

BIOLOGISCHE INVASIONEN – GEFAHREN FÜR ÖKOSYSTEME?

Harald Auge, Roland Brandl, Stefan Klotz,
Jutta Stadler, Mark Frenzel und Leo Soldaat

Zu den globalen Umweltproblemen der heutigen Zeit zählt die alarmierende Abnahme der biologischen Vielfalt (Biodiversität). Neben dem Aussterben von Arten beeinflusst auch die Ausbreitung von Organismen in Ökosystemen, in denen sie vorher nicht vorhanden waren, die Biodiversität auf direktem oder indirektem Wege. Von besonderer Bedeutung ist es, wenn Arten außerhalb ihres bisherigen Arealen Populationen aufbauen und damit ihr Verbreitungsgebiet dauerhaft erweitern. Diesen biogeografischen Prozess bezeichnet man als biologische Invasion. Zwar zeichneten sich die Verbreitungsgebiete der Arten schon immer durch eine natürliche Dynamik aus. Durch den Menschen erreichten die Arealveränderungen jedoch eine neue Dimension, indem (1) natürliche Ausbreitungsschranken überbrückt, (2) Umweltverhältnisse nachhaltig verändert und (3) Eigenschaften von Organismen züchterisch beeinflusst wurden. Den 1607 in Mittel- und Nordostdeutschland heimischen Pflanzenarten stehen zum Beispiel 601 eingeschleppte Arten gegenüber, die damit circa 27% der Gesamtflora ausmachen.

Das wissenschaftliche Interesse an biologischen Invasionen hat folgende Gründe: Die durch Invasionsarten zum Teil hervorgerufenen Schäden erfordern eine anwendungsorientierte Forschung, um ökologische oder ökonomische Auswirkungen der Invasion zu erkennen und Managementmaßnahmen abzuleiten.

Biologische Invasionen können als natürliche Experimente für die Grundlagenforschung betrachtet werden, anhand welcher generelle Mechanismen biogeografischer Prozesse analysiert werden können.

Durch welche Merkmale sind Invasionsarten gekennzeichnet?

Gebietsfremde Pflanzen- und Tierarten wurden und werden in hoher Zahl entweder unbeabsichtigt eingeschleppt oder absichtlich importiert. Die Zahl derjenigen Arten, die tatsächlich verwildern, liegt jedoch eine Größenordnung unter der Zahl der eingeführten Arten, und von diesen kann sich wiederum nur ca. 1/10 dauerhaft etablieren (»tens rule«; vgl. Tabelle). Die großen Unterschiede im Invasionserfolg eingeführter Pflanzen- und Tierarten werfen die Frage auf, ob es biologische Merkmale gibt, die eine Art zur erfolgreichen Invasionsart machen (Bild 1). Könnte man solche Eigenschaften finden, wäre dadurch eine Möglichkeit gegeben, Invasionsrisiko und Ausbreitungsgeschwindigkeit neu eingeführter bzw. ausgesetzter Organismen abzuschätzen. Grundsätzliche Einsichten über Ausbreitungsprozesse sind auch durch die Analyse natürlicher Arealveränderungen möglich, die mittels molekulargenetischer Methoden rekonstruiert werden können.

Erste Hinweise auf die biologischen Eigenschaften, die es

Der Einwanderungserfolg eingeführter Samenpflanzen in Großbritannien¹ und eingeführter Gehölzarten in Deutschland²

	florene fremde Samenpflanzen in Großbritannien		florene fremde Gehölze in Deutschland	
	Anzahl	%	Anzahl	%
eingeführt	12.507	100	3.150	100
verwildert	1.642	13	210	6,7
dauerhaft etabliert	210	1,7	64	2,0
Schäden verursachend	39	0,31	9	0,29

¹ nach Williamson (1996) ² nach Kowarik, L. (1996): Auswirkungen von Neophyten auf Ökosysteme und deren Bewertung. Berlin: Texte des Umweltbundesamtes 58/96, S. 119-155

Arten erlauben, in einem neuen Gebiet Fuß zu fassen, liefert der Vergleich des eingewanderten Artenspektrums mit der Artenzusammensetzung im Ursprungsgebiet. Beispielsweise widerspiegeln die europäischen Pflanzenarten, die in Argentinien registriert wurden, die taxonomische Zusammensetzung der europäischen Flora, jedoch ergeben sich

interessante Abweichungen im Detail. So sind Gräser (Poaceae) und Korbblütler (Asteraceae) weit häufiger unter den eingewanderten Arten zu finden, als man aufgrund ihres Anteils an der europäischen Flora erwarten würde. Bei den Sauergräsern (Cyperaceae) ist es dagegen umgekehrt. Korbblütler sind in ihrer Mehrzahl schnellwüchsig, kurzlebig, mit einer hohen Samenproduktion, einer stabilen Samenbank und einem hohen Ausbreitungspotential (man denke nur an die Windverbreitung des Löwenzahns, *Taraxacum officinale*). Diese Eigenschaften erlauben die schnelle Nutzung von Chancen, wodurch sich auch die Wahrscheinlichkeit erhöht, in einer neuen biogeografischen Region zumindest eine Gründerpopulation zu etablieren.

Der Nachweis einer Gründerpopulation erlaubt aber noch keine Rückschlüsse, ob eine Art es auch schaffen kann, im neuen Gebiet wirklich erfolgreich zu sein. So hat es von den über 100 europäischen Pflanzenarten, die in Mendoza, einer argentinischen Stadt am Fuße der Anden, gefunden wurden, vor allem eine Art geschafft, in natürliche Pflanzengemeinschaften vorzudringen: die Königskerze, *Verbascum thapsus* (Bild 1). Derartige Einzelerfolge erlauben natürlich keine verallgemeinernden Aussagen. Interessanterweise findet man eine Korrelation zwischen der Ausdehnung des Areals im Heimatgebiet mit der Ausdehnung im neuen Gebiet. Zumindest liefert dies einen Hinweis, dass es die gleichen physiologischen und populationsökologischen Faktoren sind, die die Ausbreitung im Heimatareal und im neuen Gebiet steuern. Der Erfolg einer neophytischen Art (Pflanzenart, die nach 1500 eingewandert ist oder eingeschleppt wurde) ist aber nicht nur eine Frage ihrer biologischen Eigenschaften, sondern auch der Eigenschaften der Ökosysteme im neuen Verbreitungsgebiet.

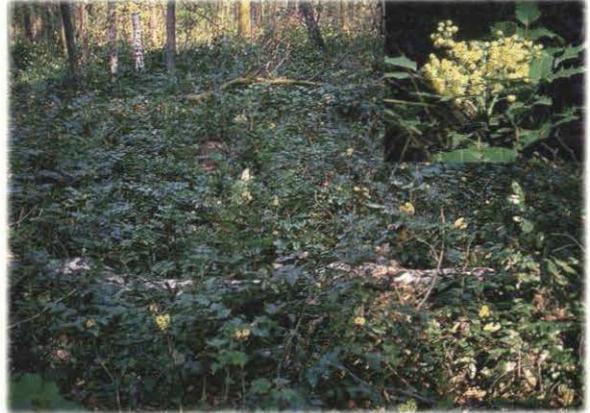


Bild 1: Nicht alle invasorischen Pflanzenarten können in ihrem neuen Verbreitungsgebiet solche Dominanzbestände in naturnaher Vegetation ausbilden wie die aus dem westlichen Nordamerika stammende Mahonie (*Mahonia aquifolium*) in Kiefernforsten Mitteldeutschlands (oben), das aus dem Himalaya eingeführte Drüsige Springkraut (*Impatiens glandulifera*, Mitte) oder die europäische Königskerze (*Verbascum thapsus*) in den argentinischen Anden (unten).

(Fotos: Stefan Klotz, UFZ)

Welche Eigenschaften der Ökosysteme begünstigen biologische Invasionen?

Invasionspflanzen sind nicht zufällig über alle Standorte einer bestimmten Region verteilt: So sind Standorte, die sich nahe an den entsprechenden Diasporenquellen (Gärten, Parks usw.) befinden oder die sich durch intensive und häufige anthropogene Störungen auszeichnen, überdurchschnittlich reich an Invasionsarten. Zum Beispiel können Fremdarten bis zu 50% am Aufbau der Stadtfloren beteiligt

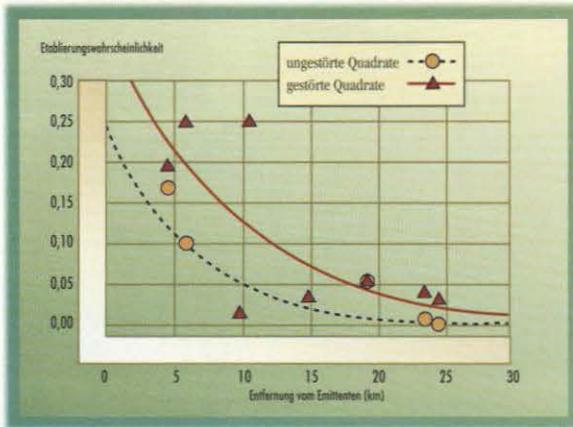


Bild 2: Mit zunehmender Belastung der Kiefernforste durch kalkhaltige Immissionen erhöht sich die Wahrscheinlichkeit, dass sich aus einem eingetragenen Samen der Invasionsart *Mahonia aquifolium* ein Keimling etablieren kann. Die Chance einer erfolgreichen Etablierung vergrößert sich zusätzlich noch, wenn die zwischenartliche Konkurrenz durch mechanische Störungen vermindert wird.

sein. Eine quantitative Analyse der britischen Flora ergab eine positive Korrelation zwischen dem Vorkommen von Invasionspflanzen und dem Anteil vegetationsfreien Bodens, was auf die Bedeutung interspezifischer Konkurrenz für den Erfolg florenfremder Pflanzenarten hindeutet. Die Frage, ob und warum ein spezielles Ökosystem durch eine Invasionsart kolonisiert wird, kann nur durch detaillierte Fallstudien beantwortet werden. In Kiefernforsten Mittel- und Ostdeutschlands zeigte sich zum Beispiel, dass Invasionsarten vor allem an solchen Standorten auftreten, die in der Vergangenheit stark durch kalkhaltige Immissionen beeinflusst wurden. Unter diesen Invasionspflanzen spielt die Mahonie (*Mahonia aquifolium*), ein im 19. Jahrhundert aus Nordamerika eingeführter Zierstrauch, eine wichtige Rolle (Bild 1). Da die Neugründung lokaler Mahonia-Populationen allein durch Samen erfolgt, kommt der Etablierung von Keimlingen eine Schlüssel-

rolle im Invasionsprozess zu. In einem Aussaatexperiment konnte gezeigt werden, dass die Etablierungswahrscheinlichkeit durch den Wegfall interspezifischer Konkurrenz erhöht wird, darüber hinaus aber auch in Emittentennähe drastisch ansteigt (Bild 2). Ein Gewächshausversuch ergab weiterhin, dass die Etablierung der Mahonia-Keimlinge entscheidend vom Basengehalt des Waldbodens abhängt. Aus den Ergebnissen beider Experimente lässt sich schlussfolgern, dass der Invasionserfolg und das Verbreitungsmuster dieser Fremdart in einer forstlich dominierten Landschaft vor allem durch die Bodeneigenschaften und deren anthropogene Veränderung gesteuert werden.

Welche Auswirkungen haben biologische Invasionen auf die betroffenen Ökosysteme?

Zwar haben die meisten Invasionen keine nachweisbaren ökologischen und ökonomischen Folgen (Tabelle), jedoch sind – weltweit gesehen – beträchtliche Schäden auf einige der Invasionsarten zurückzuführen. Die negativen Auswirkungen biologischer Invasionen reichen von der Verdrängung einheimischer Arten bis hin zu tiefgreifenden Veränderungen wesentlicher Ökosystemprozesse. Darüber hinaus kann der »Unkrautcharakter« bestimmter Invasionsarten zu unmittelbaren wirtschaftlichen Einbußen auf land- oder forstwirtschaftlich genutzten Flächen führen. Die aus Nordamerika stammende Spätblühende Traubenkirsche (*Prunus serotina*) vermindert in europäischen Wäldern zum Beispiel die Naturverjüngung und die Produktionsleistung der Hauptbaumarten und behindert forstliche Arbeiten.

Die Wechselbeziehungen zwischen den Invasionsarten und den Gliedern des jeweiligen Ökosystems haben jedoch auch oft Konsequenzen, die weniger spektakulär sind. So können Invasionsarten durch Bastardierung mit verwandten einheimischen Arten den Genpool verändern und auf diese Weise sogar zur Evolution neuer Taxa führen. Teilweise sind es gerade auch die Hybriden zwischen florenfremden Arten beziehungsweise zwischen fremden und einheimischen Arten, die ihrerseits als Invasoren Bedeutung erlangen (zum Beispiel die Elbe-Spitzklette, *Xanthium albinum*, oder das Englische Schlickgras, *Spartina anglica*). Darüber hinaus können die Invasionsarten durch ihre Konkurrenzkraft den lokalen Artenreichtum vermindern.

Zum Beispiel ist die Artenzahl an Stellen, die durch den bereits erwähnten Strauch *Mabonia aquifolium* bewachsen sind, deutlich verringert (Bild 3). Das ist im wesentlichen auf eine verminderte Individuendichte der vorwiegend einheimischen Kräuter und Gehölze zurückzuführen, nicht jedoch auf eine veränderte Artenzusammensetzung. Dieser Einfluss der Invasion verstärkt sich gegenwärtig noch, da die Mahonia-Populationen im Wachstum begriffen sind. Neben diesen Effekten auf gleicher trophischer Ebene (»horizontale« Wirkungen) sind die Interaktionen der Invasionsarten mit nachfolgenden Gliedern der Nahrungskette (»vertikale« Wirkungen) von Bedeutung. Zwar besteht generell die Auffassung, dass Neophyten arm an pflanzenfressenden (phytophagen) Insekten seien. So wird ein geringer Phytophagendruck sogar oft als ein wesentlicher Grund für den Invasionserfolg florenfremder Pflanzen angesehen. Jedoch werden florenfremde Pflanzen oft schnell von Phytophagen besiedelt, deren Diversität dann von der Häufigkeit, der taxonomischen Isolation und dem Zeitraum seit der Einführung der jeweiligen Pflanzenart abhängen kann. So ergaben Untersuchungen an Kreuzblütlern, dass die pflanzenfressende Insektenfauna auf Neophyten im Vergleich zu heimischen Wirtsarten nicht artenärmer ist und sich auch in der Verteilung der einzelnen Gilden nicht unterscheidet (Bild 4). Dies lässt sich unter anderem durch die für Kreuzblütler typischen Inhaltsstoffe (Senfölglykoside) erklären: Die Insekten, welche an diese Gruppe pflanzlicher Abwehrstoffe angepasst sind, können ihr Wirtsspektrum leicht erweitern.

Werden Fremdpflanzen durch heimische Phytophage be-

siedelt, kann dies zu ökologischen und evolutionären Veränderungen in den Phytophagenpopulationen selbst führen. Zum Beispiel kann die einheimische Fruchtfliege *Rhagoletis meigenii* auf der Invasionsart *Mabonia aquifolium* bis zu zehnfach höhere Populationsdichten aufbauen als auf ihrem ursprünglichem Wirt, der Berberitze (*Berberis vulgaris*). Eine andere Fruchtfliege (*Rhagoletis alternata*), die ursprünglich auf der heimischen Hunds-Rose (*Rosa canina*) lebt, befällt in Mitteleuropa die aus Ostasien

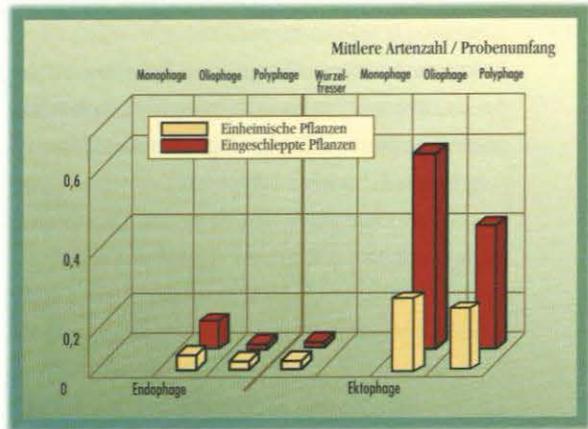


Bild 4: Entgegen den oft generalisierten Befunden bei anderen Pflanzen unterscheiden sich die mittleren Artenzahlen phytophager Insekten (korrigiert auf Probenumfang) auf einheimischen und nach 1500 eingeschleppten Kreuzblütlern kaum. Aufgetragen sind verschiedene Gilden (Endophage: fressen im Pflanzeninneren; Ektophage: fressen außen an der Pflanze) und Spezialisierungsgrade (Monophage: bis zu 2 Wirtsgattungen; Oligophage: eine Wirtsfamilie; Polyphage: mehrere Wirtsfamilien).

stammende Kartoffel-Rose (*Rosa rugosa*). Die Konsequenzen reichen von einem besseren Wachstum und einer kürzeren Entwicklungszeit der Fliegenlarven auf der neuen Wirtspflanze über eine erhöhte Körpergröße und Fruchtbarkeit der geschlechtsreifen Insekten bis hin zu Auswirkungen auf die Parasiten und Räuber, die sich von diesen Phytophagen ernähren. Bei einem ähnlichen System konnten sogar genetische Differenzierungen nachgewiesen werden: Nach seiner Einführung in Nordamerika wurde der europäische Apfelbaum von einer dort heimischen Fruchtfliege (*Rhagoletis pomonella*) besiedelt. Aus diesen Fliegenpopulationen entwickelte sich eine Wirtsrasse, die sich von den ursprünglichen Populationen nicht nur in ihrer Phänologie, sondern auch genetisch unterscheidet.

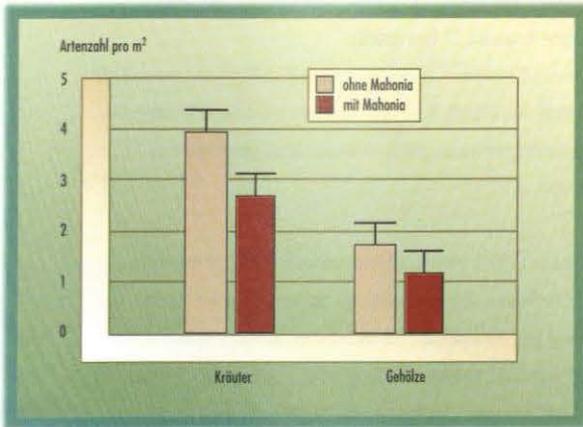


Bild 3: Ein Vergleich von 1m²-Flächen mit und ohne Bewuchs durch *Mabonia aquifolium* verdeutlicht die negative Wirkung dieser sich noch in Ausbreitung befindlichen Invasionspflanze auf die biologische Vielfalt: Sowohl der lokale Artenreichtum an krautigen Pflanzen als auch die Naturverjüngung von Gehölzen wird durch die Konkurrenz der Fremdart deutlich verringert (Mittelwert und Standardfehler).

Ausblick

Eine wichtige Aufgabe wird es zukünftig sein, biologische Invasionen anhand von Merkmalen der Arten (unter Berücksichtigung phylogenetischer Zusammenhänge) und anhand von Ökosystemeigenschaften vorherzusagen.

Wissenschaftliche Analysen sowie Bewertungen aus der Sicht des Naturschutzes beziehungsweise aus wirtschaftlicher Perspektive müssen die Grundlage dafür bilden, Entscheidungen über die oft teuren Maßnahmen zum Management von Invasionsarten zu fällen.

Biologische Invasionen können als ein Modell genutzt werden, um Wahrscheinlichkeitsaussagen zum Verhalten freigesetzter, genetisch veränderter Organismen abzuleiten («exotic species model»).

Themenbezogene Literatur

- Amarell, U.; Welk, E. (1995): *Amelanchier alnifolia* (Nutt.) Nutt. - ein unbeachteter Neophyt in Mitteldeutschland. Mitteilung der floristischen Kartierung Halle 20, 21-23.
- Auge, H. (1997): Biologische Invasionen: Das Beispiel *Mabonia aquifolium*. In: Feldmann, R.; Henle, K.; Auge, H.; Flachowsky, J.; Klotz, S.; Krönert, R. (Hrsg.): Regeneration und nachhaltige Landnutzung: Konzepte für belastete Regionen. Berlin: Springer Verlag, 124-129.
- Auge, H.; Brandl, R. (1997): Seedling recruitment in the invasive clonal shrub, *Mabonia aquifolium*. *Oecologia* 110, 205-211.
- Auge, H.; Brandl, R.; Fussy, M. (1997): Phenotypic variation, herbivory and fungal infection in the clonal shrub *Mabonia aquifolium* (Berberidaceae). *Mitt. Deutsch. Ges. Allgem. Angew. Entomol.* 11 (im Druck).
- Eber, S.; Brandl, R. (1994): Ecological and genetic spatial patterns of *Urophora cardui* (Diptera: Tephritidae) as evidence for population structure and biogeographical processes. *Journal of Animal Ecology* 63, 187-199.
- Eber, S.; Brandl, R. (1997): Population genetics of the tephritid fly *Urophora cardui* in Europe. *Molecular Ecology* 6, 651-660.
- Frenzel, M.; Brandl, R. (1997): The structure of the phytophagous fauna on neophytic Brassicaceae. *Mitt. Deutsch. Ges. Allgem. Angew. Entomol.* 11 (im Druck).
- Frenzel, M.; Brandl, R. (1997): Diversity and composition of phytophagous insect guilds on Brassicaceae. *Oecologia* (im Druck).
- Klotz, S. (1995): Floristisch-vegetationskundliche Untersuchungen in Städten Mitteldeutschlands als Grundlage für Landschaftspflege und Naturschutz. In: Sächsisches Staatsministerium für Umwelt und Landesentwicklung (Hrsg.): 1. Leipziger Symposium »Stadtökologie in Sachsen«, Tagungsband, 87-91.
- Klotz, S.; Ojeda, R.; Brandl, R. (1997): Fremdländische Pflanzenarten in Argentinien - ökologische Merkmale von europäischen Arten in Südamerika. In: Großer, B. (Hrsg.): Regionalökologie. Leipzig: UFZ-Umweltforschungszentrum Leipzig-Halle (UFZ-Bericht 3/1997).

Leclaire, M.; Brandl, R. (1994): Phenotypic plasticity and nutrition in a phytophagous insect: consequences of colonizing a new host. *Oecologia* **100**, 379-385.

Soldaat, L.; Auge, H. (1998): Interactions between an invasive plant, *Mabonia aquifolium*, and a native phytophagous insect, *Rhagoletis meigenii*. In: Starfinger, U.; Edwards, K.; Kowarik, I.; Williamson, M. (eds.): Plant invasions. Ecological Consequences and Human Responses. Leiden: Backhuys Publishers (im Druck).

Stadler, J.; Mungai, G.; Brandl, R. (1997): Weed invasions in East Africa: insights from herbarium records. *African Journal of Ecology* (im Druck).

Allgemeine Literatur

Bush, G.L. (1992): Host race formation and sympatric speciation in *Rhagoletis* fruit flies (Diptera: Tephritidae). *Psyche* **99**, 335-357.

Crawley, M. J.; Harvey, P. H.; Purvis, A. (1996): Comparative ecology of the native and alien floras of the British Isles. *Phil. Trans. R. Soc. Lond. B.* **351**, 1251-1259.

Drake, J. A.; Mooney, H. A.; di Castri, F.; Groves, R. H.; Kruger, F. J.; Rejmanek, M.; Williamson, M. (eds.) (1989): Biological invasions - a global perspective. Chichester: J. Wiley.

Lodge, D. M. (1993): Biological invasions: lessons for ecology. *TREE* **8**, 133-137.

Williamson, M. (1996): Biological invasions. London: Chapman and Hall.

English Abstract

Do biological invasions pose a threat to ecosystems?

One of the current global environmental problems is the alarming decrease in biodiversity. Biological diversity is affected not only by the extinction of species but also by the spread of organisms into ecosystems in which they were previously absent. The latter phenomenon is of special ecological importance if species establish populations beyond the boundaries of their previous range. This biogeographical process of range expansion is termed 'biological invasion'. Although the distribution of species has always been dynamic, human activity accelerated this biogeographical change by (1) bridging dispersal barriers, (2) changing environmental conditions, and (3) altering biological traits of species by breeding. For instance, the 1,607 plant species native in north-eastern and central Germany are faced by 601 alien species naturalized in this region, accounting for ca. 27% of the flora.

Scientific interest in biological invasions has two main reasons: Firstly, the damage caused by some invasive species calls for applied research in order to assess their ecological and economic impact and to develop appropriate management strategies. And secondly, biological invasions can be regarded as natural experiments for basic ecological research, enabling general biogeographical processes to be analysed.

JAHRESBERICHT / ANNUAL REPORT

1996 - 1997

Gewässerforschung Magdeburg
RS

Jahresbericht 1996-1997

Herausgeber:

UFZ-Umweltforschungszentrum
Leipzig-Halle GmbH
Mitglied der Hermann von Helmholtz-
Gemeinschaft Deutscher Forschungszentren
(HGF)
Permoserstraße 15
04318 Leipzig
Telefon 0341/235-0

Konzept und Redaktion:

Dipl.-Chem. Doris Böhme
Dipl.-Agr.-Päd. Susanne Hufe
Telefon 0341/235-2278

Translation:

Abbey & Friedrich GbR
»The english people«, Leipzig

Fotos:

Norma Neuheiser u.a.

Luftbilder S. 118, 128:

Aerokart Delitzsch

Titel- und Layoutgestaltung:

Foto S. 8/16 und Produktion:
Peter Barczewski

Satz:

Silvio Andree
Karsten Heim
Bernd Jünger
Kerstin Kummer

Belichtung:

Design To Print GmbH

Druck und Verarbeitung:

Messedruck Leipzig GmbH

© August 1998

Abdruck (auch von Teilen) oder sonstige
Verwendung nur nach vorheriger Absprache
mit dem UFZ gestattet.

Gedruckt auf umweltfreundlichem,
chlorfrei gebleichtem Papier

ISSN 0948-6925