

Ein Modell zur Optimierung der Bekämpfung von eingewanderten Fremdpflanzen im Fynbos

Christian Wissel und Ian A. W. MacDonald

Synopsis

The results of a replicated field-scale trial of a range of control treatment for *Acacia saligna* in the fynbos biome were used to create a probabilistic model of the effects of repeated treatment applications. Using estimates of costs/plant treated for each treatment and for each of four size classes of plants, it was possible to compute the costs for every treatment combination. A Markov-chain model was created integrating all the transition probabilities and costing factors. A computerised system allows for the input of different initial densities and size-class distributions, different target population specifications, and different program durations. The system allows for the **a priori** determination of optimal control treatment combinations and sequences and provides managers with forward estimates of budgetary requirements for econtrol programs.

control of alien plants, descriptive model, Markov-chain, optimization

1. Einleitung

Beim Management von Nationalparks und Schutzgebieten und im Naturschutz werden in zunehmendem Maße mathematische Modelle eingesetzt (STARFIELD & BLELOCH 1986). Je nach Problemstellung und Zielsetzung können sie sehr verschiedene Formen annehmen (WISSEL 1989 a, b) und benötigen unterschiedliche mathematische Methoden. In der Regel unterscheiden sie sich von den Modellen, die in der theoretischen Ökologie (WISSEL 1989 b) benutzt werden. Da es dort darum geht, ein Verständnis für die ökologischen Abläufe und Zusammenhänge zu erlangen, verwendet man meist relativ einfache, übersichtliche Modelle, die Einblicke in einzelne ökologische Aspekte vermitteln.

Zwar ist auch für ein optimales ökologisches Management das Verständnis aller relevanten ökologischen Vorgänge und Faktoren anzustreben, doch erlauben die aktuellen Aufgaben oft keine zeitaufwendige Ursachenforschung. Häufig müssen für die anstehenden Probleme schnell Lösungen gefunden werden. In dieser Situation kann man sich sogenannter deskriptiver Modelle (WISSEL 1989 a, b) bedienen. Sie fassen die relevanten Daten und Erfahrungen in kurzer, prägnanter Form zusammen, ohne auf kausale Zusammenhänge einzugehen. Durch Extrapolation auf Situationen, die es zu meistern gilt, versucht man Lösungsansätze für die vorliegenden Probleme zu finden. Ein Modell dieser Art wird im folgenden vorgestellt werden.

2. Problemstellung

Der Fynbos ist eine Pflanzengesellschaft in der südlichen Kapprovinz in Südafrika, die sich durch einen überaus hohen Artenreichtum auszeichnet. Obwohl diese Region nur 0,04 % der Festlandsfläche der Erde umfaßt, beherbergt sie doch eines der sechs existierenden Florenreiche. So kommen im Fynbos mindestens 8.550 Arten von Blütenpflanzen vor, wovon 6.250, das sind 73 %, endemisch sind.

Diese ökologisch wertvolle Pflanzengesellschaft wird durch Pflanzen bedroht, die aus anderen Regionen eingeschleppt wurden. Dabei stellt im Tiefland die australische Akazie, *Acacia*

saligna, das größte Problem dar, da dieser aggressive Kolonisator ausgedehnte Dickichte bildet und in 12.777 km² die einheimischen Pflanzen bereits verdrängt hat. Natürlich hat man diese Fremdpflanzen mit verschiedenen Maßnahmen bekämpft. Doch lagen bisher keine systematischen Kenntnisse über Erfolg und Kosten der verschiedenen Bekämpfungsmethoden vor. So konnten bisher nur circa 9 % der befallenen Flächen einigermaßen erfolgreich von *A. saligna* befreit werden (MACDONALD & al. 1985).

Ziel des hier dargestellten Projektes war es, Erfolg und Kosten der verschiedenen Bekämpfungsmaßnahmen in systematischen Felduntersuchungen zu bestimmen und in einem deskriptiven Modell zu erfassen. Dieses sollte dann benutzt werden, um die Managementmaßnahmen über mehrere Jahre hin in dem Sinn zu optimieren, daß die Bestände der *A. saligna* mit möglichst geringen Kosten auf ausreichend niedrige Dichten reduziert werden. Dabei wurde ganz bewußt darauf verzichtet, die biologischen Gründe für die unterschiedlichen Reaktionen der Akazien auf die Bekämpfungsmaßnahmen zu erforschen, was ein zeitraubendes Unterfangen gewesen wäre. Um die weitere Ausbreitung der Akazien zu verhindern, ist ein schnelles aber effektives Handeln ohne vorherige langwierige Kausalanalyse notwendig.

3. Daten

Ein 260 ha großes Areal mit Küsten-Fynbos, das mit Salignabeständen unterschiedlicher Dichte befallen war, stand für die Untersuchungen zur Verfügung (MACDONALD & WISSEL 1989). Dieses Areal wurde in ein Gitter aus 1 ha großen quadratischen Parzellen unterteilt. Diese Parzellen wurden 16 Gruppen, die einer Klassifizierung nach der Befallsdichte entsprechen, zugeordnet. Innerhalb jeder Gruppe wurden dann die zu untersuchenden Maßnahmen (siehe Tab. 1) zufällig auf die Parzellen verteilt. Damit war sichergestellt, daß für jede Maßnahme eine ausreichend große Probe bei verschiedenen Befallsdichten erhalten wurde.

Tab. 1: Angewandte Bekämpfungsmaßnahmen

Nr.	Maßnahme
T1	Abschneiden knapp über dem Boden. Sämlinge per Hand herausziehen.
T2	Heraushacken des Wurzelstocks, außer bei sehr großen Bäumen, die umgesägt werden. Sämlinge per Hand herausziehen.
T3	Abschneiden ca. 20 cm über dem Boden. Stumpf bis zum Boden entrinden. Sämlinge per Hand herausziehen.
T4	Den Stamm an einer Stelle ringförmig entrinden, falls sein Durchmesser größer als 5 cm ist. Bei den anderen den Wurzelstock heraushacken.
T5	Abschneiden knapp über dem Boden. Stumpf mit Arborizid (5 % Glyphosat in Wasser) einstreichen. Sämlinge per Hand herausziehen.
T6	Abschneiden knapp über dem Boden. Stumpf mit Arborizid (5 % Glyphosat in Wasser) einstreichen. Sämlinge und Wurzeltriebe mit dem Arborizid einsprühen.
T7	Abschneiden knapp über dem Boden. Stumpf mit Arborizid (1 % Triclopyr in Wasser mit 0,5 % Agripon) einstreichen. Wurzeltriebe mit dem Arborizid einsprühen. Sämlinge per Hand herausziehen.

Vor Anwendung der Maßnahmen wurden die Akazien, unterteilt in neun Klassen, in jeder Parzelle gezählt. Die Klasseneinteilung erfolgte unter dem Gesichtspunkt der unterschiedlichen Reaktion auf Bekämpfungsmaßnahmen. So zeigten sich Akazien, die bereits durch Wurzel- oder Stammtrieb eine Bekämpfung überlebt hatten, viel robuster, als solche, die bisher unbehelligt geblieben waren. Letztere wollen wir im folgenden "natürlich" nennen. Innerhalb dieser beiden Kategorien wurde nach Stammdurchmesser in vier Größenklassen (< 1 cm, 1-3 cm, 3-20 cm,

> 20 cm) eingeteilt. Schließlich wurden die Sämlinge separat gezählt. In jeder Parzelle wurde die bei der Anwendung der Maßnahme (siehe Tab. 1) benötigte Zeit und die dabei verbrauchte Menge an Arborizid notiert. Ein Jahr nach der Durchführung der Maßnahmen wurde eine erneute Zählung vorgenommen, um den Erfolg der Bekämpfung zu quantifizieren.

Die so gewonnenen Rohdaten wurden mit folgendem Modell statistisch ausgewertet: Für die Zeit $t(T)$, die zur Durchführung der Maßnahme T in einer Parzelle benötigt wurde, wurde der Ansatz

$$t(T) = t_0(T) + t_1(T) \cdot N_1 + t_2(T) \cdot N_2 + \dots \quad (1)$$

gemacht. Dabei sind die N_i (mit $i = 1, 2, \dots, 9$) die Zahlen der Akazien unterteilt nach den neun Klassen (Wurzelaustrieb, natürlich, Größe, Sämling) innerhalb dieser Parzelle. Also ist $t_0(T)$ die Zeit, die auch beim völligen Fehlen von *A. saligna* zum Durchsuchen einer Parzelle bei der Maßnahme T notwendig ist. Für eine Akazie der Klasse 1 wird bei dieser Maßnahme die Zeit $t_1(T)$ benötigt, für eine der Klasse 2 die Zeit $t_2(T)$ usw. Diese Zeiten sind dann mit den Zahlen N_i der vorhandenen Akazien zu multiplizieren.

Dieser lineare Ansatz (1) wurde an die in den einzelnen Parzellen gemessenen Zeiten durch multiple lineare Regression angepaßt, wobei nur Parzellen mit einer Salignadichte von weniger als 2.000 Pflanzen pro ha berücksichtigt wurden. Bei höheren Dichten d war eine Korrektur notwendig, da dort die Maßnahmen offensichtlich schneller angewandt werden können. Dort wurde den Zeiten $t_i(T)$ pro Pflanze der Korrekturfaktor $f(T, d)$ beigefügt ($t_i(T) \cdot f(T, d)$), der ihre Abnahme bei höheren Dichten d beschreibt.

$$f(T, d) = [1 - r(T)] / [1 + b(T) \cdot d] + r(T) \quad (2)$$

Bei kleinen Dichten d ergibt er den Wert 1, so daß die oben bestimmten Werte $t_i(T)$ unverändert bleiben. Bei höheren Dichten d fällt $f(T, d)$ ab, bis es schließlich den Wert $r(T)$ erreicht. Dieser Parameter gibt also an, bis auf welchen Bruchteil die Zeit $t_i(T)$ der Maßnahme T pro Pflanze der Klasse i bei hohen Dichten d abgesenkt wird. Der Parameter $b(T)$ beschreibt, wie schnell diese Abnahme bei steigendem d erfolgt. Mit diesem Ansatz (2) konnte durch nichtlineare Regression eine ausreichend genaue Anpassung an die Daten erzielt werden. Genauere Einzelheiten und Tabellen für die angepaßten Parameterwerte sind bei MACDONALD und WISSEL (1989) zu finden.

Für die in einer Parzelle verbrauchte Menge $A(T)$ an Arborizid für die Maßnahme T wurde der Ansatz

$$A(T) = a_1(T) \cdot N_1 + a_2(T) \cdot N_2 + \dots \quad (3)$$

gemacht, wobei $a_i(T)$ die Menge, die für eine einzelne Pflanze der Klasse i bei der Maßnahme T benötigt wird, angibt. Dieser lineare Ansatz wurde an die in den Parzellen gemessenen Verbrauchsmengen durch multiple lineare Regression angepaßt. Mit diesen pro Pflanze einer Klasse bestimmten (siehe (1) - (3)) Verbrauchsmengen $a_i(T)$ und Arbeitszeiten $t_i(T)$, lassen sich nun die Kosten $C_i(T)$ der Maßnahme T pro Pflanze einer Klasse bestimmen, wenn man den Preis von Arborizid C_a und den Stundenlohn C_t zugrunde legt.

$$C_i(T) = t_i(T) \cdot C_t + a_i(T) \cdot C_a \quad (4)$$

Für niedrige Dichten ($d < 2.000/\text{ha}$) sind diese Kosten in Tabelle 2 dargestellt. Weitere Details bei MACDONALD und WISSEL (1989).

Tab. 2: Kosten (in Rand) der Bekämpfungsmaßnahmen T_i pro Pflanze jeder Größenklasse (Stammdurchmesser < 1 cm, 1-3 cm, 3-20 cm, > 20 cm) bei kleinen Befallsdichten ($d < 2.000/\text{ha}$)

Maßnahmen	Größenklasse			
	1	2	3	4
T1	0,0038	0,0094	0,071	1,3
T2	0,1	0,39	0,54	1,3
T3	0,0086	0,028	0,11	1,45
T4	0,094	0,37	0,22	0,5
T5	0,019	0,045	0,17	1,4
T6	0,037	0,042	0,16	1,4
T7	0,019	0,045	0,14	1,4

Um nun den Erfolg der verschiedenen Maßnahmen zu erfassen, wurden die Akazien im Jahr nach der Durchführung der Bekämpfungsmaßnahmen erneut gezählt. Dabei zeigt es sich, daß Pflanzen ein und derselben Klasse ganz unterschiedlich reagieren können. Manche sterben aufgrund der Bekämpfungsmaßnahme ab, andere überleben sie durch Wurzelaustrieb. Offensichtlich werden auch gelegentlich kleinere Akazien bei der Bekämpfung übersehen. Da die Zeit drängte (baldiges effektives Bekämpfen der *Acacia saligna*, um ihr weiteres Vordringen zu verhindern) und auch Personal zur Erforschung der Ursache dieser unterschiedlichen Reaktionen fehlte, wurden diese Daten in einem deskriptiven Modell erfaßt. Der Erfolg der Maßnahme T bei einer Pflanze der Klasse i wird durch die Wahrscheinlichkeit $P(i,T;j)$ beschrieben, daß eine Pflanze der Klasse i bei der Bekämpfungsmaßnahme T in die Klasse j übergeht. Dabei waren Änderungen in der Größenklasse (Stammdurchmesser) nicht festzustellen. Doch kann eine natürliche Akazie nach der Bekämpfung als Wurzelaustrieb überleben. Um einen Schätzwert für diese Wahrscheinlichkeiten zu erhalten, wurden die Zahlen $Nv_i(T)$ der Akazien der einzelnen Klassen i vor der Maßnahme T und nach ihr ($Nn_i(T)$) benutzt und die relative Häufigkeit bestimmt:

$$P(i,T;j) = Nn_j(T)/Nv_i(T) \quad (5)$$

Diese Formel ist nur korrekt, wenn die Klasse j nach der Bekämpfung T nur von der Klasse i stammen kann. Dies war dadurch sichergestellt, daß nur die zahlreichen Parzellen berücksichtigt wurden, in denen entweder nur Wurzelaustriebe oder nur natürliche Akazien vorkamen. In den Tabellen 3, 4 und 5 sind die so bestimmten Übergangswahrscheinlichkeiten (5) aufgeführt.

Tab. 3: Wahrscheinlichkeit $P(i,T;j)$ einer natürlichen Akazie, die Maßnahme T als natürliche Pflanze zu überleben

Maßnahmen	Größenklasse			
	1	2	3	4
T1	0,001	0,0004	0,0	0,0
T2	0,001	0,0004	0,0	0,0
T3	0,001	0,0004	0,0	0,0
T4	0,0	0,006	0,004	0,0
T5	0,0003	0,0002	0,0	0,0
T6	0,03	0,01	0,02	0,0
T7	0,003	0,0008	0,0	0,0

Tab. 4: Wahrscheinlichkeit $P(i,T;j)$ einer natürlichen Akazie, die Maßnahme T als Wurzelaustrieb zu überleben

Maßnahmen	Größenklasse			
	1	2	3	4
T1	0,0	0,001	0,002	0,004
T2	0,0	0,0005	0,001	0,004
T3	0,0	0,0008	0,001	0,002
T4	0,0	0,0	0,0	0,0
T5	0,0003	0,002	0,01	0,02
T6	0,0001	0,003	0,01	0,02
T7 _i	0,0	0,005	0,01	0,02

Tab. 5: Wahrscheinlichkeit $P(i,T;j)$ eines Wurzelaustriebs, die Maßnahme T als Wurzelaustrieb zu überleben

Maßnahmen	Größenklasse			
	1	2	3	4
T1	0,17	0,35	0,34	0,34
T2	0,02	0,04	0,04	0,34
T3	0,01	0,13	0,04	0,02
T4	0,007	1,00	0,28	0,20
T5	0,003	0,56	0,40	0,40
T6	0,003	0,56	0,40	0,40
T7	0,003	0,56	0,40	0,40

4. Optimierungsmodell

Nachdem Kosten und Erfolg der sieben Bekämpfungsmaßnahmen in dem deskriptiven Modell (1) bis (5) quantifiziert sind, ist nun das Problem zu lösen, die Bekämpfung über mehrere Jahre hinweg zu optimieren. Da eine Kontrolle der Akazien in der Regel nicht innerhalb eines Jahres erreichbar ist, ist die Frage zu beantworten, welche Folge von Maßnahmen (z. B. T1, T3, T3, T4) innerhalb einer vorgegebenen Zahl von Jahren (z. B. 4) eine ausreichende Reduzierung des Salignabestandes bewirken kann. Das heißt, als Zielzustand muß die Zahl N_{ij} der Akazien jeder Klasse, die pro ha maximal geduldet werden soll, vorgegeben werden.

Um die Wirkung verschiedener Folgen von Maßnahmen zu bestimmen, wird folgendes Modell (Markovkette) benutzt: Wenn die Zahlen $N_i(k)$ der Akazien der Klasse i im Jahr k bekannt ist, so können diese für das nächste Jahr $k + 1$ nach der Maßnahme T mit Hilfe von (5) vorhergesagt werden:

$$N_j(k + 1) = N_i(k) \cdot P(i, T; j) \quad (6)$$

Auf der rechten Seite ist eventuell über verschiedene Ausgangsklassen i zu summieren, falls die Klasse j von verschiedenen Klassen i erreicht werden kann. Dies ist für Wurzelaustriebe (aus Wurzelaustrieben oder aus natürlichen Akazien) der Fall. Die Formel (6) kann nun iterativ die Zahlen aller folgenden Jahre bestimmen.

Damit kann dieses Modell folgende Aufgabe erfüllen: Es ist eine Ausgangssituation, d. h. die ursprüngliche Zahl $N_i(0)$ der Akazien jeder Klasse i pro ha gegeben. Das Bekämpfungsziel soll in maximal q Jahren erreicht werden. Mit Hilfe der wiederholten Anwendung von (6) können für jede denkbare Folge von Maßnahmen (z. B. T1, T3, T3, T7) im Laufe der Jahre die zu erwartenden Akazienzahlen $N_i(k)$ berechnet werden. Das Ziel der Bekämpfung ist im Jahre k erreicht, wenn

$$N_i(k) < Nz_i$$

(7)

d. h., wenn die Akazienzahlen die vorgegebenen Grenzwerte Nz_i unterschritten haben. Da bei einer Maximalzahl von $q = 5$ Jahren bereits 16.807 verschiedene Folgen von Maßnahmen möglich sind, werden alle möglichen Folgen mit dem Computer auf ihren Erfolg, d. h. also mit (7) überprüft.

Da bei der Anwendung von (6) die Zahlen $N_i(k)$ der Akazien in den verschiedenen Jahren berechnet werden, können unter Benutzung der Tabelle 2 die Kosten der jeweiligen Maßnahme (siehe (1) bis (4)) und damit die Gesamtkosten der Maßnahmenfolge bestimmt werden. Mit Hilfe des Computers werden von den erfolgreichen Maßnahmenfolgen die billigsten herausgesucht. So kann z. B. folgende Ausgabe erfolgen:

T1, T3, T4	67
T1, T3, T2	91
T3, T3, T4	114

Das bedeutet, es werden die erfolgreichen Maßnahmenfolgen und ihre Kosten (in Rand) angegeben.

5. Anwendung

Das Modell benötigt für seine Anwendung also die maximale Zahl q an Jahren, während deren das vorgegebene Ziel erreicht werden soll. Letzteres besteht aus der Angabe der Zahl Nz_i von Akazien jeder Klasse i , die pro ha unterschritten werden soll. Dabei ist zu berücksichtigen, daß sich Sämlinge jedes Jahr aus der Samenbank rekrutieren und deshalb in dieser Klasse eine entsprechende Zahl pro ha prinzipiell nicht unterschritten werden kann. Es ist also eine Abschätzung der Keimungsrate der Sämlinge notwendig. Nun ist diese nach einem Buschfeuer unvergleichlich hoch, während die großen Akazien zusammen mit den meisten einheimischen Pflanzen durch das Feuer absterben. Damit ergibt sich eine völlig geänderte Situation mit anderen Werten für die Bekämpfungszeiten $t_i(T)$. Diese ist in einem anderen Artikel (bei J. Appl. Ecology eingereicht) mit berücksichtigt.

Bei der Berücksichtigung der Ausgangssituation gibt es zwei Möglichkeiten: Eine besteht darin, daß eine ganz konkrete Situation gegeben ist. Dann müssen die Zahlen $N_i(0)$ der Akazien jeder Klasse i , die zu Beginn vorliegen, für diese Situation abgeschätzt werden. Für diese speziellen Anfangswerte kann das Modell angewandt werden und seine Ergebnisse als Vorschlag für die konkrete Bekämpfung dienen. Das Modell gibt auch die zu erwartenden Kosten an. Dabei sollte man räumlich Inhomogenitäten der ursprünglichen Akaziendichte in jeder Klasse berücksichtigen und gegebenenfalls eine Einteilung des betreffenden Gebietes in kleinere, homogenere Areale vornehmen und für diese getrennt die Modellrechnungen durchführen, was zu unterschiedlichen Bekämpfungsvorschlägen in diesen führen kann.

Die zweite Möglichkeit besteht in der Suche nach Regeln. Das heißt, es werden eine Vielzahl von hypothetischen Ausgangssituationen $N_i(0)$ betrachtet. Dabei wird nach einer Einteilung in Kategorien gesucht, wobei innerhalb jeder von diesen generelle Regeln für die optimale Maßnahmenfolge aufgestellt werden können. So besteht die optimale Folge in der Regel darin, zuerst die billigste, aber auch am wenigsten erfolgreiche Maßnahme T1 und erst später die teuren, erfolgreichen anzuwenden. Dies bedeutet, daß es kostengünstig ist, zuerst, wenn noch hohe Akazienzahlen vorliegen, die billigste Methode anzuwenden. Auch wenn diese nicht sehr erfolgreich ist, so wird die Zahl der Akazien durch sie doch so weit reduziert, daß sich nun die Anwendung der teureren, erfolgreichen Maßnahme lohnt. Dieses Plausibilitätsargument ist eine erste, sehr simple Verifizierung des Modells.

Bei geringeren Dichten von natürlichen Akazien ist für eine Maximalzahl von fünf Jahren die Folge T1, T3, T4 am günstigsten. Bei kleinen Dichten von Wurzelaustrrieben ergibt sich als optimale Folge T1, T1, T3, T3, T4. Bei sehr hohen Dichten ($d > 30.000/\text{ha}$) von natürlichen Pflanzen findet

man T1, T1, T3, T4 und bei entsprechenden Zahlen von Wurzelaustrieben T1, T3, T3, T2, T4. Weitere Angaben für andere Situationen, die auch Buschfeuer einschließen, findet man in unserem bei J. Appl. Ecology eingereichten Paper.

Abschließend sei eine Warnung ausgesprochen. Modelle können nie einen Wahrheitsanspruch erheben. Sie liefern daher keine Patentrezepte. So wurden die Daten mit bestimmten Modellannahmen gefittet, was auch zu statistischen Fehlern führt. Diese Daten wurden in einem ganz bestimmten Gebiet in einem Jahr mit seinem spezifischen Wetter erhoben. Die Extrapolation kann natürlich nur auf sehr ähnliche Situationen erfolgen. Es sind spezielle Fachkenntnisse notwendig, um zu beurteilen, wie weit ein konkreter Fall der Situation der Untersuchung entspricht. So kann man die Modellresultate nur als Entscheidungshilfe benutzen. Sie sind eines von vielen Argumenten, die man gegeneinander abwägt.

In unserem speziellen Fall liefert das Modell für die Bekämpfung der *Acacia saligna* zum ersten Mal eine quantitative Basis. Bisher wurden die Maßnahmen in wenig systematischer Weise angewandt. Schließlich muß erwähnt werden, daß dieses Modell in ähnlicher Form auch bei der Bekämpfung anderer Pflanzenarten, gegebenenfalls auch mehrerer, mit anderen Maßnahmen eingesetzt werden kann.

Danksagung

Dieses Projekt wurde durch die Foundation for Research Development des CSIR, Südafrika und die Deutsche Forschungsgemeinschaft gefördert.

Literatur

- MACDONALD, I. A. W., JARMAN M. L. & P. BEESTON (eds.), 1985: Management of invasive plants in the fynbos biome. S. Afr. Nat. Sci. Prog. Rep. 111.
- MACDONALD, I. A. W. & C. WISSEL, 1989: Costing the initial clearance of alien *Acacia* species invading fynbos vegetation, S. Afr. J. Plant Soil 6: 39-45.
- STARFIELD, A. M. & A. L. BLELOCH, 1986: Bilding models for conservation and wildlife management. Collier Macmillan, London.
- WISSEL, C., 1989 a: Ziele und Möglichkeiten der theoretischen Ökologie, verdeutlicht am Beispiel der Inseltheorie. Verh. Ges. Ökol. 18: 483-490.
- WISSEL, C., 1989 b: Theoretische Ökologie/Eine Einführung. Springer-Verlag.

Adressen

Prof. Dr. Christian Wissel
Fachbereiche Biologie und Physik
Philipps-Universität
Renthof 5

Dr. Ian A. W. MacDonald
University of Cape Town
PercyFitzPatrick Institute

W - 3550 Marburg

Rondebosch 7700/South Africa

ZOBODAT - www.zobodat.at

Zoologisch-Botanische Datenbank/Zoological-Botanical Database

Digitale Literatur/Digital Literature

Zeitschrift/Journal: [Verhandlungen der Gesellschaft für Ökologie](#)

Jahr/Year: 1991

Band/Volume: [20_2_1991](#)

Autor(en)/Author(s): Wissel Christian, MacDonald Ian A. W.

Artikel/Article: [Ein Modell zur Optimierung der Bekämpfung von eingewanderten Fremdpflanzen im Fynbos 769-775](#)