmlicher NPK Dünger. Allerdings ist die Wasserlöslichkeit mit 1 % von P_{gesamt} sehr niedrig.

Im Gegensatz zu den in dieser Arbeit erzielten Ergebnissen konnten Cabeza Perez et al. (2011b) für das AshDec Produkt eine Wasserlöslichkeit von 6,4 % vom Gesamt-P Gehalt feststellen. Hierbei ist davon auszugehen, dass die damals untersuchten Produkte nicht den heutigen AshDec Produkten entsprechen. Die damals untersuchten Aschen wurden mit anderen Verhältnissen von Aufschlusssubstanzen aufgeschlossen, als die in dieser Arbeit untersuchten Produkte.

Bestandteile des AshDec Produkts sind größtenteils Chlorapatit, Quarz und Hämatit. Dies begründet die schlechte Wasserlöslichkeit (Schick, 2010).

Tabelle 4

Veränderungen der P-Gehalte und P-Löslichkeiten von Klärschlammprodukten im Verlauf verschiedener Projekte von 2009 bis 2012

Produkt	Quelle	Jahr	P _{gesamt} [% P]	WNAC [%P _{gesamt}]	H ₂ O [% P _{gesamt}]	Veränderung*
AshDec	Eigene Untersuchungen	2012	5,5	85,0	1,0	
AshDec	Schick	2010	4,9	10,0 – 40,0	0,2 - 0,5	+110 %
AshDec	Perez et al.	2011	7,8	k. A.	6,4	-140 %
AshDec	Pinnekamp et al.	2011	9,1	k. A.	6,2	-165 %
Mephrec	Eigene Untersuchungen	2012	4,4	23,0	0,3	
Mephrec	Perez et al.	2011	2,9	k. A.	k. A.	+ 50 %
Seaborne	Eigene Untersuchungen	2012	15,7	95,0	14,6	
Seaborne	Perez et al.	2011	9,6	k. A.	0,8	+60 %/+1000 %
Seaborne	Pinnekamp et al.	2011	12,0	k. A.	0,5	+30 %/+1500 %

* Veränderung der untersuchten Produkte gegenüber Literaturangaben

k. A. = keine Angabe

WNAC = Wasser und Neutralammoniumcitrat

Für die Wasser und Neutralammoniumcitratlöslichkeit des Seaborne Produkts wurden keine Vergleichswerte in der vorhandenen Literatur gefunden. Perez et al. (2011) und Pinnekamp et al. (2011) konnten Wasserlöslichkeiten von unter 1 % von P_{gesamt} feststellen. Die in dieser Arbeit analysierten Wasserlöslichkeiten liegen bei 16 % von P_{gesamt} und zeigen demnach eine Verbesserung des Produktionsprozesses im Vergleich zu früheren Untersuchungen. Generell kann aus dem Vergleich der Ergebnisse verschiedener Projekte zur P-Löslichkeit von Stoffen aus der Klärschlammaufbereitung festgestellt werden, dass bei den Produkten AshDec, Mephrec und Seaborne in den letzten Jahren eine Verbesserung der P-Löslichkeit erzielt wurde, was auf eine Optimierung der Herstellungsverfahren hindeutet (Tabelle 4).

Bei den dargestellten Verbesserungen muss berücksichtigt werden, dass die Ausgangssachen zur Herstellung von Düngemitteln nicht homogen sind, sondern sich mit jeder Charge unterscheiden. Des Weiteren spielt bei geringen P-Gehalten der Analysenfehler eine große Rolle, so dass bei der Wasserlöslichkeit in den meisten Fällen keine Verbesserung erreicht wurde.

4.2 P-Aufnahme

Die im Gefäßversuch mit Weidelgras ermittelte P-Aufnahme zeigte, dass die kurzfristige P-Verfügbarkeit der Varianten Seaborne und AshDec im Vergleich zu den anderen Produkten höher sind. Für das AshDec Produkt konnten ähnliche Ergebnisse wie von Schick (2010) nachgewiesen werden. Das Seaborne Produkt wurde 2009 von Cabeza Perez et al. (2011b) untersucht, allerdings konnte damals eine verbesserte P-Aufnahme gegenüber einer mineralischen Kontrolle (Superphosphat) nicht einwandfrei nachgewiesen werden. Auch dies deutet auf einen optimierten Herstellungsprozess bei dem hier untersuchten Seaborne Produkt hin. Es ist auch denkbar, dass der von Cabeza Perez et al. (2011a) verwende-

te Boden aufgrund von Textur und niedrigem pH-Wert (Sandboden pH 4,7 und Lehm Boden pH 6,6) verhältnismäßig viel P in Form von Aluminium- und Eisenphosphaten nicht pflanzenverfügbar gebunden hat. Gegenüber Perez et al. (2011) konnte Simons (2008) für ein Magnesiumammoniumphosphat mit ähnlichem Herstellungsprozess wie das in dieser Arbeit genutzte Seaborne Produkt eine höhere P-Aufnahme gegenüber einer TSP-Kontrollvariante nachweisen. Der Versuch wurde unter ähnlichen Bedingungen durchgeführt und ist mit den eigenen Ergebnissen vergleichbar. Pinnekamp et al. (2007) konnte mit einer Seabornedüngung Ergebnisse erzielen, die auf dem Niveau der in dieser Arbeit besprochenen Untersuchungsergebnisse liegen.

Tabelle 5

Relative agronomische Effizienz der P-Aufnahme aller Varianten gegenüber der P-Nullvariante, WNA = Wasser und Neutralammoniumcitrat, P_{gesamt} = Mineralsäureaufschluss

Düngevariante	Effizienz der P-Aufnahme [%]	WNA (% von P _{gesamt})
P-0-Variante	100	-
Monoverbrennung	121	34
Mitverbrennung	114	62
Seaborne	151	95
A KSA	123	90
Mephrec	114	23
AshDec	132	85
Kontrolle	105	-

Ein Vergleich der P-Entzüge kann als agronomische Effizienz der P-Aufnahme (Vergleichsdünger/Nullvariante*100) dargestellt werden (Tabelle 3). Hierbei zeigt sich, dass alle unter-

suchten Produkte zu einer verbesserten P-Aufnahme gegenüber der Nullvariante und der Tricalciumphosphatkontrolle führen. Die Effizienz der P-Aufnahme ist bei allen Produkten unterschiedlich stark ausgeprägt. Die höchste agronomische Effizienz zeigen die Produkte Seaborne und AshDec. Alle anderen Varianten liegen in ihrer Effizienz zwischen Kontrolle und AshDec Produkt. Es kann festgehalten werden, dass die Wasser und Neutralammoncitratlöslichkeit bei vielen Produkten die Effizienz der P-Aufnahme widerspiegelt. Bei der Maximum-Variante und der mit Schwefelsäure vollaufgeschlossenen Klärschlammmasche wird die P-Aufnahme durch die Wasser und Neutralammoncitratlöslichkeit überbewertet (Tabelle 5).

Die A KSA kann mit einem RecoPhos Produkt von Weigand et al. (2013) verglichen werden. In der von Weigand et al. (2013) durchgeföhrten Untersuchung konnten Erträge auf dem Niveau einer Superphosphatdüngung festgestellt werden. Nach Cabeza Perez et al. (2011b) ist die P-Düngewirkung von thermisch aufbereiteten Klärschlammassen geringer als die von TSP und liegt auf dem Niveau von Rohphosphaten. Cabeza Perez et al. (2011b) gehen von einer P-Festlegung im Boden aus und betrachten dies als eine langfristige P-Deposition. Diese Aussage trifft nicht auf die eigenen Untersuchungsergebnisse zu, da die Düngewirkung höher war als die von Tricalciumphosphat, was mit einem Rohphosphat vergleichbar ist. Bei weiteren Vergleichen zu bisherigen Untersuchungen sollte auch beachtet werden, dass P-Düngemittel sehr standortabhängige Wirkungen (pH-Wert, Sorptionskapazität und Bodenzusammensetzung) zeigen (Chien et al., 1990).

5 Schlussfolgerungen und Ausblick

Die Wasser und Neutralammoncitratlöslichkeit (nach Fresenius-Neubauer) entspricht bei drei getesteten Klärschlammassen (Seaborne, A KSA und AshDec) mit über 80 % Löslichkeit (von P_{gesamt}) der eines Superphosphats. Bei der Wasserslöslichkeit hat nur die vollaufgeschlossene KSA eine Löslichkeit von 90 % erreicht, was der Löslichkeit von Triple-superphosphat entspricht. Die Wasserlöslichkeit der anderen Produkte liegt zum Großteil unter 1 % vom P-Gesamtgehalt. Zukünftig muss noch intensiver an einer verbesserten Wasserlöslichkeit der Produkte gearbeitet werden, um den Vorgaben des wissenschaftlichen Beirats für Düngungsfragen und der effizienten Pflanzenernährung gerecht zu werden (BMELV, 2011). Vorstellbar ist ein Aufschluss der Produkte mit Schwefelsäure, um die Wasserlöslichkeit zu erhöhen.

Die im Gefäßversuch ermittelten P-Aufnahmen zeigen, dass es möglich ist, Recyclingprodukte aus Klärschlamm herzustellen, die mit konventionellen mineralischen Düngemitteln in ihrer P-Düngewirkung konkurrieren können. Im Vergleich zu ähnlichen wissenschaftlichen Untersuchungen der letzten Jahre zeigt sich, dass einzelne Produkte hinsichtlich ihrer P-Verfügbarkeit und Qualität deutlich verbessert wurden. Aufgrund der ständigen Veränderungen der Produkte kann allerdings in den meisten Fällen kein direkter Vergleich vorgenommen werden. Jede Untersuchung einer neuen Produktcharge stellt eine Momentaufnahme dar, alle zusammen können lediglich einen Trend aufzeigen. Besonders das

AshDec- und das Seaborne Produkt zeigen bei der P-Düngewirkung ein großes Potenzial, zukünftig großflächig als Düngemittel Verwendung zu finden. Die chemisch vollaufgeschlossene Klärschlammmasche zeigt eine Wirkung hinsichtlich der P-Aufnahme zwischen Minimum-Variante und AshDec Produkt. Das AshDec Verfahren zeigt, dass aus einer Rohasche mit mittlerer P-Verfügbarkeit durch die geeigneten Zusätze und Behandlungsschritte ein P-Düngemittel aus Klärschlammassen hergestellt werden kann, dass auf hohem Niveau mit konventionellen mineralischen P-Düngemitteln bezüglich der P-Aufnahme konkurrieren kann. Ob dies auch unter Praxisbedingungen gilt, ist in mehrjährigen Feldversuchen zu untersuchen.

Das Mephrec Produkt kann im Gefäßversuch nicht überzeugen und erreicht nur P-Aufnahmen auf dem Niveau der unbehandelten Rohaschen (Mono- und Mitverbrennung).

Eine abschließende Produktbewertung kann durch die Gegenüberstellung der Löslichkeit, der P-Effizienz und der Produktpreise vorgenommen werden. Die unbehandelten Klärschlammassen (Minimum und Maximum) können hierbei vernachlässigt werden, weil diese beiden Produkte hinsichtlich ihrer P-Löslichkeit und der P-Aufnahme wenig konkurrenzfähig gegenüber aufgeschlossenen mineralischen P-Düngemitteln, wie beispielsweise Superphosphaten sind und nur zur vergleichenden Bewertung innerhalb der Versuche gedient haben.

Beim Vergleich der Produkte hinsichtlich ihrer Löslichkeit und Düngewirkung ergibt sich für die untersuchten Düngemittel die in Tabelle 6 dargestellte Reihenfolge. Unter Einbeziehung des aktuellen Herstellungspreises liegt das AshDec Produkt im Bezug zur P-Aufnahme und Nachhaltigkeit vor allen anderen Produkten. Auch die Nachhaltigkeit des Herstellungsprozesses kann überzeugen, da in einem derart komplexen Verfahren die Prozessenergie durch die Mono-verbrennung erzeugt werden kann und die Abwärme von anderen Industriezweigen nutzbar ist (Scheidig, 2012). Aufgrund der hohen P-Düngewirkung und einem hohen Anteil in Wasser und Neutralammoncitrat löslichem P kann das Seaborne Produkt hinter dem AshDec Produkt eingeordnet werden. Allerdings sind die Herstellungskosten mit 12 Euro/kg Phosphat vergleichsweise hoch. Die vollaufgeschlossene Klärschlammmasche zeigt eine sehr hohe P-Löslichkeit und eine mittlere P-Aufnahme durch die Pflanzen. Die Herstellungskosten von aufgeschlossenen Klärschlammassen sind konkurrenzfähig gegenüber den anderen untersuchten Produkten. Allerdings schränkt der teerähnliche klebrige und zähe Zustand die Verwendbarkeit ein. Das Mephrecprodukt konnte eine ähnlich hohe P-Aufnahme wie die mineralische Kontrollvariante erzielen, allerdings weist dieses Produkt nur eine sehr geringe Löslichkeit in Wasser und Wasser und Neutralammoncitrat auf (Tabelle 3).

Aus Sicht der Nachhaltigkeit können alle Produkte auf unterschiedliche Weise zur Schließung von P-Kreisläufen und des Klärschlammrecyclings beitragen.

Allerdings sind die untersuchten Recyclingdüngemittel aus Sicht des Produktpreises gegenüber einem Triple-superphosphat (TSP) zurzeit nur begrenzt konkurrenzfähig (Tabelle 6).

Tabelle 6

Ranking der untersuchten Produkte (Jung et al., 2003; Pinnekamp et al. 2011; Adam und Simon, 2010 und Agrarmarkt NRW, 2012)

Platzierung	Produkt	Produkt-preis [Euro/kg P]	P-Effizienz [%]	WNA Löslichkeit [%]	Wasser-löslich-keit [%]
1	AshDec	1,80 - 2,30	132	81	1
2	Seaborne	12	151	95	16
3	A KSA	1,20 - 4,40	123	86	91
4	Mephrec	unbekannt	114	21	< 1
	TSP	2,55	-	> 80	> 80

In Deutschland und anderen EU-Staaten wird eine Verringerung der direkten landwirtschaftlichen Verwertung von Klärschlamm empfohlen. Deshalb sind zukünftig alternative Verwertungswege für Klärschlamm anzustreben (SRU, 2007; Schipper et al. 2004). Eine Möglichkeit zur Klärschlammverwertung stellt die Monoverbrennung mit anschließender thermischer Aufbereitung der Klärschlammassen dar. Die Möglichkeiten einzelner Verfahren hinsichtlich der P-Düngewirkung (P-Aufnahme und Ertrag) sind insgesamt als positiv zu bewerten.

Durch die Novellierung der Klärschlammverordnung mit Einführung eines Qualitätssicherungssystems für Klärschlamm werden die Kosten für die konventionelle Klärschlammverwertung steigen. Eine Monoverbrennung wird im Verhältnis hierzu günstiger (Wiechmann, 2012). Die Einführung der Deponieverordnung 2005 führte zu einer erhöhten thermischen Verwertung von Klärschlamm in Mitverbrennungsanlagen (DepV, 2002).

Zukünftig müssen die Aschen aufbereitet werden, um die P-Gehalte zu erhöhen und vor allem die Löslichkeit zu verbessern. Wie diese und andere Untersuchungen gezeigt haben, muss vor allem die Wasser und Neutralammoniumlöslichkeit in Zukunft stärker beachtet und verbessert werden.

Durch diese Form der Phosphatrückgewinnung können an jedem Standort mit Klärschlammabfall Phosphatdüngemittel gewonnen werden. Dies mindert Abhängigkeiten von wenigen weltweiten Phosphatkonzentrationen und garantiert eine nachhaltige, regionale Versorgung mit P-Düngemitteln.

Danksagung

An dieser Stelle ist der LUFA Nord-West und den Mitarbeitern des Instituts für Pflanzenbau und Bodenkunde des Julius-Kühn-Instituts für die Anlage und Pflege des Gefäßversuches (Dörthe Stolte, Petra Schwabe, Melanie Salewski, Inge Bargmann) und für die Durchführung der Analytik (Birgit Pohl) zu danken. Des Weiteren ist Herrn Dr. Adam (BAM Berlin) für die Herstellung von Versuchsmustern und die Analytik einiger Aschen sowie die sehr gute Zusammenarbeit zu danken.

Literatur

- Adam C (2012) Schriftliche Mitteilung über den Gesamtnährstoff und Schwermetallgehalt der untersuchten Düngemittel – Bundesanstalt für Materialforschung und -prüfung, Berlin
- Adam C, Simon F-G (2010) Phosphorrückgewinnung im Bereich der kommunalen Abwasserreinigung [online]. Zu finden in <http://processnet.org/processnet_media/Neumann/FA_AuW/Vortrag+Adam.pdf> [zitiert am 09.07.2013]
- Adam C, Schick J, Kratz S, Schnug E (2006) Optionen der landwirtschaftlichen Verwertung von P aus der Abwasserreinigung: Dünger aus thermisch-chemisch behandelten Klärschlammassen, Vortrag zum SUSAN Projekt
- Agrarmarkt NRW (2012) Düngemittelpreise : Stand 16.07.2012 [online]. Zu finden in <<http://www.agrarmarkt-nrw.de/duengermarkt.shtml>> [zitiert am 23.07.2012]
- Bayerle N (2011) Schriftliche Mitteilung über die Inhaltsstoffe und Herstellung des zu untersuchenden Düngers Seaborne - Abwasser- und Straßenreinigungsbetrieb Stadt Gifhorn (ASG)
- BGR - Bundesanstalt für Geowissenschaften und Rohstoffe (2007) Rohstoffwirtschaftliche Steckbriefe für Metall- und Nichtmetallrohstoffe [online]. Zu finden in <<http://www.bmwi.de/BMWi/Redaktion/PDF/P-R/rohstoffwirtschaftliche-steckbriefe.property=pdf,bereich=bmwi,sprache=de,rwb=true.pdf>> [zitiert am 09.07.2013]
- BMELV - Bundesministerium für Ernährung, Landwirtschaft und Verbraucherschutz (2011) Nachhaltiger Umgang mit der begrenzten Ressource Phosphor durch Recycling und Erhöhung der Phosphoreffizienz der Düngung : verabschiedet am 22.02.2011 [online]. Zu finden in <http://www.bmeli.de/SharedDocs/Downloads/Ministerium/Beiraete/Duenungsfragen/Phosphor.pdf?__blob=publicationFile> [zitiert am 09.07.2013]
- Breuer J (2011) Schriftliche Mitteilung über die Inhaltsstoffe und Herstellung des zu untersuchenden Düngers „Maximum“ – Reterra Service GmbH
- Cabeza Perez R, Steingrobe B, Römer W, Claassen N (2011a) Effectiveness of recycled P products as P fertilizers, as evaluated in pot experiments. Nutr Cycl Agroecosyst 91:173-184
- Cabeza Perez R, Steingrobe B, Claassen N (2011b) Phosphorrecycling : Charakterisierung der Düngewirkung recycelter Phosphatdünger in Feld- und Gefäßversuchen : Abschlussbericht. Göttingen, 50 p
- Chien SH, Sale PWG, Friesen DK (1990) A discussion of the methods for comparing the relative effectiveness of phosphate fertilizers varying in solubility. Fert Res 24:149-157
- DepV (2002) Verordnung über Deponien und Langzeitlager (Deponieverordnung) vom 24. Juli 2002 (BGBl. I S. 2807), die zuletzt durch Artikel 2 der Verordnung vom 13. Dezember 2006 (BGBl. I S. 2860) geändert worden ist [online]. Zu finden in <<http://www.gesetze-im-internet.de/bundesrecht/depv/gesamt.pdf>> [zitiert am 09.07.2013]
- DWA - Deutsche Vereinigung für Wasserwirtschaft, Abwasser und Abfall (2009) Entwurf zum Merkblatt DWA-M-387 : thermische Behandlung von Klärschlamm, Mitverbrennung. In: Wiechmann B (2012) Klärschlammbehandlung in der Bundesrepublik Deutschland. Bonn : Umweltbundesamt, pp 9-56
- Elsner H (2008) Stand der Phosphatreserven weltweit [online]. Zu finden in <http://www.jki.bund.de/fileadmin/dam_uploads/_koordinierend/bs_nahrstofftage/phosphor_landwirtschaft/2_Elsner.pdf> [zitiert am 09.07.2013]
- EU-Kommission (2003) EU-Methode 3.1.6 ABL. L304 vom 21.11.2003. In: Verordnung (EU) Nr. 223/2012 der Kommission vom 14. März 2012 zur Änderung der Verordnung (EG) Nr. 2003/2003 des Europäischen Parlaments und des Rates über Düngemittel zwecks Anpassung ihrer Anhänge I und IV an den technischen Fortschritt [online]. Zu finden in <<http://eur-lex.europa.eu/LexUriServ/LexUriServ.do?uri=OJ:L:2012:075:0012:0023:DE:PDF>> [zitiert am 16.07.2013]
- Franz M (2008) Phosphate fertilizer from sewage sludge ash (SSA). Waste Manag 28(10):1809-1818
- Groß D (2011) Schriftliche Mitteilung über die Inhaltsstoffe und Herstellung des zu untersuchenden Düngers „Minimum“ - Bundesstadt Bonn Zentrale Schlammbehandlung und Klärschlammverbrennung

- Jung R, Halsch E, Anzer T, Faulstich M (2003) Potential der Phosphorrückgewinnung aus Kläranlagen, Gewässerschutz Wasser Abwasser 190:52-53
- Kördel W, Herrchen M, Müller J, Schnug E, Kratz S, Fleckenstein J, Saring JT, Haamann H, Reinhold (2007) Begrenzung von Schadstoffeinträgen bei Bewirtschaftungsmaßnahmen in der Landwirtschaft bei Düngung und Abfallverwertung [online]. Zu finden in <<http://opus.kobv.de/zlb/volltexte/2007/1338/pdf/Schadstoffeintraege.pdf>> [zitiert am 09.07.2013]
- Kratz S, Schnug E (2008) Agronomische Bewertung von Phosphatdüngern [online]. Zu finden in <http://www.jki.bund.de/fileadmin/dam_uploads/_koordinierend_bs_nahrstofftage/phosphor_landwirtschaft/15_Kratz.pdf> [zitiert am 11.07.2013]
- Mallon J (2011) Schriftliche Mitteilung über die Inhaltsstoffe und Herstellung des zu untersuchenden Düngers Mephrec – Ingitec GmbH, Ingenieurbüro für Gießereitechnik GmbH, Leipzig
- Perez R, Steingrobe B, Claassen N (2011) Phosphorrecycling – Charakterisierung der Düngewirkung recycelter Phosphatdünger im Gefäß- und Feldversuch. Wissenschaftlicher Abschlussbericht. Förderkennzeichen 02WA0786
- Petzet S, Cornel P (2011) Towards a complete recycling of phosphorus in wastewater treatment : options in Germany. Water Sci Technol 64(1):25-39
- Pinnekamp J, Weinfurtner KH, Sartorius C, Gäth S (2011) Verbundvorhaben „Phosphorrecycling – ökologische und wirtschaftliche Bewertung verschiedener Verfahren und Entwicklung eines strategischen Verwertungskonzeptes für Deutschland“ (PhoBe) : gemeinsamer Schlussbericht der Teilvorhaben. Aachen, 358 p
- Pinnekamp J, Montag D, Gethke K, Goebel S, Herbst H (2007) Rückgewinnung eines schadstofffreien, mineralischen Kombinationsdüngers „Magnesiumammoniumphosphat – MPA“ aus Abwasser und Klärschlamm : Schwerpunktstudie. Aachen, 271 p, UBA-FB 01,9
- Scheidig K (2012) Zur Ressourcen-Effizienz beim P-Recycling, UmweltMagazin 09:36-37
- Schick J (2010) Untersuchungen zu P-Düngewirkung und Schwermetallgehalten thermochemisch behandelter Klärschlammaschen, Braunschweig : Univ, 179 p
- Schipper WK, Klapwijk A, Potjer B, Rulkens WH, Temmink BG, Kiestra FDG, Lijmbach ACM (2004) Phosphate recycling in the phosphorus industry. Phosphorus Res Bull 15:47-51
- Simons J (2008) Eignung nährstoffreicher Substrate aus zentraler und dezentraler Abwasserbehandlung als Düngemittel. Bonn : Univ, 149 p
- SRU - Sachverständigenrat für Umweltfragen (2007) Arzneimittel in der Umwelt. Berlin : SRU, 51 p, Stellungnahme / SRU 12
- Suntheim L, Dittrich B (2000) Untersuchungen zur Phosphat-Düngewirkung von Klärschlären und Komposten, Alva-Jahrestagung : Bericht 2000:33-34
- UBA- Umweltbundesamt (2011) Klärschlammensorgung : Stand 2011 [online]. Zu finden in <<http://www.umweltbundesamt-daten-zur-umwelt.de/umweltdaten/public/theme.do?nodeId=2307>> [zitiert am 25.05.2012]
- US Geological Survey (2009) Mineral Commodity Summaries [online]. Zu finden in <<http://minerals.usgs.gov/minerals/pubs/mcs/2009/mcs2009.pdf>> [zitiert am 16.07.2013]
- VDLUFA (2011) Methodenbuch : Band 7: Umweltanalytik. Darmstadt : VDLUFA-Verl
- VDLUFA (2008a) Methodenbuch : Band 2.1: Die Untersuchung von Düngemitteln. Darmstadt : VDLUFA-Verl, Ergänzungslief 1-4
- VDLUFA (2008b) Methodenbuch : Band 2.2: Die Untersuchung von Sekundärrohstoffdüngern, Kultursubstraten und Bodenhilfsstoffen. Darmstadt : VDLUFA-Verl, Ergänzungslief 1
- VDLUFA (1995) Wasser- und ammonicitratlösliches Phosphat und Mineralsäurelösliches Phosphat. In: Methodenbuch VDLUFA. Darmstadt : VDLUFA-Verl, Band II.1.4.1.4
- Weigand H, Bertau M, Hübner W, Bohndick F, Bruckerte A (2013) RecoPhos: full-scale fertilizer production from sewage sludge ash. Waste Manag 33(3):540-544
- Wiechmann B (2012) Klärschlammensorgung in der Bundesrepublik Deutschland, Bonn : Umweltbundesamt, 114 p

Verweildauer von Mastputen verschiedener Herkünfte im Bereich von Tränke- und Fütterungseinrichtungen

Jutta Berk*, Christoph Schumacher**, Maria-Elisabeth Krautwald-Junghanns**, Madeleine Martin*** und Thomas Bartels**

Zusammenfassung

Im Rahmen der Studie wurde die Verweildauer von zwei Mastputen-Herkünften in den Bereichen um die Tränke- und Fütterungseinrichtungen ermittelt, um Daten über die Aufenthaltszeiten der Tiere in diesen Stallbereichen mit tendenziell hoher Substratfeuchte zu ermitteln. In zwei baugleichen Stallabteilen wurden 45 Puten der Herkunft British United Turkey (B.U.T.) 6 bzw. 57 Puten der Herkunft Grelier Bronzés 708 beiderlei Geschlechts als Eintagsküken eingestallt. Die Tierhaltung erfolgte über 18 (Hennen) bzw. 22 Wochen (Hähne) nach den Richtlinien der Verordnung (EG) Nr. 889/2008. Den Tieren stand neben der Stallfläche ab der sechsten Lebenswoche (LW) ein Außenklimabereich (AKB) sowie ab der 10. LW ein Auslauf zur Verfügung. Zur Verhaltensdokumentation wurden im Stallinnenraum von der dritten bis zur 22. LW über 24 h Videoaufnahmen durchgeführt. Es konnte eine signifikante Korrelation zwischen der Aufenthaltsdauer in den Konsumzonen und dem Alter der Puten festgestellt werden. Die Putenherkünfte unterschieden sich nicht signifikant in den Verweilzeiten. Die Prävalenz von Pododermatitiden stieg bei beiden Herkünften mit zunehmendem Alter an. Der insbesondere am Ende der Mast dokumentierte lange Aufenthalt der Puten in den Konsumzonen kann als förderlich für die Genese von Pododermatitiden angesehen werden. Die Verweildauern nahmen dabei herkunftsunabhängig und trotz Zugangsmöglichkeiten zu AKB und Auslauf auch nach Erweiterung des Platzangebotes durch die Schlachtung der Hennen stetig zu.

Schlüsselwörter: *Meleagris gallopavo, Verhalten, Aufenthaltsdauer, Konsumzone, Substratfeuchte, Pododermatitis*

Abstract

Time spent by fattening turkeys of different strains in feeding and drinking areas

The present study investigated the time fattening turkeys of two strains spend around drinkers and feeders in order to obtain information on the impact of the duration of stay in these areas with high litter moisture. As part of the study, 45 British United Turkeys (B.U.T.) 6 and 57 Grelier Bronzés 708 turkey poulets of both sexes were kept in two identical turkey compartments. Animals were kept for 18 weeks (hens) and for 22 weeks (toms) following the Commission Regulation (EC) No 889/2008. At the age of six weeks, turkeys had additional access to a veranda (roofed outside run) and at the age of 10 weeks to an additional free-range area. Twenty-four-hour video recordings of the interior of the stables were taken from third to 22nd weeks of age for analysis of behaviour. A significant correlation between duration of stay around drinkers and feeders and age of the turkeys was found. There was no significant difference in duration of stay between lines. The number of turkeys with foot pad dermatitis (FPD) increased with age. Long durations of stay in areas within high litter moisture around drinkers and feeders, especially at the end of the fattening period, are suggested to promote the development of FPD. The duration of stay increased irrespective from genetic line, access to veranda and free-range area and was not affected by decreased stocking density after slaughtering of the hens.

Keywords: *Meleagris gallopavo, behaviour, duration of stay, food and water intake zone, litter moisture, foot pad dermatitis*

* Friedrich-Loeffler-Institut, Institut für Tierschutz und Tierhaltung,
Dörnbergstraße 25/27, 29223 Celle

** Universität Leipzig, Veterinärmedizinische Fakultät, Klinik für Vögel und
Reptilien, An den Tierkliniken 17, 04103 Leipzig

*** Hessisches Ministerium für Umwelt, Energie, Landwirtschaft und
Verbraucherschutz, Mainzer Straße 80, 65189 Wiesbaden

Kontakt: jutta.berk@fli.bund.de

1 Einleitung

Kontaktdermatitiden, neben Brusthautalterationen insbesondere in Form pathologischer Veränderungen der Metatarsal- und Digitalballen, stellen sowohl aus ökonomischer Sicht als auch unter Tierschutzaspekten nach wie vor ein nicht zu vernachlässigendes Krankheitsgeschehen in der konventionellen Mastputenhaltung dar (Wu und Hocking, 2011; Allain et al., 2013; Hocking und Wu, 2013). Ballenveränderungen in Form von Hyperkeratosen, Epithelnekrosen bis hin zu Ballenläsionen können in der Praxis unter suboptimalen Haltungsbedingungen bereits in der Aufzuchtphase in Erscheinung treten (Bergmann et al., 2013). Ergebnisse einer bundesweiten Feldstudie zeigten, dass die Prävalenz und der Schweregrad von Ballenveränderungen im Verlauf der Mastphase tendenziell zunahmen, wobei die Füße von Putenhennen in der Regel stärker als die der Putenhähne betroffen waren. Schlachtkörperuntersuchungen von zuvor klinisch untersuchten Herden verdeutlichten die hohe Prävalenz von Fußballenentzündungen bei Mastputen. Lediglich 0,6 % der Hennen sowie 2,1 % der Hähne wiesen zum Zeitpunkt der Schlachtung klinisch unauffällige Fußballen auf (Krautwald-Junghanns et al., 2011).

Dem Feuchtigkeitsgehalt des Einstreusubstrates wird eine wesentliche Rolle in der Ätiologie von klinischen Ballenveränderungen zugeschrieben (Kamphues et al., 2011). Die

Areale mit der aufgrund von erhöhtem Kotanfall sowie Spritzwasser tendenziell höchsten Substratefeuchte befinden sich im Stall in der Regel in der unmittelbaren Umgebung der Tränke- und Futtereinrichtungen, nachfolgend als „Konsumzone“ bezeichnet (vgl. Schumacher et al., 2012). Mit zunehmendem Alter ist bei Mastputen generell eine Abnahme der Aktivität zu verzeichnen (Marchewka et al., 2013). Ungeklärt ist jedoch bisher, wie lange sich Puten unterschiedlicher Altersstadien unter den Rahmenbedingungen der ökologischen Tierhaltung täglich in den Konsumzonen aufhalten. Vor diesem Hintergrund wurden in der vorliegenden Studie die Verweilzeiten von Puten unterschiedlicher Altersstufen und Herkünfte im Bereich der Futter- und Tränkeeinrichtungen dokumentiert und ausgewertet.

2 Tiere, Material und Methoden

2.1 Tiere und Haltungsbedingungen

Im Rahmen der Untersuchung wurden jeweils eine gemischtschlechtliche Untersuchungsgruppe der Herkunft British United Turkey (B.U.T.) 6 ($n = 45$ Tiere [21 ♂♂, 24 ♀♀]) sowie der Herkunft Grelier Bronzés 708 ($n = 57$ Tiere [28 ♂♂, 29 ♀♀]) als Eintagsküken über einen Zeitraum von insgesamt 18 (Hennen) bzw. 22 Wochen (Hähne) eingestellt. Im Gegensatz zur Putenherkunft B.U.T. 6, einer schnell wachsenden,



Puten der Herkunft British United Turkeys 6 (B.U.T. 6) [oben] und Grelier Bronzés 708 (G. B. 708) [unten] im Stall und im Grünauslauf

schweren Zerlegepute, die üblicherweise in Deutschland gemästet wird, handelt es sich bei der Grelier Bronzés-Pute um eine mittelschwere Herkunft. Bezogen auf diese differenten Mastendgewichte ergeben sich die unterschiedlichen Tierzahlen pro Herkunft und Abteil, da die Besatzdichte üblicherweise in kg pro m² angegeben wird. In Frankreich werden Bronzeputen der Herkunft Grelier Bronzés 708 unter anderem in Betrieben gehalten, die Putenerzeugnisse unter dem französischen Gütesiegel „Label Rouge“ vermarkten. Die Tiere waren gemäß Art. 18 (1) der Verordnung (EG) Nr. 889/2008 keiner prophylaktischen Schnabelbehandlung unterzogen worden. Auch die Haltungsbedingungen entsprachen den Anforderungen der Verordnung (EG) Nr. 889/2008. Zur Verfügung standen pro Gruppe ein Stallabteil mit einer nutzbaren Grundfläche von 18 m², ein Außenklimabereich (AKB, Grundfläche 12 m²) sowie eine Grünauslauffläche (250 m²).

Als Einstreusubstrat wurden in der Aufzuchtphase handelsübliche Weichholzspäne verwendet; ab der sechsten Lebenswoche (LW) wurde praxisüblich mit gehäckseltem Stroh nachgestreut. Die Aufzucht erfolgte in den ersten

Tagen in Kükenringen, die anfänglich täglich vergrößert und nach neun Tagen entfernt wurden. In allen Abteilen wurde jeweils ein hochdruckgepresster Strohballen als erhöhte Sitzmöglichkeit sowie als Beschäftigungsmaterial angeboten. Der AKB wurde ebenfalls mit Häckselstroh eingestreut. In der sechsten LW wurde den Tieren die ungehinderte Nutzung des AKB ermöglicht und ab der zehnten LW auch ganztagig uneingeschränkter Zugang zum Auslauf gewährt. Die Fütterung erfolgte ausschließlich mit Futtermitteln, die den Demeter-Erzeugerrichtlinien (Demeter, 2009) entsprachen. Angaben zu den analytischen Bestandteilen und Gehalten der verwendeten Futtermittel finden sich in Tabelle 1. Futter und Trinkwasser wurde ad libitum in der Mitte des Stallinnenraumes in frei, jeweils auf Rückenhöhe der Puten, aufgehängten Rundtrögen bzw. -tränken angeboten. Den Puten stand für die Futter- bzw. Trinkwasseraufnahme mindestens 0,66 cm nutzbare Trogseite bzw. Tränkenrand pro kg Lebendmasse zur Verfügung. Alle Tiere hatten zusätzlich ab Versuchsbeginn die Möglichkeit zur freien Aufnahme von Magengrit (Körnung 2 bis 8 mm). Das Lichtprogramm begann praxisüblich mit einer Helligkeit von ca. 100 Lux und 20 h Lichtdauer am Tag der Einstallung und wurde bis zum Beginn der dritten LW kontinuierlich auf 20 Lux und 16 h Lichtdauer reduziert. Die relative Luftfeuchtigkeit variierte in der Mastphase zwischen 50 % und 80 % und entsprach damit den für die Mastputenhaltung empfohlenen Praxiswerten (Berk, 2013a). Die Ausstellung der Putenhennen erfolgte in der 18. LW, während die Putenhähne in der 22. LW geschlachtet wurden. Angaben zur Entwicklung der Lebendmasse sowie zu den Schlachtgewichten finden sich in Tabelle 2.

Tabelle 1

Analytische Bestandteile und Gehalte der verwendeten Alleinfuttermittel für Puten laut Herstellerdeklaration

	1.-6. LW	7.-12. LW	13.-18. LW	19.-22. LW
ME/GE [MJ/kg]	11,20	10,80	10,80	11,20
Rohprotein [%]	21,50	20,50	19,60	18,00
Rohfett [%]	7,40	6,10	5,70	5,30
Rohfaser [%]	5,10	5,80	6,20	6,30
Rohasche [%]	9,40	9,50	9,30	6,60
Calcium [%]	1,60	1,60	1,60	1,00
Phosphor [%]	1,06	0,95	1,02	0,90
Natrium [%]	0,15	0,18	0,14	0,14
Methionin [%]	0,39	0,36	0,32	0,30
Lysin [%]	1,11	1,08	1,04	0,86

2.2 Erfassung der Verweildauer

Die Videoaufzeichnungen erfolgten mittels einer Tag/Nacht-Spezialkamera (VTC-E220IRP, SANTEC Video Technologies) im Stallinnenraum über 24 h. Dabei wurden alle Futter- und Tränkeeinrichtungen im Abteil erfasst. Die Aufzeichnungen wurden mittels Time-Sampling-Methode ausgewertet (vgl. Martin und Bateson, 2007). Da laut Wartemann (2005) der

Tabelle 2

Tierzahl, Geschlechtsverteilung, Verluste und Entwicklung der Lebendmasse sowie Schlachtgewichte

Alter [d]	Tierzahl [n]		Verluste [n]		Lebendmasse [kg]			
					Hennen		Hähne	
	B.U.T. 6	G B 708	B.U.T. 6	G B 708	B.U.T. 6	G B 708	B.U.T. 6	G B 708
1	45 (24 ♀; 21 ♂)	57 (29 ♀; 28 ♂)	0	3	0,06 ± 0,01	0,05 ± 0,01	0,06 ± 0,01	0,06 ± 0,01
36	45 (24 ♀; 21 ♂)	54 (28 ♀; 26 ♂)	0	0	1,28 ± 0,10	1,08 ± 0,11	1,47 ± 0,19	1,33 ± 0,14
78	44 (23 ♀; 21 ♂)	54 (28 ♀; 26 ♂)	1	0	6,82 ± 0,54	5,78 ± 0,55	7,95 ± 1,06	6,82 ± 0,69
123	44 (23 ♀; 21 ♂)	39 (14 ♀; 25 ♂)	0	1	12,83 ± 0,85 (Schlachtgewicht)	10,65 ± 0,72 (Schlachtgewicht)	16,80 ± 1,86	13,85 ± 0,93
148	20 (20 ♂)	25 (25 ♂)	1	0	-	-	21,50 ± 2,55 (Schlachtgewicht)	18,12 ± 1,28 (Schlachtgewicht)

Einfluss des Messtages innerhalb einer Woche zu vernachlässigen ist, wurden die Auswertungen der Videoaufzeichnungen von der 3. bis zur 22. LW auf einen 24 h-Tag pro Woche beschränkt. Bei einem Zeitintervall von 20 min ergeben sich somit für jeden der 20 Untersuchungstage 72 Erfassungszeitpunkte, in denen insbesondere dokumentiert wurde, wie viele Tiere (sitzend/ruhend oder stehend) sich in unmittelbarer Nähe zu Futter- und Tränkeeinrichtungen befanden. Dabei wurde als „sitzend/ruhend“ protokolliert, wenn ein Tier mit der Körperunterseite Kontakt zum Untergrund hatte, unabhängig davon, ob das Tier nur ruhte oder parallel aktive Verhaltensweisen (wie z. B. Komforthandlungen, Nahrungsaufnahme, etc.) zeigte. Da sich die Kotabsatzzone und damit die Region erhöhter Substratfeuchte alters- und körpergrößenbedingt im Verlauf der Untersuchung vergrößerte, wurde als Auswertungsareal eine kreisförmige Fläche gewählt, deren Radius annähernd der Distanz zwischen Trog- bzw. Tränkenzentrum und Schwanzspitze eines fressenden bzw. trinkenden Tieres entsprach.

2.3 Messung der Substratfeuchte

Für die Messung der jeweiligen Substratfeuchte wurde die Einstreu vor Versuchsbeginn sowie in der 6., 12., 18. und 22. LW als Sammelprobe in gleichmäßigem Abstand an sechs Entnahmestellen pro Abteil (Stalldiagonale: n = 4, Stallängsseite: n = 2) sowie vier Entnahmestellen im AKB (AKB-Längsseite: n = 3, AKB-Breitseite: n = 1) gesammelt. Anschließend wurde das pro Abteil entnommene Einstreusubstrat gründlich gemischt und Proben von jeweils ca. 10 g entnommen. Die Messung der Substratfeuchte erfolgte thermogravimetrisch nach dem Darr-Verfahren, d. h. die Einstreuproben wurden bis zur Gewichtskonstanz bei 105 °C getrocknet.

2.4 Beurteilung der Fußballen

Die Beurteilung der Fußballen aller Tiere erfolgte zeitgleich mit der Bestimmung der Lebendmasse (vgl. Tabelle 2), d. h. am Tag der Einstallung sowie am 36., 78., 123. und 148. Lebenstag nach einem vereinfachten Scoring-System (Berk, 2009a). Dabei entsprachen Fußballen ohne Läsionen einem Ausprägungsgrad 0, Hyperkeratosen einschließlich oberflächlicher Ballenveränderungen wurden als Ausprägungsgrad 1 und tiefergreifende Pododermatiden als Ausprägungsgrad 2 eingestuft.

3 Statistische Auswertung

Die statistische Analyse der Daten erfolgte mit SigmaPlot (Systat Software, San José, Version 11.0). Die Verweildauer pro Tier und Tag wurde aus dem Anteil der Tiere, die sich durchschnittlich über 24 h an der jeweiligen Versorgungseinrichtung befanden, abgeleitet. Hierfür wurde der 24 h-Mittelwert des Anteiles der Tiere in den Konsumzonen an der Grundgesamtheit berechnet und davon die durchschnittliche Verweildauer in Stunden abgeleitet. Für ausgewählte Merkmale wurde der Spearman'sche Rangkorrelationskoeffi-

zient berechnet, um zu prüfen, inwieweit diese miteinander korrelieren. Unterschiede zwischen den Gruppenmittelwerten der Lebendmassen der Untersuchungsgruppen wurden mit dem Holm-Sidak-Test (ANOVA) auf Signifikanz getestet. Für Signifikanzprüfungen hinsichtlich der Befunde der Sohlenballenbeurteilungen wurde der Kruskal-Wallis-Test verwendet.

4 Ergebnisse

4.1 Verweildauer in den Konsumzonen

Die Aufenthaltsdauer der Puten im Bereich der Konsumzonen entwickelte sich im Untersuchungsverlauf progressiv (Abbildung 1 und 2). Puten im Alter von 17 Tagen verbrachten durchschnittlich 2,3 h/Tag (B.U.T. 6) bzw. 2,5 h/Tag (Grelier Bronzés 708) in den Konsumzonen. In den folgenden Lebenswochen stieg die Verweildauer bis auf 4,4 h/Tag (B.U.T. 6, 37. LT) bzw. 4,0 h/Tag (Grelier Bronzés 708, 30. LT) an. Anschließend war ein Rückgang der Aufenthaltsdauer bis zum 51. LT auf 2,6 h/Tag (B.U.T. 6) bzw. 2,4 h/Tag (Grelier Bronzés 708) zu verzeichnen. Bis zum Alter von 72 Tagen kam es nachfolgend zu einer Ausdehnung der Verweildauer, wobei erstmals für beide Herkünfte Werte von mehr als 6 h/Tag in den Konsumzonen ermittelt wurden. Nachdem bis zum 86. LT erneut ein Anstieg der Aufenthaltsdauer zu verzeichnen war, folgte bis zum Alter von 128 Tagen (20. LW) eine mehr oder weniger deutliche Plateauphase mit einem Durchschnittswert von ca. 7,1 h (B.U.T. 6) bzw. 6,5 h (Grelier Bronzés 708). Ab der 20. LW, d.h. in der Endmastphase der Hähne nach Ausstellung der Hennen, belief sich die Verweildauer auf bis zu 12,8 h/Tag (B.U.T. 6) bzw. 11,0 h/Tag (Grelier Bronzés 708).

Zwischen dem Alter der Puten und der Aufenthaltsdauer in den Konsumzonen konnten bei den Herkünften signifikante Zusammenhänge nachgewiesen werden (B.U.T. 6: $r_s = 0,931$; $p < 0,001$; Grelier Bronzés 708: $r_s = 0,871$; $p < 0,001$), während sich die beiden Herkünfte nicht signifikant unterschieden ($p = 0,655$). Eine nach Futter- bzw. Tränkebereich gesonderte Auswertung der jeweiligen Verweilzeiten ergab, dass die Verweildauer im Tränkebereich während der Beobachtungszeit zunahm und nur geringen Schwankungen unterlag. Von anfänglichen 0,8 h/Tag im Alter von 17 Tagen (beide Herkünfte) verlängerte sich die Dauer bis zum 135. Tag auf 2,0 h/Tag (B.U.T. 6) bzw. 2,3 h/Tag (Grelier Bronzés 708). Erst ab dem 135. LT kam es zu einem deutlichen Anstieg der Verweildauer im Bereich der Tränken. In der Endmastphase wurden Aufenthalte von bis zu 6,1 h/Tag (B.U.T. 6) bzw. 5,4 h/Tag (Grelier Bronzés 708) festgestellt. Die Verweildauer im Futterbereich wies hingegen deutliche Schwankungen auf. Bei beiden Herkünften übertraf die Aufenthaltsdauer im Bereich der Futtertröge diejenige im engeren Umfeld der Tränken. So verbrachten bereits Putenkükten im Alter von 17 Tagen mit durchschnittlich 1,5 h/Tag (B.U.T. 6) bzw. 1,7 h/Tag (Grelier Bronzés 708) deutlich mehr Zeit im Bereich der Futtertröge als an den Tränken. Tendenziell war mit fortschreitendem Alter auch hier eine deutliche Zunahme der Verweildauer zu beobachten. Am Ende der Mastphase wurde eine

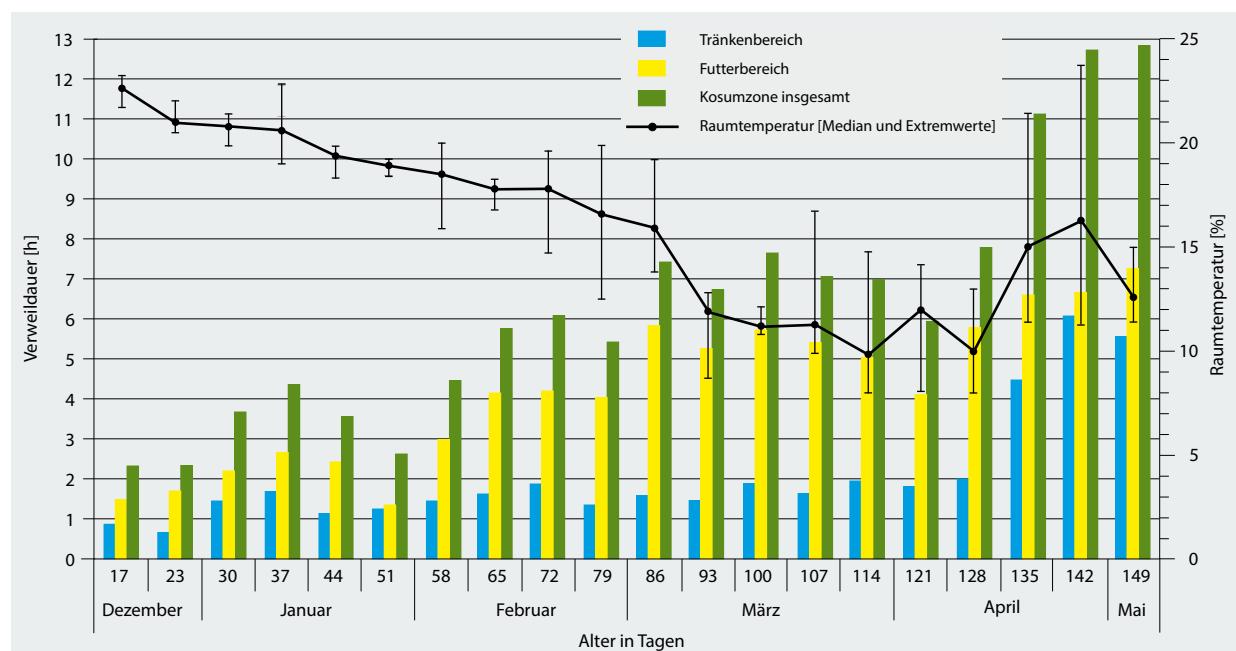


Abbildung 1

Durchschnittliche Verweildauer von Puten der Herkunft B.U.T. 6 im Bereich der Konsumzone in Relation zu Tieralter und Stalltemperatur

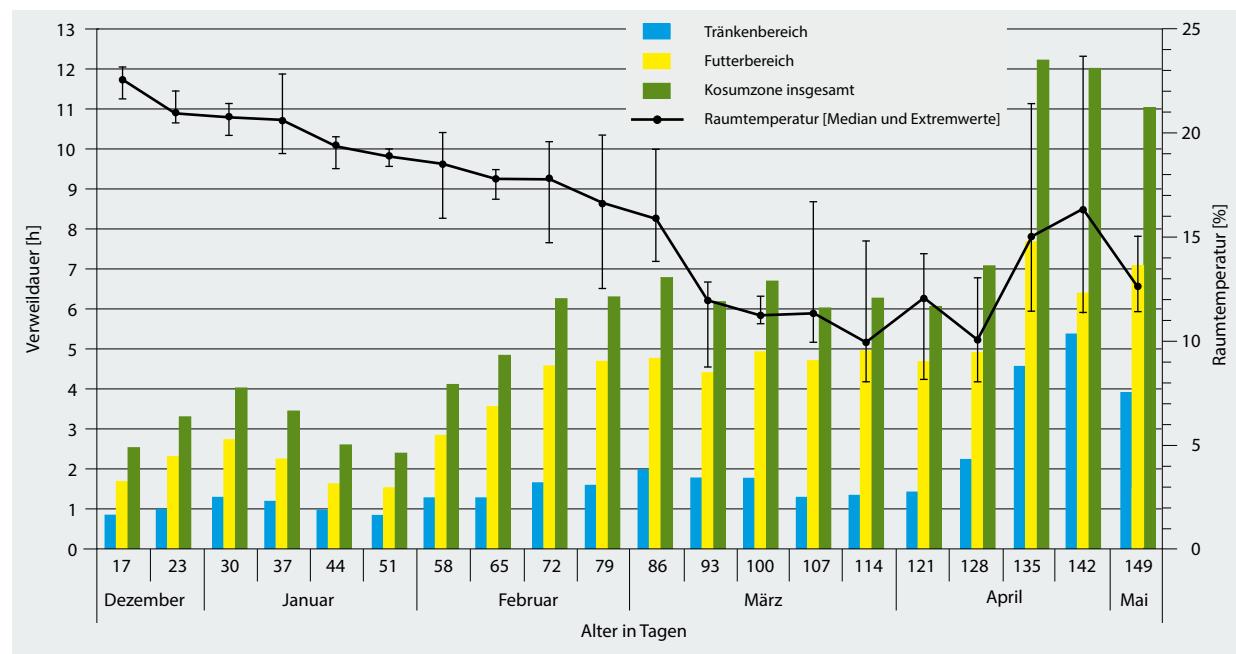


Abbildung 2

Durchschnittliche Verweildauer von Puten der Herkunft Grelier Bronzés 708 im Bereich der Konsumzone in Relation zu Tieralter und Stalltemperatur

Dauer von bis zu 7,3 h/Tag (B.U.T. 6) bzw. 7,7 h/Tag (Grelier Bronzés 708) dokumentiert. Es war weiterhin auffällig, dass die Puten beider Herkünfte mit zunehmendem Lebensalter signifikant häufiger sitzend im Bereich der Konsumzonen angetroffen wurden (B.U.T. 6: $r_s = 0,771$, $p < 0,001$; Grelier Bronzés 708: $r_s = 0,722$, $p < 0,001$). Darüber hinaus waren

Temperatureffekte auf die Verweildauer in der Konsumzone erkennbar, wobei eine klimatisch bedingte Erhöhung der Raumtemperatur tendenziell auch einen erhöhten Anteil sitzender Tiere in diesem Bereich zur Folge hatte. Im Gegenteil dazu nahm der prozentuale Anteil sitzender Puten bei niedrigeren Raumtemperaturen ab (vgl. Abbildung 3).

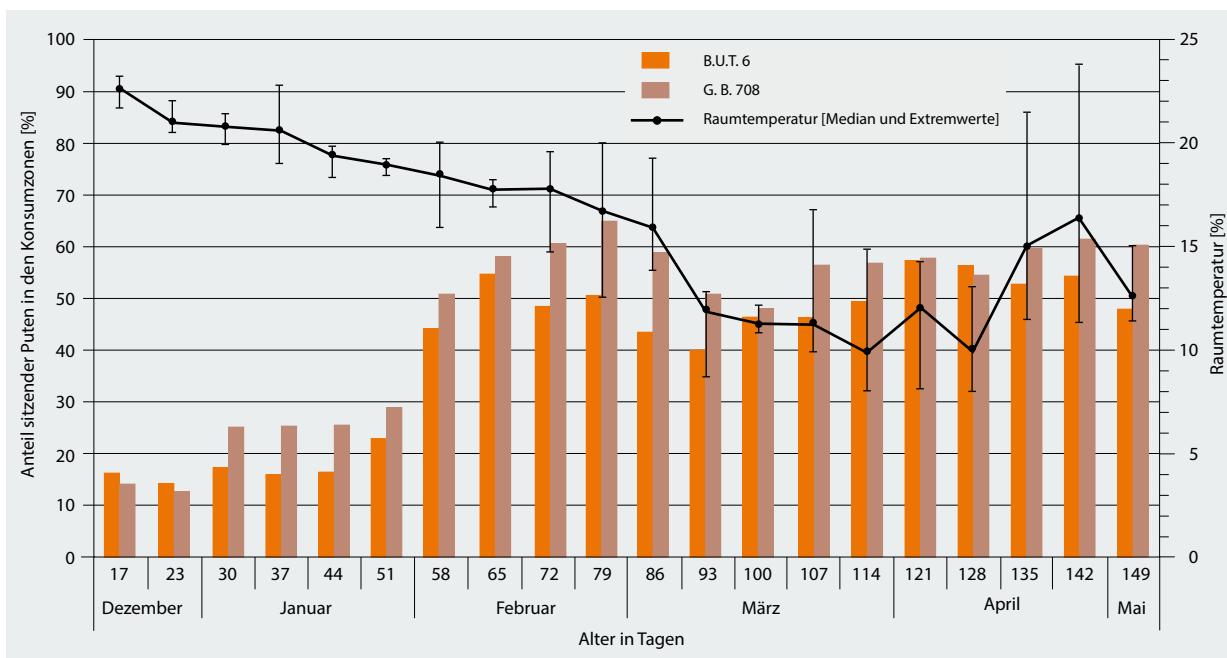


Abbildung 3

Prozentualer Anteil sitzender Puten im Bereich der Konsumzonen in Abhängigkeit von Tieralter, Herkunft und Stalltemperatur. B.U.T. 6: British United Turkeys; G. B. 708: Grelier Bronzés 708

4.2 Fußballenveränderungen und Substratfeuchte

Der Vergleich der Fußballenläsionen zwischen dem jeweils rechten bzw. linken Fuß ergab bei beiden Herkünften keine signifikanten Unterschiede hinsichtlich des Gesundheitsstatus der Metatarsalballen (B.U.T. 6: $p = 0,528$; Grelier Bronzés 708: $p = 0,850$). Die nachfolgend angegebenen Prozent-

werte beziehen sich daher jeweils auf die Befunderhebungen am rechten Fuß. Am Tag der Einstellung waren die Metatarsalballen aller Putenküken beider Herkünfte klinisch unauffällig (Abbildung 4). Im Alter von 36 Tagen zeigten sich bei beiden Gruppen bereits Fußballenveränderungen vom Ausprägungsgrad 1, d. h. Hyperkeratosen und oberflächliche

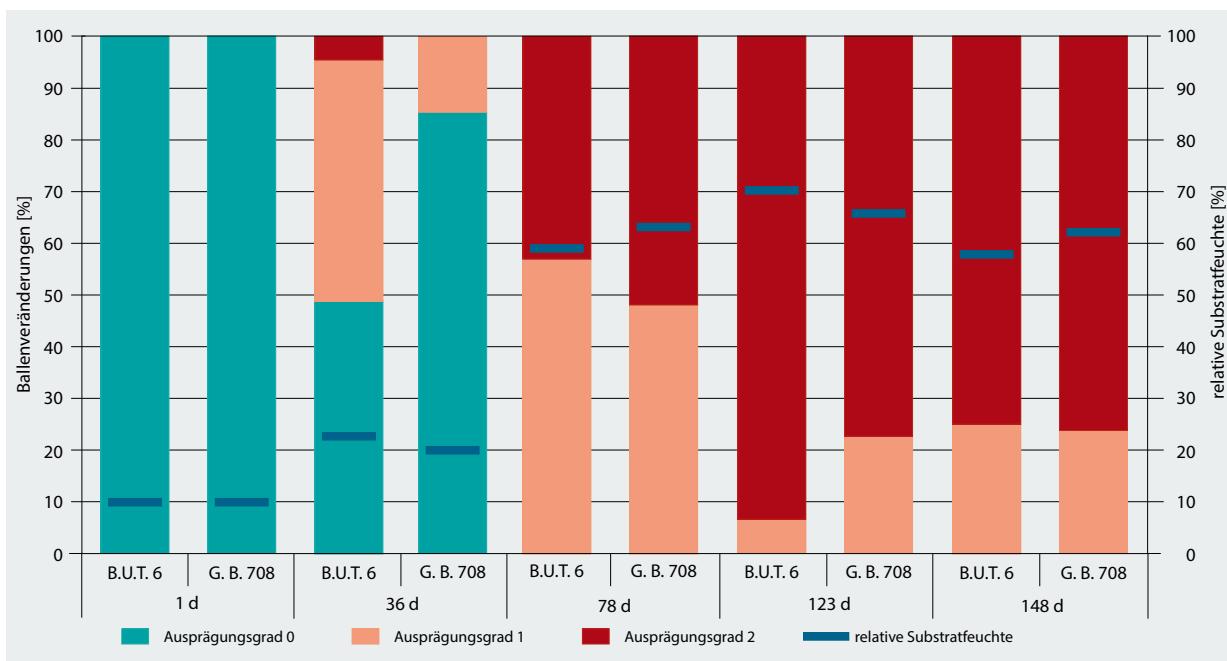


Abbildung 4

Prävalenz und Ausprägungsgrad von Ballenveränderungen in Abhängigkeit zu Tieralter und Herkunft der Puten sowie zur Substratfeuchtigkeit. B.U.T. 6: British United Turkeys 6; G. B. 708: Grelier Bronzés 708

Pododermatitiden (B.U.T. 6: 46,7 %; Grelier Bronzés 708: 14,8 %). Bei 4,4 % der Küken der Herkunft B.U.T. 6 konnten darüber hinaus Ballenveränderungen des Ausprägungsgrades 2 in Form von Ballenläsionen gefunden werden. Mit zunehmendem Alter stieg der Anteil der Tiere mit Fußballenveränderungen an. Bereits mit 78 Tagen zeigten die Ballen aller Individuen Läsionen. Tiefe Pododermatitiden konnten zu diesem Zeitpunkt bei 43,2 % (B.U.T. 6) bzw. 51,9 % (Grelier Bronzés 708) der Tiere festgestellt werden. Im Alter von 123 Tagen wiesen B.U.T. 6-Tiere mit 93,2 % signifikant häufiger hochgradige Läsionen auf als Puten der Herkunft Grelier Bronzés 708 (77,4 %, $p = 0,033$), während mit 148 LT kein Unterschied mehr existierte. Zu diesem Zeitpunkt hatten 75,0 % (B.U.T. 6) bzw. 76,0 % (Grelier Bronzés 708) hochgradige Läsionen an den Sohlenflächen der Metatarsalballen.

Der Feuchtigkeitsgehalt des Einstreusubstrates entwickelte sich progressiv und erreichte im Untersuchungszeitraum Werte von bis zu 70,0 % vor der Hennenschlachtung (Abbildung 4). Substratfeuchte und Ausprägungsgrad von Ballenveränderungen waren hoch signifikant positiv korreliert (B.U.T. 6: $r_s = 0,834$, $p < 0,001$; Grelier Bronzés 708: $r_s = 0,829$, $p < 0,001$).

5 Diskussion

Sowohl in der konventionellen als auch in der ökologischen Aufzucht und Mast von Puten findet man häufig Veränderungen im Bereich der Fuß- und Zehenballen, die als Pododermatitis (Fußballenentzündung) bezeichnet werden (Krautwald-Junghanns et al., 2009, 2011; Shepherd und Fairchild, 2010; Bellof et al., 2010; Allain et al., 2013; Bergmann et al., 2013). Klinisch auffällig sind zunächst Rötungen und/oder Schwellungen des Sohlenballens. Mit fortschreitendem Verlauf können sich Nekrosen der Epidermis bzw. Ulzerationen der Sohlenfläche entwickeln. Eine entsprechende progressive Entwicklung der Ballenveränderungen war auch unabhängig von der Putenherkunft in der vorliegenden Studie zu beobachten.

Ätiologie und Pathogenese von Ballenveränderungen sind bislang noch nicht hinreichend geklärt. Diskutiert werden nutritive Effekte (Mayne et al., 2007a; Shepherd und Fairchild, 2010; Youssef et al., 2011a, b, 2012), genetische Prädispositionen (Hafez et al., 2004), Substratbeschaffenheit (Berk, 2009 a, b; Youssef et al., 2010, 2011a) und Einflüsse des Haltungssystems (Shepherd und Fairchild, 2010; Ziegler et al., 2013). Eine maßgebliche Rolle in der Ätiologie von klinischen Ballenveränderungen wird insbesondere dem Feuchtigkeitsgehalt des Einstreusubstrates zugeschrieben, der unter Praxisbedingungen durchaus Werte von über 70 % erreichen kann (Kamphues et al., 2011; Krautwald-Junghanns et al., 2013). Youssef et al. (2010) untersuchten die Effekte von unterschiedlichen Einstreusubstraten bei verschiedenen Substratfeuchten (27 % und 73 %). Bei einer Zwangsexposition von 8 h/Tag auf Einstreusubstrat mit hoher Substratfeuchte wurde eine signifikant schlechtere Ballengesundheit festgestellt. Ähnliche Befunde beschreiben auch Wu und Hocking (2011) und Abd El-Wahab et al.

(2011). Schumacher et al. (2012) konnten nachweisen, dass bereits Teilbereiche der Stallfläche mit hoher Substratfeuchte bei freier Raumnutzung, d. h. ohne zwangsweise Exposition, eine erhöhte Prävalenz von Ballenveränderungen provozieren können. Die im Rahmen der vorliegenden Studie begleitend durchgeföhrten Erhebungen zum Ballenstatus ergaben eine mit steigendem Lebensalter und zunehmender Substratfeuchte korrespondierende Prävalenz von Ballenveränderungen und bestätigten damit die Ergebnisse thematisch ähnlicher Studien (vgl. Mayne et al., 2007b; Rudolf, 2008; Schumacher et al., 2012; Youssef et al., 2010, 2011a; Wu und Hocking, 2011; Kamphues et al., 2011). Untersuchungen von Pagazaurtundua und Warris (2006), die den Ballenstatus von Broilern in konventioneller und ökologischer Haltung sowie in Auslaufhaltung verglichen, zeigten, dass Tiere mit Zugang zum Grünauslauf den höchsten Anteil von Tieren mit Ballenveränderungen aufwiesen. Eigene Untersuchungen an drei Putenherküften, die jeweils ohne und mit AKB und Grünauslauf gehalten wurden, bestätigten diese Aussage in Abhängigkeit von den Witterungseinflüssen. Hohe Niederschlagsmengen über einen längeren Zeitraum am Ende der Mast bei sehr guter Frequentierung des Grünauslaufes führten in dieser Phase zu einer erhöhten Prävalenz von Pododermatitiden (Berk, 2013b). In der vorliegenden Untersuchung nutzten beide Putenherküfte AKB und Grünauslauf im Vergleich zur vorgenannten Studie allerdings nur in geringem Umfang, so dass die vorgefundene Läsionen im Wesentlichen auf die Situation im Stallinneren zurückgeführt werden können.

Zu den Stallbereichen mit tendenziell hoher Substratfeuchte ist die unmittelbare Umgebung von Futter- und Tränkeeinrichtungen zu rechnen. Infolge von vermehrtem Kotabsatz und Spritzwassereintrag können hier auch unter konventionellen Haltungsbedingungen durchaus Substratfeuchten von über 70 % vorgefunden werden (Bergmann et al., 2012). Die Fütterung mit ökologischen Futtermitteln kann zusätzlich einen nachteiligen Einfluss auf die Kotkonsistenz durch die Erhöhung des Wasseranteiles im Kot und damit auf die Einstreuqualität sowie letztendlich auf die Fußballengesundheit nach sich ziehen. Beim Vergleich von Bio-Futtermixungen mit unterschiedlichen Energiegehalten wies die Variante mit dem niedrigsten Energiegehalt ($\leq 11 \text{ MJ/kg ME}$) den höchsten Nicht-Stärke-Polysaccharid-Anteil auf, was zu einer unbefriedigenden Kotkonsistenz führte (Bellof et al., 2010). Auch in der vorliegenden Studie konnte bei beiden Putenherküften eine hohe Einstreufeuchte selbst durch regelmäßiges, teilweise tägliches Nachstreuen mit gehäckseltem Kurzstroh und dadurch bedingt eine hohe Prävalenz von Ballenveränderungen des Schweregrades 2, also tiefgreifenden Läsionen der Sohlenhaut, nicht vermieden werden.

Howie et al. (2010) zufolge nimmt die Aufnahme von pelletiertem, konventionellem Putenmastfutter bei Putenhähnen zwischen der 18. und 22. LW lediglich 34,2 min pro Tag in Anspruch. Die von den Tieren in den Konsumzonen verbrachten Zeiteinheiten waren jedoch in der vorliegenden Studie wesentlich länger. Untersuchungen von Schumacher et al. (2012) deuten darauf hin, dass Puten kein spezielles Meideverhalten für Stallbereiche mit hohen Substratfeuchten

entwickelt haben. Daher werden die Konsumzonen offenbar nicht allein zur Bedarfsdeckung an Futter und Trinkwasser, sondern, wie die vorliegenden Ergebnisse verdeutlichen, auch für andere Verhaltensweisen genutzt. Mit zunehmendem Alter nimmt die Aktivität von Mastputen generell ab (Sherwin und Kelland, 1998; Hocking et al., 1999; Martrenchar et al., 1999; Busayi et al., 2006; Hocking und Wu, 2013). Dementsprechend stieg auch in der vorliegenden Untersuchung die Aufenthaltsdauer der Tiere im Bereich der Tränken und Futtertröge signifikant an. Die an beiden Putenhäfen ermittelten Verweilzeiten innerhalb der Konsumzonen zeigten dabei eine sehr ähnliche progressive Entwicklung. Resultierend daraus nahm mit zunehmendem Alter nicht nur der Anteil der Tiere in den Konsumzonen bei B.U.T. 6 und Grelier Bronzés 708 tagsüber signifikant zu, sondern auch der Anteil sitzender Tiere in diesen Bereichen. In der dritten LW saßen während der Hellphase durchschnittlich 16,3 % (B.U.T. 6) bzw. 14,1 % (Grelier Bronzés 708) der Tiere innerhalb der Konsumzonen mit einem Anstieg in der 18. LW auf 57,1 % (B.U.T. 6) bzw. 42,5 % (Grelier Bronzés 708).

Ein bedeutender Anstieg der Verweildauer war insbesondere im Tränkenbereich in der Endphase der Mastperiode zu verzeichnen. Die Verweilzeiten verlängerten sich von 2,0 h (B.U.T. 6) bzw. 2,3 h (Grelier Bronzés 708) am 128. Tag auf 6,0 h (B.U.T. 6) bzw. 5,4 h (Grelier Bronzés 708) Stunden am 142. Tag. Zu diesem Zeitpunkt waren in beiden Untersuchungsgruppen die weiblichen Tiere bereits ausgestallt worden, wodurch sich allerdings die Substratfeuchte nur geringfügig verringerte. Trotz der damit verbundenen Reduktion der Tierzahl im Stall und einer damit einhergehenden Vergrößerung der pro Tier zur Verfügung stehenden Stallfläche erhöhten sich die Verweilzeiten der verbliebenen Hähne beträchtlich. Mit einer auf die altersbedingte Größen- bzw. Lebendmassenzunahme der Tiere zurückzuführende Verringerung des Platzangebotes lässt sich diese Beobachtung nicht erklären. So bedeckt ein Putenhahn mit einem Mastendgewicht von 18 bis 21 kg eine Fläche von ca. 1.600 cm² bis 1.700 cm² (Ellerbrock, 2000; Graue et al., 2013). Daraus resultierte unter den gegebenen Bedingungen bei einer Individuenzahl von 20 Hähnen (B.U.T. 6) bzw. 25 Hähnen (Grelier Bronzés 708) und einer Stallfläche von ca. 18 m² eine Flächenbedeckung zwischen 19 % und 24 %. Demzufolge müssen andere Einflussfaktoren in Betracht gezogen werden. Einerseits wird das Ruheverhalten bei gleicher Stallfläche und geringerer Besatzdichte weniger oft gestört als bei höherer Tierzahl (Bessei, 1999; Martrenchar et al., 1999). Als weiterer Grund für das vermehrte Abliegen der Tiere am Ende der Mastphase sind die Zunahme von hochgradigen Ballenveränderungen sowie der Anstieg der Lebendmassen und die Verschlechterungen der Lokomotionsfähigkeit in Betracht zu ziehen (Bircher und Schlupp, 1991; Berk, 2011). Hohe Substratfeuchten können nach Hocking und Wu (2013) unabhängig von der Putenhälfte und Zuchtrichtung ebenfalls verminderte Bewegungsaktivitäten bedingen. Als zusätzlich fördernder Faktor für die Verlängerung der Verweilzeiten in der Konsumzone, insbesondere im Bereich der Tränken, ist ein klimatisch bedingter Anstieg der Raumtemperatur im betreffenden Zeitraum zu berücksichtigen. Der

Stalltemperatur-Median an den beiden oben genannten Beobachtungstagen erhöhte sich um 6,3 °C, und das Stalltemperatur-Maximum stieg von 13,0 °C auf 23,7 °C. Entsprechende Beziehungen zwischen der Erhöhung der Stalltemperatur und der Wasseraufnahme von Mastputen beschrieben auch Leeson und Summers (2008). Mit Absenkung der Stalltemperatur am 149. Lebenstag nahmen entsprechend auch die Verweilzeiten in der Konsumzone wieder ab.

Die Studie verdeutlicht, dass die Aufenthaltszeiten von Mastputen in Stallbereichen mit hoher Substratfeuchte variierten und enge Beziehungen zwischen der Verweildauer in den Konsumzonen und dem Lebensalter der Puten sowie dem Stallklima bestehen. Zur Vermeidung hoher Einstreufeuchten könnten perforierte Stallböden im Bereich der Futtertröge und Tränken zwar durchaus positive Effekte auf die Tiergesundheit haben (Chen et al. 1991; Noll et al. 1997). Derartige Bodenflächen sind jedoch nach den Empfehlungen des Europäischen Übereinkommens zum Schutz von Tieren in landwirtschaftlichen Tierhaltungen (2002) bei der Haltung von Mastputen unzulässig. Maßnahmen wie Änderungen im Management (z. B. Versetzen von Tränke- und Fütterungseinrichtungen, Erhaltung der Einstreuqualität durch neuartige Einstreumaterialien mit verbesserter Wasseraufnahmekapazität, Optimierung des Stallklimas), Erhöhung der Tieraktivität (Selektion auf Beinstabilität und Lauffähigkeit), züchterische Selektion auf eine günstige Trinkwasser-Futteraufnahme-Relation sowie die Aufrechterhaltung der Darmgesundheit (Futterzusammensetzung und -struktur, rechtzeitige Identifizierung und Therapie von Endoparasiten) können dazu beitragen, die Substratfeuchte im Stall zu verringern (Kamphues et al. 2011; Swalander et al., 2013). Durch diese Maßnahmen können folglich auch die Prävalenz und der Schweregrad von Ballenveränderungen gesenkt werden. Dadurch kann eine Verbesserung der Haltungssituation und der Tiergesundheit nicht nur in der konventionellen Putenmast, sondern auch unter den Bedingungen der ökologischen Tierhaltung erreicht werden.

Danksagungen

Die Autoren danken Frau Stine Heindorff, Friedrich-Loeffler-Institut, Institut für Tierschutz und Tierhaltung Celle, für die Auswertung der Videoaufzeichnungen und Frau Dr. Silke Zachariae, Institut für medizinische Informatik, Statistik und Epidemiologie der Universität Leipzig, für die Beratung bei der statistischen Auswertung.

Literaturverzeichnis

- Abd El-Wahab A, Visscher CF, Beineke A, Beyerbach M, Kamphues J (2011) Effects of floor heating and litter quality on the development and severity of foot pad dermatitis in young turkeys. Avian Dis 55:429-434
 Allain V, Huonnic D, Rouina M, Michel V (2013) Prevalence of skin lesions in turkeys at slaughter. Br Poult Sci 54:33-41

- Bellof G, Dusel G, Schmidt E (2010) Einfluss eines Multienzymkomplexes auf die Mastleistung und den Schlachtkörperwert von Putenhähnen des Genotyps „BIG 6“ in der ökologischen Putenmast. Arch Geflügelkd 74:13-20
- Bergmann S, Bartels T, Ziegler N, Hübel J, Truyen U, Krautwald-Junghanns ME, Erhard M (2012) Analysis of animal welfare indicators during the rearing of turkey pouls in Germany. In: Hafez HM (ed) 9th International Symposium on Turkey Diseases : Berlin, Germany, 21st-23rd June 2012. Berlin : Mensch & Buch, pp 52-53
- Bergmann S, Ziegler N, Bartels T, Hübel J, Schumacher C, Rauch E, Brandl S, Bender A, Casalicchio G, Krautwald-Junghanns M-E, Erhard MH (2013) Prevalence and severity of foot pad alterations in German turkey pouls during the early rearing phase. Poult Sci 92:1171-1176
- Berk J (2009a) Effects of different types of litter on performance and pododermatitis in male turkeys. In: Hafez HM (ed) Turkey production: toward better welfare and health : proceedings of the 5th International Symposium on Turkey Production, meeting of the Working Group 10 (Turkey), Berlin 28th - 30th May 2009. Berlin : Mensch & Buch Verl, pp 127-134
- Berk J (2009b) Effekte der Einstreuart auf Tiergesundheit und Tierleistungen bei Putenhennen. Landbauforsch SH 332:23-29
- Berk J (2011) Einfluss der Besatzdichte auf Tierverhalten und Tiergesundheit bei Putenhennen mit Zugang zu einem Außenklimabereich. KTBL Schr 489:162-169
- Berk J (2013a) Faustzahlen zur Haltung von Mastgeflügel. Stuttgart : Ulmer, pp 146-167
- Berk J (2013b) Behaviour and health of different turkey genotypes with outdoor access. In: Hötzl M, Pinheiro Machado Filho LC (eds) Proceedings of the 47th Congress of the International Society for Applied Ethology (ISAE) "Understanding behaviour to improve livelihood" : Florianopolis, Brazil, 2-6 June 2013. Wageningen : Wageningen Acad Publ, p 102
- Bessei W (1999) Das Verhalten von Mastputen : Literaturübersicht. Arch Geflügelkd 63:45-51
- Bircher L, Schlup P (1991) Ethologische Indikatoren zur Beurteilung der Tiergerechtigkeit von Trutenmastsystemen. Bern, 113 p, Ermittlung von Beurteilungsgrundlagen für die Bewilligung von Stalleinrichtungen für die Trutenhaltung 2
- Busayi RM, Channing CE, Hocking PM (2006) Comparisons of damaging feather pecking and time budgets in male and female turkeys of a traditional breed and a genetically selected male line. Appl Anim Behav Sci 96:281-292
- Chen F, Noll SL, Clanton CJ, Janni KA, Halvorson DA (1991) Market turkey performance affected by floor type and brooding method. Appl Eng Agric 7:606-612
- Demeter (2009) Richtlinien und Weisungen für die Zertifizierung von Demeter-Geflügel (Stand 2011) [online]. Zu finden in <<http://www.demeter.de/sites/default/files/richtlinien/Richtlinien%20fuer%20die%20Zertifizierung%20von%20Demeter%20Gefluigel.pdf>> [zitiert am 01.10.2013]
- Ellerbrock S (2000) Beurteilung verschiedener Besatzdichten in der intensiven Putenmast unter besonderer Berücksichtigung ethologischer und gesundheitlicher Aspekte. Hannover : TiHo, 155 p
- Europäisches Übereinkommen zum Schutz von Tieren in landwirtschaftlichen Tierhaltungen (2002) : Empfehlungen in Bezug auf Puten (*Meleagris gallopavo* ssp.) ; angenommen vom Ständigen Ausschuss am 21. Juni 2001 [online]. Zu finden in <http://www.bmelv.de/SharedDocs/Downloads/Landwirtschaft/Tier/Tierschutz/GutachtenLeitlinien/EU-HaltungPuten.pdf?__blob=publicationFile> [zitiert am 02.10.2013]
- Graue J, Glawatz H, Meyer H (2013) Area coverage of BUT 6 commercial males determined by planimetric analyses. In Hafez HM (ed) Abstracts of the 7th Hafez International Symposium on Turkey Production : meeting of the Working Group 10 (Turkey) of WPSA ; Berlin, Germany, 30 May - 1st June 2013
- Hafez HM, Wäse K, Haase S, Hoffmann T, Simon O, Bergmann V (2004) Leg disorders in various lines of commercial turkeys with especial attention to pododermatitis. In: Hafez HM (ed) 5th International Symposium on Turkey Diseases : Berlin, 16-19 June 2004. Giessen : DVG-Service-GmbH, pp 11-18
- Hocking PM, Maxwell MH, Mitchell MA (1999) Welfare of food restricted male and female turkeys. Br Poult Sci 40:19-29
- Hocking PM, Wu K (2013) Traditional and commercial turkeys show similar susceptibility to foot pad dermatitis and behavioural evidence of pain. Br Poult Sci 54(3):281-288
- Howie JA, Tolkamp BJ, Bley T, Kyriazakis I (2010) Short-term feeding behaviour has a similar structure in broilers, turkeys and ducks. Br Poult Sci 51(6):714-724
- Kamphues J, Youssef IMI, Abd El-Wahab A, Üffing B, Witte M, Tost M (2011) Einflüsse der Fütterung und Haltung auf die Fußballengesundheit bei Hühnern und Puten. Übers Tierernähr 39:147-195
- Krautwald-Junghanns M-E, Ellerich R, Böhme J, Cramer K, Dellavolpe A, Mitterer-Istyagin H, Ludewig M, Fehlhaber K, Schuster E, Berk J, Aldehoff D, Fulhorst D, Kruse W, Dressel A, Noack U, Bartels T (2009) Erhebungen zur Haltung und Gesundheit bei Mastputen in Deutschland. Berl Münch Tierärztl Wochenschr 122:271-283
- Krautwald-Junghanns M-E, Ellerich R, Mitterer-Istyagin H, Ludewig M, Fehlhaber K, Schuster E, Berk J, Petermann S, Bartels T (2011) Examinations on the prevalence of footpad lesions and breast skin lesions in British United Turkeys Big 6 fattening turkeys in Germany : Part I: Prevalence of foot pad lesions. Poult Sci 90:555-560
- Krautwald-Junghanns M-E, Bergmann S, Erhard MH, Fehlhaber K, Hübel J, Ziegler N, Ludewig M, Mitterer-Istyagin H, Bartels T (2013) Impact of selected factors on the occurrence of contact dermatitis in turkeys on commercial farms in Germany. Animals 3:608-628
- Leeson S, Summers JD (2008) Commercial poultry nutrition. Guelph, Ont : Univ Books, 398 p
- Marchewka J, Watanabe TTN, Ferrante V, Estevez I (2013) Review of the social and environmental factors affecting the behaviour and welfare of turkeys (*Meleagris gallopavo*). Poult Sci 92:1467-1473
- Martin P, Bateson P (2007) Measuring behaviour : an introductory guide Cambridge : Cambridge Univ Pr, 176 p
- Martrenchar A, Huonnic D, Cotte JP, Boilletot E, Morisse JP (1999) Influence of stocking density on behavioural, health and productivity traits of turkeys in large flocks. Br Poult Sci 40:323-331
- Mayne RK, Else RW, Hocking PM (2007a) High dietary concentrations of biotin did not prevent foot pad dermatitis in growing turkeys and external scores were poor indicators of histopathological lesions. Br Poult Sci 48:291-298
- Mayne RK, Else RW, Hocking PM (2007b) High litter moisture alone is sufficient to cause foot pad dermatitis in growing turkeys. Br Poult Sci 48:538-545
- Noll SL, Janni KA, Halvorson DA, Clanton CJ (1997) Market turkey performance, air quality, and energy consumption affected by partial slotted flooring. Poult Sci 76:271-279
- Pagazaurtundua A, Warris PD (2006) Levels of foot pad dermatitis in broiler chickens reared in 5 different systems. Br Poult Sci 47(5):529-532
- Rudolf M (2008) Einfluss von Besatzdichte und Einstreumaterial auf die Pododermatitis bei Mastputen. Berlin : Freie Univ, 162 p
- Schumacher C, Krautwald-Junghanns M-E, Hübel J, Bergmann S, Mädl N, Erhard MH, Berk J, Pees M, Truyen U, Bartels T (2012) Einfluss der Einstreufeuchte im Futter- und Tränkebereich auf die Fußballengesundheit von Mastputen in der Aufzuchtphase. Berl Münch Tierärztl Wochenschr 125:379-385
- Shepherd EM, Fairchild BD (2010) Footpad dermatitis in poultry. Poult Sci 89:2043-2051
- Sherwin C M, Kelland A (1998) Time budgets, comfort behaviours and injurious pecking of turkeys housed in pairs. Br Poult Sci 39:325-332
- Swalander LM, Glover PK, Kremer VD, Bailey RA (2013) Driving robustness and gut health for the European Turkey Industry. In: Proceedings of the 7th Turkey Science and Production Conference, Chester (UK), 21st-22nd March 2013 34-37 [online]. Zu finden in <<http://www.turkeytimes.co.uk/>> [zitiert am 25.09.2013]
- Verordnung (EG) Nr. 889/2008 der Europäische Kommission (2008) vom 5. September 2008 mit Durchführungsverordnungen zur Verordnung (EG) Nr. 834/2007 des Rates über die ökologische/biologische Produktion und die Kennzeichnung von ökologischen/biologischen Erzeugnissen hinsichtlich der ökologischen/biologischen Produktion, Kennzeichnung und

- Kontrolle [online]. Zu finden in <<http://eur-lex.europa.eu/LexUriServ/LexUriServ.do?uri=OJ:L:2008:250:0001:0084:DE:PDF>> [zitiert am 02.10.2013]
- Wartemann S (2005) Tierverhalten und Stallluftqualität in einem Putenmaststall mit Außenklimabereich unter Berücksichtigung von Tiergesundheit, Leistungsmerkmalen und Wirtschaftlichkeit. Hannover : TiHo, 233 p
- Wu K, Hocking PM (2011) Turkeys are equally susceptible to foot pad dermatitis from 1 to 10 weeks of age and foot pad scores were minimized when litter moisture was less than 30%. Poult Sci 90:1170-1178
- Youssef IMI, Beineke A, Rohn K, Kamphues J (2010) Experimental study on effects of litter material and its quality on foot pad dermatitis in growing turkeys. Int J Poult Sci 89:1125-1135
- Youssef IMI, Beineke A, Rohn K, Kamphues J (2011a) Effects of litter quality (moisture, ammonia, uric acid) on development and severity of foot pad dermatitis in growing turkeys. Avian Dis 55:51-58
- Youssef IMI, Beineke A, Rohn K, Kamphues J (2011b) Effects of high dietary levels of soybean meal and its constituents (potassium, oligosaccharides) on foot pad dermatitis in growing turkeys housed on dry and wet litter. Arch Anim Nutr 65:148-162
- Youssef IMI, Beineke A, Rohn K, Kamphues J (2012) Influences of increased levels of biotin, zinc or mannan-oligosaccharides in the diet on foot pad dermatitis in growing turkeys housed on dry and wet litter. J Anim Physiol Anim Nutr 96:747-761
- Ziegler N, Bergmann S, Hübel J, Bartels T, Schumacher C, Bender A, Casalicchio G, Küchenhoff H, Krautwald-Junghanns M-E, Erhard M (2013) Auswirkungen des Stallklimas auf die Fußballengesundheit von Mastputen der Herkunft B.U.T. 6 in der Aufzuchtphase. Berl Münch Tierärztl Wochenschr 126:181-188

Fütterung und Haltung von Hochleistungskühen

8. Verluste durch Mastitis und Lahmheit

Klaus Walter*

Zusammenfassung

Mastitis und Schäden an Extremitäten bedrohen nach Hutjens (2004) die Wirtschaftlichkeit der Milchviehhaltung der USA, zu ähnlichen Resultaten kommt Lührmann (2007) für die heimische Milchproduktion. Milchviehhalter befürchten dementsprechend, dass die Verluste deutlich höher ausfallen als die Kosten für Tierarzt und Medikamente und damit die Gewinne mindern oder sogar aufzehren.

Die Kalkulation mit alternativ 0, 5, 10, 15, und 20 % permanenter Leistungsdepression nach einer Mastitis ergeben, dass die Minderung der Einnahmen aus Milch minus Futterkosten 250 bis 300 Euro erreicht. Wird unterstellt, dass nach 50 Tagen eine zweite Infektion auftritt, ist mit bis zu 500 Euro Verlusten zu rechnen.

Die Einbußen der Einnahmen aus Milch minus Futterkosten durch Lahmheit überschreiten die 100 Euro Grenze nur dann, wenn der bls den ungünstigsten Wert annimmt und der Heilungsprozess mehrere Wochen erfordert.

Schlüsselworte: Kosten für Tierarzt und Medikamente, Verluste durch Mastitis, Verluste durch Lahmheit, Minderung der Milchleistung, Reduktion der Futteraufnahme, body condition score, body lameness score

Abstract

The feeding and husbandry of high performance cows

Part 8. Losses from mastitis and lameness

According to Hutjens (2004), mastitis and lesions on limbs are threatening the profitability of dairy farming in the U.S.. Similar results are shown by Lührmann (2007) for German dairy farming. Both problems may cause prolonged depression in milk yield - during the subclinical and clinical phase as well as during or after healing. As a consequence, dairy farmers fear that losses exceed the mere veterinary and medical costs and – in sum – diminish or even eat up profits.

Calculations assuming 0, 5, 10, 15 and 20 % of permanent depression in performance after mastitis reveal that margins over feed costs are diminished by 250 to 300 Euros. Assuming a reinfection after 50 days, losses can reach up to 500 Euros.

However, losses in margin over feed costs by lameness only exceed 100 Euros, if the bls reaches the worst value and the healing process stretches over several weeks.

Keywords: Costs of veterinary and medicine, losses from mastitis, losses from lameness, decrease of milk yield, reduction of feed intake, body condition score, body lameness score

* Thünen-Institut für Agrartechnologie, Bundesallee 50, 38116 Braunschweig

1 Einleitung

Befragungen zeigen (Walter, 2004), dass Milchviehhalter die Milchleistung, den Milchpreis, die Lieferrechte und die Tiergesundheit als Eckpfeiler einer erfolgreichen Milchproduktion ansehen. In den letzten Jahrzehnten stiegen die Kosten für Tierarzt und Medikamente (KfTuM) in der Milchviehhaltung kontinuierlich an (Walter, 2004), daher bleibt die Erhaltung der Gesundheit auch weiterhin ein Schwerpunkt im Managementkonzept.

Die Milchviehhalter befürchten, dass die aus Leistungsdepression und verminderter Futteraufnahme entstehenden Verluste sowie die möglichen Folgeschäden deutlich höher ausfallen als die in Rechnung gestellten Kosten für Tierarzt, Medikamente (KfTuM) und Tests auf Mastitis sowie Rückständen und das daraus erhebliche Einkommensminderungen resultieren.

Dieser Beitrag dient der Evaluierung der Verluste, die aus krankheitsbedingter Minderung von Leistung und Futteraufnahme entstehen.

2 Fragestellung und Lösungsansatz

Gesundheitliche Probleme umfassen ein weites Spektrum:

- Kurzzeitiges Unwohlsein bis hin zu Krankheiten mit tödlichem Ausgang,
- kaum erkennbare, latente Belastungen bis hin zu dauerhaft wirkenden unheilbaren Einschränkungen einzelner bzw. vieler Körperfunktionen und
- Erkrankungen der Einzeltiere bis hin zu alle Tiere erfassende Epidemien.

Nahezu alle Belastungen können bei Hochleistungstieren zunächst zu Leistungseinbrüchen und verringerten Futteraufnahmen führen, langfristig wären abnehmende Fruchtbarkeit, erhöhte Anfälligkeit, ungenügende Leistungen etc. zu befürchten. Sowohl die kurzfristigen als auch die langfristigen Auswirkungen von Krankheiten sind sehr häufig diskutiert worden, jedoch mit stark voneinander abweichenden Ansätzen und Ergebnissen. Hier wird im Kontext mit den bisher vorgelegten Arbeiten eine Verlustschätzung vorgenommen.

Aus diesem weit gespannten Spektrum werden nur Mastitis und Erkrankungen der Extremitäten ausgewählt und analysiert, denn sie treten vergleichsweise häufig auf und beeinträchtigen die Milchproduktion nachhaltig. Beide Krankheiten nehmen in den wissenschaftlichen und den für die Milchviehhalter bestimmten Zeitschriften einen breiten Raum ein, verbunden mit einer Vielzahl von Verlustschätzungen und Empfehlungen zur Gesunderhaltung, Behandlung und Heilung. Deutlich werden aber auch erhebliche Unterschiede bei den ermittelten Verlusten.

Robinson (2006) und Hutmjens (2004) konzipierten Ansätze zur Bewertung von Klauen- und Knochenerkrankungen, die ebenso wie ein Konzept zur Schätzung von Verlusten durch Mastitis in das Simulationsprogramm (Walter, 2008) implementiert wurden.

Nach Hutmjens (2004)¹ entwickelten sich Mastitis und Lahmheit zu den häufigsten Krankheiten in der Milchviehhaltung der USA, allein die Schäden an Klauen und Extremitäten beziffert er je nach einzelbetrieblichem Krankenstand auf 50 bis 122 Dollar je Kuh und Jahr. Die Kosten für Tierarzt und Medikamente ausgewählter norddeutscher Betriebe stiegen im Zeitraum von 1980 bis 2000 von 50 auf 100 Euro je Kuh und Jahr (Walter, 2004).

Zwei Milchviehhalter, die detaillierte Daten aus der Milchproduktion über Art und Häufigkeit der gesundheitlichen Probleme und Erkrankungen zur Verfügung stellen, nennen nicht nur Mastitis und Lahmheit, sondern auch die schon in den ersten Laktationen auftretenden Fruchtbarkeitsstörungen sowie Stoffwechselkrankheiten als weitere bedeutsame Hemmnisse in der Milchproduktion. Die dazu gehörenden Bewertungen stehen in enger Verbindung mit der Diskussion der Kennzahlen Langlebigkeit, Zwischenkalbezeit etc. und werden Gegenstand nachfolgender Untersuchungen sein.

Während beide Milchviehhalter Kosten von 60 bis 80 Euro je Mastitis und keine Leistungsminderungen als Folge von Mastitis angeben, nennt Lührmann (2007) erhebliche Verluste und Kosten: Eine klinische Mastitis bei einer Kuh mit knapp 8.500 kg Jahresleistung bedeuten 150 bis 300 kg unverkäufliche Milch, zuzüglich 150 bis 500 kg Leistungsdepression in der nachfolgenden Laktation; Therapiekosten in Höhe von 80 Euro, Untersuchungskosten von 15 Euro, Mehrarbeit von 2,3 Stunden bei 12,50 Euro je Stunde plus 125 Euro Nettobestandsergänzungskosten.

Wangler (2013) untersuchte 6.200 Holstein-Kühe hinsichtlich Erkrankungen und Abgangsursachen und kommt zu dem Ergebnis, dass die Hauptabgangsursachen Eutererkrankungen, Fruchtbarkeitsstörungen, sowie Erkrankungen an Klauen und Gliedmaßen waren.

Zum Ausmaß der Minderung von Leistung bzw. Futteraufnahme und den damit verbundenen Einbußen der Erlös-Kostendifferenz liegen damit sehr gegensätzlichen Einschätzungen vor. Dieser Beitrag soll durch quantitative Analysen mehr Transparenz schaffen und damit die Basis für weitergehende ökonomische Bewertungen sein.

3 Mastitis

Erfahrene Milchviehhalter legen großen Wert auf Hygiene im Melkstand und im Stall. Trotzdem treten immer wieder Entzündungen auf, die mittels entsprechender Kontrollen möglichst frühzeitig erkannt und somit behandelt werden sollten.

3.1 Mastitis ohne Leistungsdepression

In Abbildung 1 wird dargestellt, welche Milchmengen bei der Behandlung mit Antibiotika unverkäuflich sind. Da die Futterkosten trotzdem anfallen, stehen den fehlenden Ein-

¹ Unter www.livestock.illinois.edu/dairynet/papers.cfm befinden sich insgesamt 715 Dokumente für Berater und Milchviehhalter, 78 befassen sich mit Erkrankungen und nochmals 29 mit Mastitis [20.12.2012].

nahmen keine Kosteneinsparungen gegenüber. Zusätzlich schlagen die Kosten für das Medikament und gegebenenfalls den „Hemmstofftest“ zu Buche. Dieser Test gibt den Betriebsleitern die Sicherheit, dass die Milch frei von Hemmstoffen ist und somit keine Schadensforderungen seitens der Molkerei entstehen können.

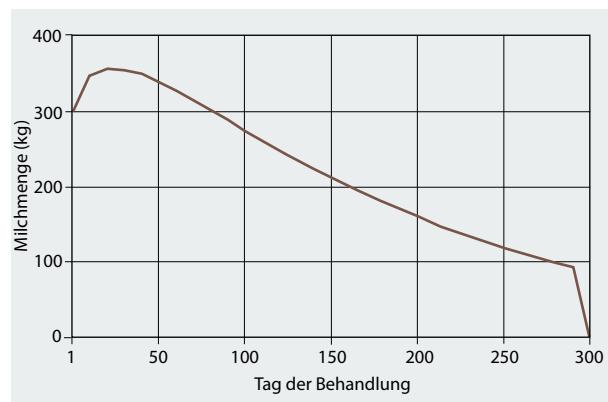


Abbildung 1

Nicht verkaufsfähige Milch nach Mastitisbehandlung in Abhängigkeit vom Tag der Behandlung, für eine Kuh in 2. Laktation mit 9.500 kg Milchleistung und einer Zwischenkalbezeit (ZKZ) von 365 Tagen

Die Verluste durch Mastitis sind direkt an das Leistungsniveau der Kuh gekoppelt. Abbildung 2 zeigt die nicht verkaufsfähige Milchmenge in Abhängigkeit von der Milchleistung, wenn die Behandlung am hundertsten Tag beginnt und eine Lieferpause von sechs Tagen einzuhalten ist.

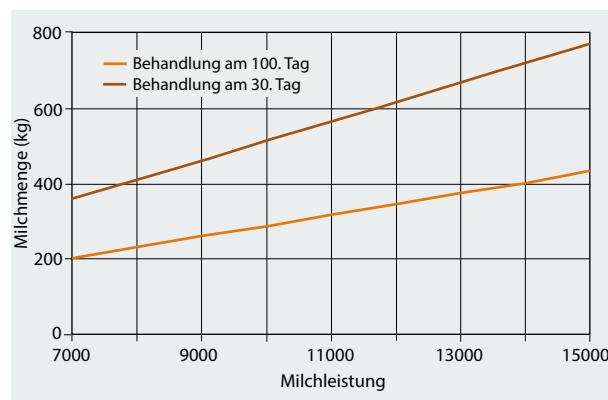


Abbildung 2

Nicht verkaufsfähige Milch nach Mastitisbehandlung in Abhängigkeit von der Milchleistung, wenn die Mastitis am dreißigsten und hundertsten Tag behandelt wird

Abbildungen 1 und 2 zeigen die nicht verkaufsfähigen Milchmengen, die, multipliziert mit dem Milchpreis, die monetären Verluste ergeben. Darüber hinaus entstehen Kosten für das Medikament und die Tests auf Rückstandsfreiheit, die

von den beiden Milchviehhaltern mit nur 20 bis 30 Euro veranschlagt werden, siehe dagegen Lührmann (2007). Der zusätzliche Arbeitsaufwand wird von ihnen weniger als Problem, sondern eher als Teil der vielfältigen Hygiene- und Kontrollaufgaben gesehen.

Damit belaufen sich die Verluste aus entgangenem Milchverkauf je nach Zeitpunkt der Infektion und dem Leistungsniveau der infizierten Kuh auf bis zu 500 kg Milch (Abbildung 2). Bei einem Milchpreis von 0,33 Euro entspricht das rund 150 Euro je Infektion im Leistungszentrum und „nur“ 30 Euro am Ende der Laktation. Dabei wird unterstellt, dass keine Folgeprobleme auftreten. Dieser Annahme stehen die von Lührmann (2007) und Hutzens (2004) genannten bis zum Laktationsende nachwirkenden Leistungsminderungen gegenüber.

3.2 Mastitis mit nachfolgender Leistungsdepression

Wird keine Leistungsminderung unterstellt, bestehen die Verluste neben den KfTuM allein aus den entgangenen Einnahmen für die nicht verkaufsfähige Milch. Bedeutet eine Mastitis dagegen eine nachhaltige Leistungsminderung, sinken auch die Erlöse. Bei leistungsgerechter Fütterung führt das aber auch zu entsprechend geringeren Futterkosten und das Ausmaß der Verluste wird abgemildert.

Mittels Simulation wird das Ausmaß der Verluste bestimmt, indem eine Minderung der Milchleistung um alternativ 5, 10, 15 und 20 % kalkuliert und jeweils der Tag der Behandlung systematisch vom ersten Tag bis zum Ende der Laktation variiert. Abbildung 3 zeigt die Entwicklung der Differenz aus Erlös für Milch minus Futterkosten (EaMmFK), wenn die Infektion am 1., 10., 20. ... 290. Tag der Laktation festgestellt wird und die Behandlung einsetzt. Die Einbußen bei den EaMmFK belaufen sich bei einer Infektion in den ersten 150 Tagen auf 50 bis 70 Euro und gehen gegen Laktationsende auf nahe Null zurück. Tritt eine Mastitis gleich am ersten Tag der Laktation auf, eine seltene Konstellation, entstehen für die Tage mit Antibiotika keine Einnahmeausfälle, weil die so genannte Biestmilch der ersten Tage unverkäuflich ist.

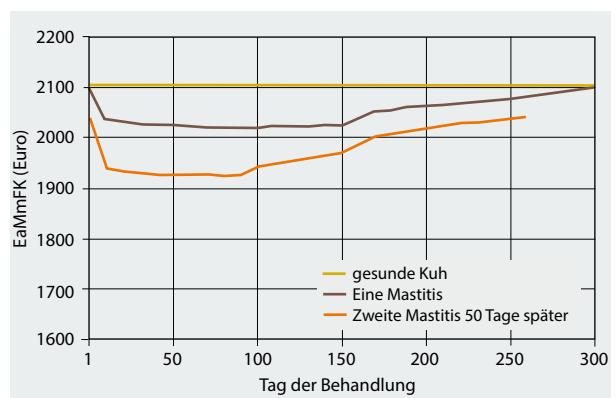


Abbildung 3

Erlös aus Milch minus Futterkosten in Abhängigkeit vom Tag der ersten und zweiten Mastitisbehandlung, ohne Leistungsdepression, für eine Kuh in 2. Laktation mit 9.500 kg Milchleistung und einer ZKZ von 365 Tagen

Erkrankung und Schwächung des Immunsystems bilden oft eine Einheit (siehe dazu Pritchard, 2005), daher treten vereinzelt Reinfektionen auf. Um diese Konstellation abzubilden, wird eine zweite Mastitis 50 Tage nach der Ersten kalkuliert (Abbildung 3). Die Verluste betragen in den ersten drei Monaten zwischen 160 bis 180 Euro je erkrankter Kuh, wenn eine Jahresleistung von 9.500 kg Milch und eine ZKZ von 365 Tagen unterstellt werden.

Die Einbußen bei den EaMmFK infolge einer Infektion stellt Abbildung 4 dar, wenn von einer Leistungsminderung von alternativ 5, 10, 15 und 20 % ausgegangen wird. Im Vergleich zu Abbildung 3 fallen die Verluste bei Leistungsminderung nicht gravierend höher aus, weil die geringere Leistung entsprechend geringere Futterkosten zur Folge hat. Bei einer durchschnittlichen Tagesleistung von 30 Liter Milch und einem Milchpreis von nur 33 Cent betragen die entgangenen Einnahmen zunächst 10 Euro, hinzukommen die Futterkosten mit rund 20 Cent je kg Milch, also 6 Euro. Wird zusätzlich eine Leistungsminderung von 10 % unterstellt, dann belaufen sich die mittleren täglichen Verluste 3 kg Milch mit je 13 Cent EaMmFK auf insgesamt 39 Cent je Tag. Abbildung 4 zeigt, dass erst bei höheren permanenten Leistungseinbußen spürbare Einbußen zustande kommen.

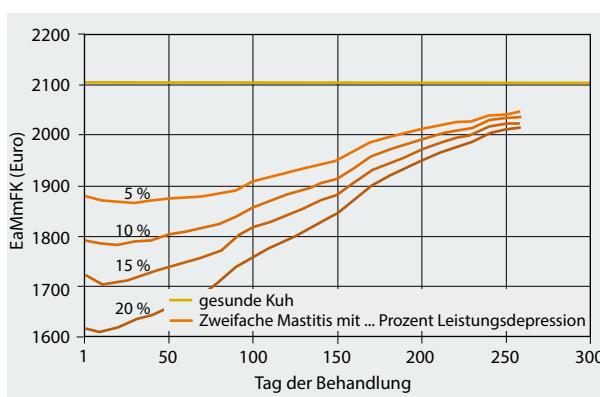


Abbildung 5

Erlös aus Milch minus Futterkosten in Abhängigkeit vom Tag der ersten und zweiten Mastitisbehandlung, mit 5, 10, 15 und 20 % permanenter Leistungsdepression, für eine Kuh in 2. Laktation mit 9.500 kg Milchleistung und einer ZKZ von 365 Tagen

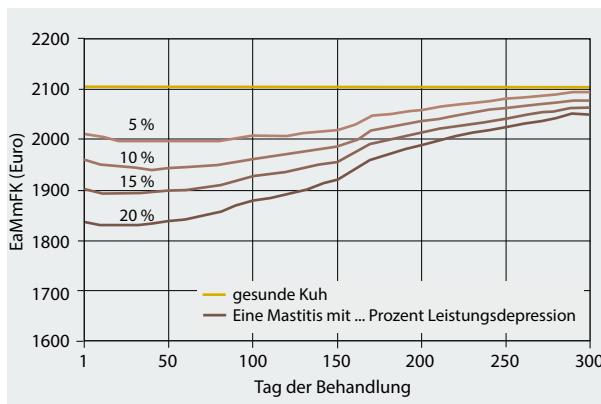


Abbildung 4

Erlös aus Milch minus Futterkosten in Abhängigkeit vom Tag der ersten Mastitisbehandlung, mit 5, 10, 15 und 20 % permanenter Leistungsdepression, für eine Kuh in 2. Laktation mit 9.500 kg Milchleistung und einer ZKZ von 365 Tagen

Abbildung 5 weist die Ergebnisse der Kalkulation mit einer zweiten Mastitis aus, die 50 Tage nach der ersten auftritt. Die EaMmFK fallen im Vergleich zu den Ergebnissen in Abbildung 4 deutlich niedriger aus. Zum einen verdoppelt sich die Zahl der Tage ohne Ablieferung und zum anderen wird unterstellt, dass die Leistung nach der zweiten Infektion erneut um den vorgegebenen Prozentsatz sinkt. Ein derartiger Leistungs- und Einkommensabfall macht aus Hochleistungskühen Mittelmaß und aus Durchschnittskühen Abgänger.

3.3 Subklinische Mastitis

Die Milch enthält stets Zellen, von denen einige pathogene Keime sein können. Es stellt sich daher die Frage, wie viele davon unvermeidbar sind und welche Risiken daraus für die Ernährung erwachsen. Trotz erheblicher Anstrengungen ist es bisher nicht gelungen Keim- und Zellenfreie Milch zu produzieren.

Halasa et al. (2009); Hutzens (2004); Lührmann (2007); Parker et al. (2006) nennen sehr unterschiedliche Verluste durch subklinische Mastitis. Wenn die subklinische Mastitis die Leistung um beispielsweise 5, 10, 15 oder 20 % minderte, dann wäre bei den EaMmFK mit einem Minus von rund 100, 150, 200 und 260 Euro zu rechnen, abzuleiten aus Abbildung 4 anhand der Kalkulationsergebnisse für Tag 1. Grundsätzlich zählt die subklinische Mastitis zu der langen Liste der leistungsmindernden Faktoren, die eine optimale Nutzung des genetischen Potentials beeinträchtigen.

3.4 Mastitisinfektion mit Zerstörung der Milchdrüsen

Ein Infektionstyp führt zur Zerstörung der Milchdrüsen und beendet damit deren Fähigkeit Milch zu erzeugen. Dieser Erreger zerstört das Euterviertel und mindert somit die Leistung um rund ein Viertel. Das bedeutet ein Minus von rund 250 bis 300 Euro, wenn die in Abbildung 3 für den Tag 1 dargestellten Kalkulationsergebnisse zu Grunde gelegt werden.

In der Regel ersetzen die Milchviehhälter diese Kuh, weil so genannte „Dreistriche“ eine geringere Jahresleistung erreichen und beim Melken eine besondere Behandlung erfordern.

4 Lahmheit

Zur Bewertung der Lahmheit ist der „body locomotion score“ (bls) geschaffen worden, der eine Skala von eins bis fünf umfasst. Vereinfacht bedeutet die Note eins ein gesundes Tier ohne Schäden an Skelett und Extremitäten. Die Höchstnote fünf steht für vier schmerzende Füße und Beine sowie schwere Schäden am Skelett. Eine detaillierte Beschreibung des bls Konzeptes liefern Hutjens (2004) und das NRC (2001).

Nach NRC (2001) und Robinson (2006) führt ein bls größer eins zur Minderung der Futteraufnahme. Bei hohen Leistungen erhöht das die im ersten Drittel der Laktation unvermeidlichen Energie- und Nährstoffdefizite, die später wieder mit zusätzlichem Aufwand ausgeglichen werden müssen. Abbildung 6 zeigt die prozentuale Abnahme der Futteraufnahme sowie der Milchleistung in Abhängigkeit vom bls nach Hutjens (2004) und Robinson (2006). Sobald der bls den Wert eins übersteigt sinkt die Futteraufnahme. Nach Hutjens (2004) beginnt der Abfall der Milchleistung ab einem bls von zwei. Die Minderung der Leistung und der Futteraufnahme nimmt mit zunehmender Einschränkung der Beweglichkeit, also steigendem bls, überproportional zu.

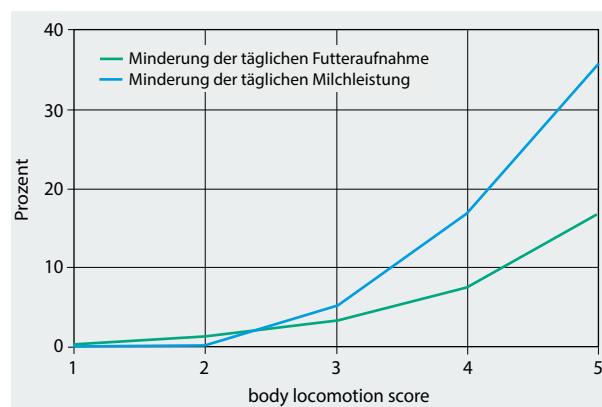


Abbildung 6

Prozentuale Minderung der Futteraufnahme und der Milchleistung in Abhängigkeit vom bls nach Hutjens (2004) und Robinson (2006)

Abbildung 7 zeigt die Minderung der Futteraufnahme in Abhängigkeit vom Zeitpunkt der Behandlung nach Hutjens (2004) und Robinson (2006), für eine Kuh in 2. Laktation, mit 9.500 kg Milch, 675 kg Lebendgewicht, einer ZKZ von 365 Tagen und einer Bemessung der Futteraufnahme nach NRC (2001). Dabei werden ein bls von fünf zum Zeitpunkt der Behandlung und eine Dauer der Rekonvaleszenz von 10 Tagen unterstellt. Vor der Behandlung wird ein Tag je bls-Punkt als Einstieg in die Erkrankung angerechnet. Abbildung 7 präsentiert die errechnete Minderung der Futteraufnahme. Bei der ökonomischen Bewertung ist zu berücksichtigen, dass nach rund 250 Tagen die Futteraufnahmekapazität nicht mehr im vollen Umfang für eine bedarfsgerechte Versorgung benötigt wird.

Im Gegensatz zu Robinson (2006) ermittelte Hutjens (2004) eine Depression der Milchleistung. In Abbildung 8 werden die Ergebnisse der Kalkulationen mit der von Hutjens genannten Minderung dargestellt. Zusätzlich wird die mit dem Rückgang der Futteraufnahme (Robinson, 2006) verbundene Einbuße der Milchleistung ausgewiesen. Die verringerte Futteraufnahme führt nur bis zum 270sten Tag der ZKZ zu Verlusten, danach fällt die Futteraufnahmekapazität höher aus als für eine bedarfsgerechte Fütterung erforderlich.

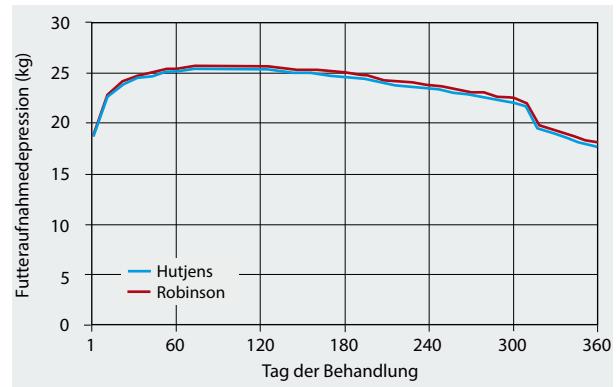


Abbildung 7

Minderung der Futteraufnahme (kg je Kuh und ZKZ) in Abhängigkeit vom Zeitpunkt der Behandlung für die Bewertung nach Hutjens (2004) und Robinson (2006), für eine Kuh in 2. Laktation mit 9.500 kg Milchleistung, einer ZKZ von 365 Tagen und Bemessung der Futteraufnahme nach NRC (2001)

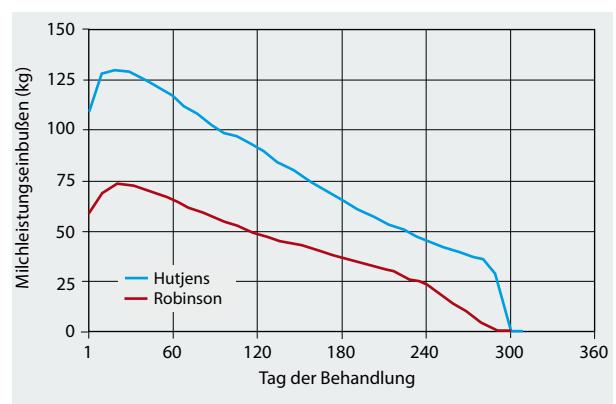


Abbildung 8

Minderung der Milchleistung in Abhängigkeit vom Zeitpunkt der Behandlung für die Bewertung nach Hutjens (2004) und Robinson (2006)

Die Kuh in 2. Laktation, mit 9.500 kg Milch, 675 kg Lebendgewicht, einer ZKZ von 365 Tagen muss bei den hier vorgegebenen Futterqualitäten einen minimalen bcs von 1,25 erzielen, das entspricht einem Abbau von 75 kg Körpersubstanz, die zur Milchbildung eingesetzt wird. Abbildung 9 weist den

minimalen bcs bei Lahmheit mit einem bls der Stufe 5 in Abhängigkeit vom Zeitpunkt der Behandlung auf. Trifft die von Hutjens (2004) genannte Minderung der Milchleistung zu, sinkt der bcs nicht auf den Wert 1, denn der vom Autor ermittelte Leistungsrückgang von 36 % (Abbildung 6) reduziert den Energie- und Nährstoffbedarf erheblich.

Robinson (2006) unterstellt eine verringerte Futteraufnahme durch Lahmheit, die wiederum einen Rückgang der Milchleistung verursacht. Die Bilanzierung der Energie (Abbildung 9) ergibt, dass der bcs im vierten und fünften Monat einen kritischen Wert unter eins annimmt.

Diese beiden Ergebnisse stehen zunächst nicht im Einklang mit den Erfahrungen bzw. Beobachtungen der Milchviehhalter, die einen Gewichtsverlust der lahmen Kühe als eine Folge der geringeren Futteraufnahme ansehen. Die Kalkulationen offenbaren jedoch, dass

- sich bei frühem Beginn der Lahmheit nach der Heilung der Gewichtsverlust fortsetzt und
- bei späterem Beginn der Lahmheit schon vorher ein erheblicher Gewichtsverlust bei Hochleistungskühen zu verzeichnen ist.

Tritt die Lahmheit in der Phase des Wiederaufbaus der Körpersubstanz auf – das ist bei den hier unterstellten Kennzahlen der Kuh ab fünften Monat der Laktation – verzögert sich nur der energetische Bilanzausgleich. Ein erneuter Abbau von Körpersubstanz wäre erst bei deutlich höheren Minderungsraten der Futteraufnahme zu erwarten, als sie von Hutjens (2004) und Robinson (2006) ermittelt wurden.

Bisher wird von einem bls von fünf, also der höchsten Stufe der Immobilität, bei der Schätzung der Verluste ausgegangen. Abbildung 11 stellt die Verluste für alle Stufen des bls (gesunde Kuh bis hin zu schwersten Schäden an Klauen und Knochengerüst) dar. Die Ergebnisse sind ein Beleg für die Effizienz der Früherkennung von Erkrankungen. Beginnt die Heilung frühzeitig, also bei einem bls von zwei oder drei, dann belaufen sich die Verluste auf weniger als 10 Euro. Sie verdoppeln sich jedoch, wenn der bls um einen Punkt steigt.

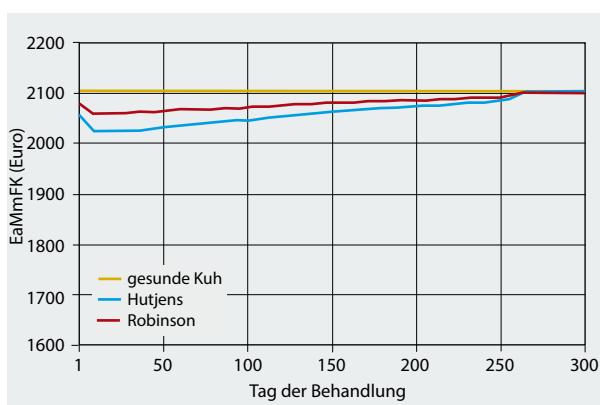


Abbildung 10
Erlös aus Milch minus Futterkosten in Abhängigkeit vom Zeitpunkt der Behandlung für die Bewertung nach Hutjens (2004) und Robinson (2006)

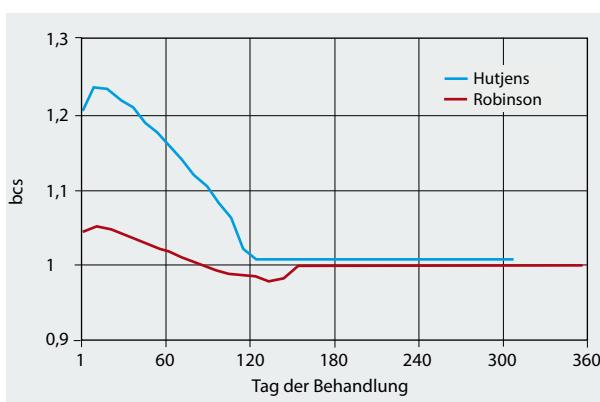


Abbildung 9
Minimaler bcs in Abhängigkeit vom Zeitpunkt der Behandlung für die Bewertung nach Hutjens (2004) und Robinson (2006)

Abbildung 10 zeigt die Entwicklung der EaMmFK für die Bewertung der Lahmheit. Während die gesunde Kuh 2.100 Euro erzielt, sinken die EaMmFK auf minimal 2.035 Euro, werden die Angaben von Hutjens (2004) unterstellt. Die Annahmen von Robinson (2006) mindern die EaMmFK auf 2.065 Euro. Damit ergeben sich Verluste von weniger als 65 bzw. 35 Euro, obwohl die höchste Immobilitätsstufe, ein bls von fünf, kalkuliert wird.

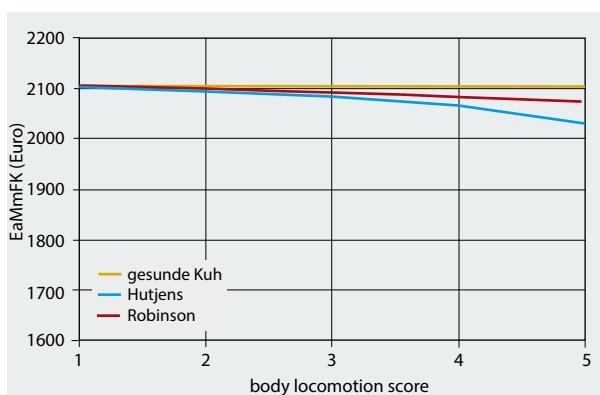


Abbildung 11
Erlös aus Milch minus Futterkosten in Abhängigkeit vom bls, bei einer Bewertung nach Hutjens (2004) und Robinson (2006)

Neben der Früherkennung führt eine schnelle Rekonvaleszenz zu geringeren Verlusten. Abbildung 12 präsentiert den Abfall der Erlöse aus Milch minus Futterkosten bei zunehmender Dauer der Heilung. Erneut zeigt sich ein deutlicher Unterschied zwischen den Bewertungen der Lahmheit durch Hutjens (2004) und Robinson (2006).

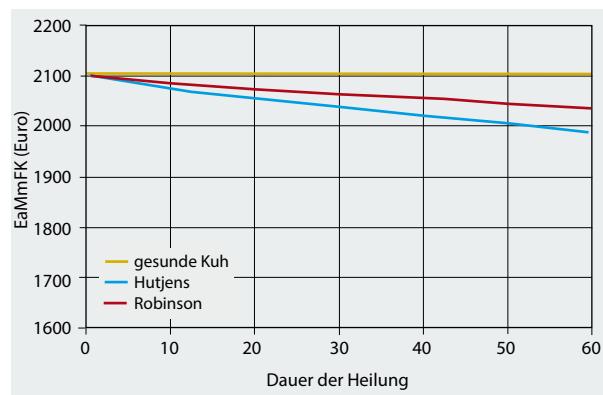


Abbildung 12

Erlös aus Milch minus Futterkosten in Abhängigkeit von der Dauer des Heilungsprozesses, bei einer Bewertung nach Hutjens (2004) und Robinson (2006)

5 Bewertung

Ein Rückblick auf die Ergebnisse aus den rd. 70 Betrieben des „Arbeitskreises Forschung und Praxis“ aus den Jahren 1980 bis 2000 legt nahe, dass das Niveau der Zellzahl, die Häufigkeit von Mastitis sowie Klauen- und Skelettschäden die Effizienz der Milchproduktion zwar mitbestimmen, aber keineswegs die Differenzen zwischen den Gewinnen der einzelnen Betriebe erklären.

Sowohl bei der Mastitis als auch der Lahmheit hängt das Ausmaß der Verluste von der Aggressivität der Krankheitserreger einerseits und der Widerstandskraft der Milchkuh andererseits ab. Die Milchviehhalter versuchen diesen Widerstreit zu Gunsten der Gesunderhaltung der Kühe zu beeinflussen, indem sie

- günstige Haltungsbedingungen schaffen,
- die Konstitution der Tiere stärken,
- die Tiere, die Technik sowie die Haltung kontrollieren und
- das Fachwissen der Veterinäre, Spezialberatung und Berufskollegen nutzen.

Kalkulationen ergeben, dass die Verluste durch Mastitis und Lahmheit nur dann wesentlich höher ausfallen als die Kosten der Behandlung, wenn die ungünstigsten Schätzungen zu treffen. Die Befürchtungen der Milchviehhalter, dass wie in den USA die Verluste durch Mastitis und Lahmheit bzw. Schäden am Bewegungsapparat in Kombination mit den Behandlungskosten zum bedeutendsten Problem werden, treffen nur dann zu, wenn diese Krankheiten das Geschehen im Bestand dominieren. Die Daten aus den beiden Herden machen deutlich, dass die Mastitis weniger als 10 % der Kühe und die Behandlungen von Klauen und Extremitäten weniger als 8 % der Herde betrifft.

Dagegen nennt Lührmann (2007) eine Erkrankungshäufigkeit von 17,5 % für Mastitis in seiner Beispielherde. Hutjens (2004) ermittelte folgende Anteile:

- 75 % der Milchkühe weisen einen bls von eins,
- 15 % einen bls von zwei,
- 9 % einen bls von drei und
- 1 % einen bls von vier bis fünf auf.

Die tatsächlichen Einbußen ergeben sich aus den Verlusten je Erkrankung und der Häufigkeit ihres Auftretens. Mastitis sowie Klauen- und Skelettprobleme rangieren zurzeit auf den vorderen Plätzen der kostenträchtigsten Erkrankungen, jedoch gibt es darüber hinaus eine Vielzahl von weiteren gesundheitlichen Belastungen wie Stoffwechselbeschwerden, Fruchtbarkeitsprobleme etc., die die Milchviehhaltung gefährden. Träfen die jeweils ungünstigen Verlustschätzungen zu und würden die übrigen Krankheiten gleichermaßen einzbezogen, wäre eine wirtschaftliche Milchproduktion kaum möglich.

Die Ergebnisse der Schätzung der Methanproduktion, der tierspezifischen Klimaeinflüsse, der tierspezifischen Futteraufnahme und auch der Verluste bei Erkrankungen weisen erhebliche Unterschiede auf. Hier soll kein Zweifel an diesen Ergebnissen selbst angemeldet werden, aber Experimente sind nur möglich, wenn die Zahl der Einflussgrößen klein gehalten wird, und Erhebungen nur durchführbar, wenn die Zahl der Fragen überschaubar bleibt. Dem steht diametral gegenüber, dass

- das von Paul (1990) vorgestellte Programm „Physiologie der Milchkuh“ mit 1.200 Variablen arbeitet,
- die von NRC (2001) entwickelte Software zur Rationsgestaltung 200 Variablen beansprucht und
- das Simulationssystem über 500 zu kalkulierende Größen (Walter, 2008) benötigt.

Derart viele Parameter, Kennzahlen und Beziehungen sind erforderlich, um das komplexe Geschehen mit seinen vielen ähnlichen oder gegenläufig wirkenden Einflussfaktoren korrekt berücksichtigen zu können. Bei der Zuordnung von Ursache und Wirkung ist Vorsicht geboten, wenn Beziehungen und Kennzahlen unbekannt sind und unberücksichtigt bleiben. Am Beispiel der Energie- und Nährstoffbilanzen ist die Frage zu stellen, ob die Milchleistungseinbußen durch eine Mastitis im ersten Drittel der Laktation mit ihren ausgeprägten Energie- und Nährstoffdefiziten nicht wesentlich höher ausfallen muss als in den letzten Monaten der Laktation mit ausgewogenen Bilanzen.

Dieser Beitrag stellt kein bestimmtes Verlustniveau als zutreffend heraus, vielmehr lassen sich nur Bandbreiten ausspielen, weil die bisher veröffentlichten Ergebnisse beträchtliche Unterschiede aufweisen.

Literatur

- Halasa T, Mielen M, De Roos APW, Van Hoorn R, De Jong G, Lam TJGM, Van Werfen T, Hogewege H (2009) Production loss due to new subclinical mastitis in Dutch dairy cows estimated with a test-day model. J Dairy Sci 92:599-606
- Hutjens H (2004) Hoof health and feeding relationships [online]. Zu finden in <<http://www.livestocktrail.illinois.edu/dairynet/paperDisplay.cfm?ContentID=6689>> [zitiert am 20.12.2012]

- Lührmann B (2007) Was kostet eine Mastitis. Milchpraxis 45:48-52
- NRC - National Research Council (2001) Nutritient requirements of dairy cattle. Washington : National Acad Pr, 381 p
- Parker KI, Compton C, Annis FM, Weir A, Heuer C, McDougall S (2006) Sub-clinical and clinical mastitis in heifers following the use of a teat sealant precalving. J Dairy Sci 90:207-218
- Paul W (1990) Physiologie der Milchkuh : eine mathematische Systemanalyse. Braunschweig : FAL, 290 p, Landbauforsch Völkenrode SH 116
- Pritchard D (2005) Mastitis und Fruchtbarkeit [online]. Zu finden in <www.elite-magazin.de/archiv/Mastitis-und-Fruchtbarkeit-1086990.html> [zitiert am 20.08.2013]
- Robinson PH (2006) Excel spreadsheet : PredDMI.xls, NRGREQ.xls [online]. Zu finden in <<http://animalscience.ucdavis.edu/faculty/robinson/Excel/default.htm>> [zitiert am 22.08.2013]
- Walter K (2008) Das Simulationsprogramm „Milchproduktion der Zukunft“ – methodischer Ansatz und Realisierung : Version 1.2. Braunschweig : FAL, 95 p, Ber Inst Agrartechnol Biosystemtechnik 398
- Walter K (2004) Analyse der Beziehung zwischen den Kosten für Tierarzt und Medikamente in der Milchviehhaltung und der Produktionstechnik, dem Futterbau, der Arbeitswirtschaft sowie der Faktorausstattung ausgewählter norddeutscher Betriebe. Braunschweig : FAL, 165 p, Landbauforsch Völkenrode SH 270
- Wangler A (2013) Jungkühe gehen zu früh ab [online]. Zu finden in <<http://www.elite-magazin.de/gesundheit/Jungkuehe-gehen-zu-frueh-ab-1152147.html>> [zitiert am 19.08.2013]

Inhalt · Content

- Dierk Kownatzki und Wolf-Ulrich Kriebitzsch
Naturschutzanforderungen an die Forstwirtschaft: Douglasienvorkommen in Fauna-Flora-Habitat-(FFH)-Gebieten
- 201 Nature protection demands on forestry: presence of Douglas-fir in Natura 2000 sites
Sarah Baum, Martin Weih and Andreas Bolte
Floristic diversity in Short Rotation Coppice (SRC) plantations: Comparison between soil seed bank and recent vegetation
- 221 Floristische Vielfalt in Kurzumtriebsplantagen (KUP): Vergleich zwischen Diasporenbank und aktueller Vegetation
Malek Almethyeb, Silke Ruppel, Hans-Marten Paulsen, Nikolay Vassilev and Bettina Eichler-Löbermann
Single and combined applications of arbuscular mycorrhizal fungi and *Enterobacter radicincitans* affect nutrient uptake of faba bean and soil biological characteristics
Einzel- und Kombinationseffekte von Mykorrhizapilzen und *Enterobacter radicincitans* auf
- 229 die Nährstoffaufnahme von Bohnen und bodenbiologische Parameter
Maximilian Severin, Christian Ahl, Martin Kücke, Herman Van den Weghe und Jörg-Michael Greef
Phosphatlöslichkeiten und Phosphatdüngewirkung von Stoffen aus der Klärschlammaufbereitung – Betrachtung unterschiedlicher Aufbereitungsverfahren
Phosphate solubility and phosphate fertilizer effect of substances from sludge treatment – analysis of different treatment methods
- 235 Jutta Berk, Christoph Schumacher, Maria-Elisabeth Krautwald-Junghanns, Madeleine Martin und Thomas Bartels
Verweildauer von Mastputen verschiedener Herkünfte im Bereich von Tränke- und Fütterungseinrichtungen
- 245 Time spent by fattening turkeys of different strains in feeding and drinking areas
Klaus Walter
Fütterung und Haltung von Hochleistungskühen
8. Verluste durch Mastitis und Lahmheit
The feeding and husbandry of high performance cows
- 255 Part 8. Losses from mastitis and lameness

Landbauforschung
*Applied Agricultural
and Forestry Research*

Herausgeber · Editor
Johann Heinrich von Thünen-Institut
Bundesallee 50
38116 Braunschweig
Germany

Vol. 63

No. 3 · 09.2013

Preis · Price 8 €

ISSN 0458-6859