Untersuchungen zur Auswirkung von Straßen auf das Überleben der Akazien im Negev

Kerstin Wiegand, Florian Jeltsch und David Ward

Synopsis

The impact of roads on the survival of Acacia trees in the Negev

In the Negev desert there is high concern about the high mortality and low recruitment of *Acacia* trees, a major source of livestock feed and firewood for the native Bedouins. The *Acacias* are mostly restricted to ephemeral riverbeds. As the only trees in much of this desert, the *Acacias* constitute a major ecological concern in southern Israel.

To develop sustainable conservation and management strategies it is necessary to understand the population dynamics of the trees. A spatially explicit, object-oriented computer simulation model is presented which is based on demographic data gained by field studies. As an example, we show first results of an application of the model to the ephemeral riverbed Nahal Saif which is cross-cut by a road. The road alters the flood regime thus reducing the water availability to the *Acacia* trees and inhibiting seed dispersal. We show that not only the reduced water availability but also the altered seed distribution regime does have a negative impact of similar magnitude on the population dynamics of *A. raddiana*. Although culverts under roads contribute to averting these negative effects, allowing higher densities of large mammalian herbivores as seed dispersers is recommended as a further efficient management action.

simulation model, Acacia raddiana, population dynamics, event-driven system, anthropogenic disturbances, Negev, arid, ephemeral river, herbivores

Simulationsmodell, Acacia raddiana, Populationsdynamik, ereignisgetriebenes System, anthropogene Störungen, Negev, arid, Trockenfluß, Herbivore

Einführung

In der israelischen Wüste Negev gehören die meisten Bäume zur Gattung *Acacia*, wobei *A. raddiana* die häufigste Art darstellt. Diese Bäume sind in ihrer Verbreitung weitgehend auf Trockenflußläufe (Wadis) beschränkt (HALEVY & ORSHAN 1972; KENNENNI & VAN DER MAAREL 1990). Sie bieten vielen Tieren der Wüste Nahrung und Schutz (ASHKENAZI 1995), verbessern die Bodenbedingungen für viele andere Pflanzenarten (ALSTAD & VETAAS 1994; MILTON & DEAN 1995) und sind somit von großer ökologischer Bedeutung für die Ökosysteme des Negev. Für die Beduinen ist *A. raddiana* außerdem ein wichtiger Lieferant von Brennstoff, Viehfutter und Heilmitteln (ASHKENAZI 1995; WARD & ROHNER 1997).

Die hohe Mortalität der Akazien in Kombination mit geringer Neuetablierung im gesamten Negev ist besorgniserregend (ASHKENAZI 1995; WARD & ROHNER 1997). Der Rückgang der Akazien wird unter anderem auf anthropogene Einflüsse zurückgeführt (ASHKENAZI 1995; WARD & ROHNER 1997). WARD & ROHNER (1997) konnten zeigen, daß Grundwasserentnahme als signifikanter Mortalitätsfaktor ausscheidet. Sie erklären dies mit der zu geringen Wurzeltiefe der Bäume. Jedoch zeigen ihre Untersuchungen einen deutlich negativen Einfluß von Straßen, die die Trockenflüsse kreuzen und dabei den Wasserfluß zu den flußabwärtigen Bäumen abschwächen.

In dieser Veröffentlichung wollen wir den Einfluß von Straßen auf die Demographie der Akazien in der Wüste Negev mit einem quantitativen Modell untersuchen und Managementstrategien diskutieren, die den negativen Auswirkungen der Straßen entgegenwirken können. Diese Aufgabe gehen wir mit Hilfe des räumlich expliziten Simulationsmodells SAM an. Hierzu zeigen wir erste Simulationsergebnisse von SAM, angewandt auf einen etwa 2 km langen Abschnitt von Nahal Saif, einem Trockenfluß des nördlichen Aravas (30°52' N, 35°10' O). In diesem Bereich ist Nahal Saif durch eine Straße in 2 Abschnitte geteilt (Abb. 1); jeder Abschnitt enthält gegenwärtig etwa 100 Akazien, alle von der Art *A. raddiana* (Tab. 1). Die seltenen, praktisch immer im Winter fallenden Regenfälle (STERN & al. 1986), führen zu kurzfristigen Fluten in den Wadis der Wüste Negev. Die Nahal Saif kreuzende Straße verringert die Menge an Flutwasser, das den unteren Flußteil erreicht. Es ist evident, daß dies einen negativen Einfluß auf den Feuchtigkeitszustand der Bäume im unteren Abschnitt hat und wir erwarten deshalb langfristig eine signifikante Abnahme der Akazien. Desweiteren untersuchen wir, ob sich das durch die Straße veränderte Samenverteilungsregime ebenfalls merklich auf die

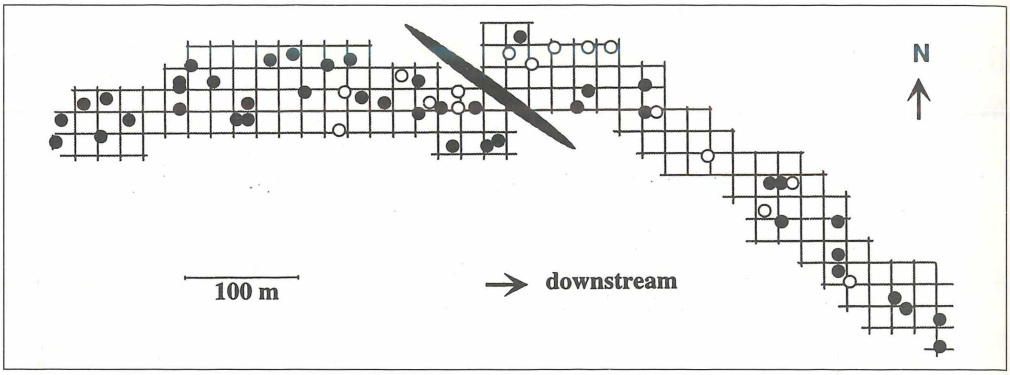

Abb. 1
Detail eines typischen räumlichen Patterns der Bäume in Nahal Saif. Diese Modellausgabe stammt vom Jahr 10 der in Abbildung 2a gezeigten Simulation. Ein Quadrat entspricht 4*4 Gitterzellen à 5 m * 5 m. Schwarze Kreise: Bäume; offene Kreise: tote Bäume; grau schattiert: Straße.

Fig. 1
Simulation output showing a detail of a typical spatial pattern of *A. raddiana* in Nahal Saif taken from the simulation shown in Figure 2a (year 10). One square corresponds to 4*4 grid cells à 5 m * 5 m. Black circles: trees; open circles: dead trees; gray shaded: road.

Populationsgröße auswirkt. Hierzu gehen wir von folgenden Annahmen aus:

(1) Da die Straße wie ein Damm wirkt und den Wasser- und damit auch den Samentransport behindert, gelangen weniger Samen in den unteren Abschnitt des Trockenflusses.
(2) Die reduzierte Intensität und Häufigkeit der Fluten im unteren Wadiabschnitt hinterläßt dort mehr Samen geklumpt unter den Bäumen als im oberen Wadi.

Wir haben den Effekt der reduzierten Wassermenge und der veränderten Verteilung der Samen auf die Populationsdynamik in Nahal Saif separat und anschließend in Kombination untersucht und diskutieren ihren relativen Einfluß auf das Überleben der Akazien. Auf Basis der Modellergebnisse werden Managementstrategien vorgeschlagen.

2 Das Modell

2.1 Ziel und allgemeine Eigenschaften des Modells

Das Ziel des Modells SAM ist es, die wichtigsten Mechanismen, die die Populationsdynamik von *Acacia raddiana* bestimmen, herauszufinden und wiederzugeben. Die Verteilung von *A. raddiana* im Negev wird durch das Relief bestimmt, weil diese Bäume nur in wenigen Gebieten außerhalb von Trockenflüssen wachsen. Innerhalb der Trockenflüsse wird die Populationsdynamik dieser Bäume weitgehend von der Verteilung der Bäume und der Verbreitung der Samen beeinflußt. Zum Beispiel keimen Samen haupt-

Tab. 1
Zusammenfassung von Größenverteilung, Mistelbefall und Feuchtigkeitszustand der Bäume im Untersuchungsgebiet von Nahal Saif. Die Größe der Bäume wurde als Stammumfang, der Mistelbefall als Bruchteil der Baumkrone, der von Misteln besetzt ist, gemessen. Der Feuchtigkeitszustand eines Baumes ist als ›schlecht‹ definiert, wenn viele Äste vertrocknet sind. Anz.: Anzahl der Bäume. Daten von D. WARD (unveröff.)

Table 1
Summary of tree size distribution, mistletoe infestation and moisture status in the studied area of Nahal Saif. Tree size is given as trunk circumference. Mistletoe infestation is measured as the proportion of the canopy that is occupied by mistletoes. Moisture status of a tree is defined as ›schlecht‹ when many of the branches are dry. Anz.: Number of trees. Data from D. WARD (unpubl.).

Stammumfang	Anz.	Mistelbefall	Anz.
< 15 cm	36	0/4	184
16–45 cm	63	1/4	12
46–75 cm	30	2/4	5
76–105 cm	39	3/4	8
106–135 cm	18	Feuchtigkeit	Anz.
136–165 cm	13	gut	190
>165 cm	10	schlecht	19

sächlich an Stellen, die Wasser und Licht in ausreichendem Maße zur Verfügung stellen (COUGHENOUR & DETLING 1986; KENNENNI & VAN DER MAAREL 1990; MILLER 1996; SMITH & GOODMAN 1986). Deshalb muß jedes Modell, das dem Verständnis der Populationsdynamik von *A. raddiana* dienen soll, räumlich explizit sein. Gitterbasierte Modelle haben sich als eine angemessene Methode zur Modellierung räumlicher Vegetationsdynamiken in ariden und semiariden Gebieten erwiesen (JELTSCH & al. 1996; WIEGAND & al. 1995). Folglich unterteilt SAM den Wadi in ein Gitter von 5 x 5 m großen Zellen (Gesamtzahl: 7168), entsprechend der Größe eines jungen, adulten Baumes (Abb. 1).

Die Modellierung kleiner Populationsgrößen erfordert einen individuenbasierten Ansatz (DEANGELIS & GROSS 1992). In SAM wurde dies durch eine objektorientierte Implementierung der einzelnen Bäume realisiert. Jedes Individuum ist als ein Objekt mit den Eigenschaften einer von drei Klassen repräsentiert. SAM unterscheidet: ›Sämlinge‹, ›subadulte und adulte Bäume‹ und ›tote Bäume‹. Die Bäume aller drei Klassen werden charakterisiert durch die folgenden Attribute: (1) Stammumfang, (2) Lage der Zelle, in der die Pflanze wächst. Die Wahl der Klasse hängt von dem aktuellen Stammumfang ab. Außerdem wird für tote Bäume die seit dem Tod verstrichene Zeit protokolliert. Für lebende Bäume kennt SAM deren Feuchtigkeitszustand und das relative Kronenvolumen, das von Misteln (*Loranthus acaciae*) befallen ist. Der Befall mit Misteln beeinflußt die Samenproduktion.

Da das Alter der Bäume nicht feststellbar ist, dokumentiert SAM stattdessen den Stammumfang. Der Stammumfang ist repräsentativ für die gesamte Größe von *A. raddiana*, da diese Bäume allometrisch wachsen (WARD & ROHNER 1997).

Die hier vorgestellten Simulationen basieren auf Felduntersuchungen in Nahal Saif und anderen Trockenflüssen des Negev. Eine Simulation besteht aus 100 Wiederholungen über einen Zeitraum von 1000 Jahren. Die Startverteilung der Bäume stimmt mit der aktuellen Verteilung in Nahal Saif überein.

2.2 Modellbeschreibung

In SAM besteht ein Jahr aus 2 Perioden, Sommer und Winter. In jeder Periode werden verschiedene lebensgeschichtliche Ereignisse durchlaufen. Im Winter werden die Samen verteilt und keimen. In beiden Perioden wenden wir nacheinander die Module für das Wachstum und die Mortalität der Sämlinge, für das Wachstum der Bäume, ihre Infizierung durch Misteln, die Verschlechterung des Feuchtigkeitszustandes der Bäume und für ihre Mortalität an. Im Sommer findet zusätzlich das ›Altern‹ und die mögliche Entfernung der toten Bäume statt, Samen werden produziert, infiziert und können verloren gehen.

2.2.1 Samenverteilung und Keimung

Verteilung: SAM verfolgt das Schicksal jedes einzelnen Samens individuell. Es wird angenommen, daß 70% der Samen von *Acacia raddiana* geklumpt unter den Bäumen liegen, wobei die Dichte der Samen exponentiell mit der Distanz zum Baum abnimmt. Die restlichen 30% der Samen werden zufällig über den Wadi verteilt. Dadurch wird die Verteilung der Samen durch Tiere, Wasser und andere Vektoren in vereinfachender Weise simuliert (COX & al. 1993; HALEVY 1974; HAUSER 1994; MILLER & COE 1993). Die durch die Straße bewirkten Modifikationen werden in Kapitel 2.3 erläutert.

Etablierung: In Anlehnung an HOWE & SUTHERLAND (1982) bedeutet ›Etablierung‹ im Modell die Keimung eines Samens und das Überleben des Sämlings für ein halbes Jahr. In ariden Gebieten hängt die Keimung von Samen hauptsächlich von der Wasserverfügbarkeit ab (COUGHENOUR & DETLING 1986; KENNENNI & VAN DER MAAREL 1990). Daher nehmen wir an, daß Etablierung im obigen Sinne nur in »guten« Jahren mit hohem Regenfall und länger anhaltenden günstigen Witterungsbedingungen stattfindet. SAM unterscheidet zwischen guten und schlechten Jahren; gute Jahre kommen zufällig mit einer Wahrscheinlichkeit von 8% vor. Dieser Wert wurde anhand der Größenverteilung der Bäume in Nahal Saif (Tab. 1) abgeschätzt. Zweitens nehmen wir an, daß Keimung nur in ›safe sites‹, d.h. in Mikrostellen, die über optimale Nährstoff-, Wasser- und Schattenbedingungen verfügen, stattfindet vgl. (MILLER 1994). Es gibt drei Klassen von Gitterzellen in Abhängigkeit von der Verfügbarkeit von safe sites: (1) 90%, (2) 50% oder (3) 10% der Fläche der Zelle bieten günstige Keimungsvoraussetzungen. Gruppen von 16 Zellen (Abb. 1) mit gleicher safe-site-Dichte werden zufällig über den Wadi verteilt. Schließlich keimen Samen, die sich auf safe sites befinden mit einer Wahrscheinlichkeit von 15,6% (ROHNER & WARD 1998).

2.2.2 Sämlingswachstum und -mortalität

Wachstum: In SAM nimmt der Stammumfang von Sämlingen und Bäumen um 0,68 cm pro Halbjahr zu (KIYIAPI 1994).

Mortalität: 0,5, 1 und 1,5 Jahre alte Sämlinge haben eine halbjährliche Mortalitätsrate von 89%, 75%, bzw. 55%(ROHNER & WARD 1998). Für ältere Sämlinge wird angenommen, daß die halbjährliche Mortalität von 0,87% gilt, die für *A. raddiana*-Bäume mit einem Stammumfang von mindestens 8 cm gemessen wurde (WARD & ROHNER 1997).

2.3.3 Mistelbefall, Feuchtigkeitszustand und Mortalität von Bäumen

Mistelbefall: Von Misteln weiß man, daß sie die Samenproduktion von *A. raddiana* im Negev reduzieren (ASHKENAZI 1995). Außerdem verschlechtern sie vermutlich die Vitalität infizierter Bäume. SAM modelliert eine einfache Populationsdynamik der Misteln. Ein Baum wird mit einer halbjährlichen Wahrscheinlichkeit von 0,3% von einer Mistel befallen. Die Mistel kann größer werden (0,2% pro Halbjahr) und stirbt, wenn der Wirtsbaum stirbt. Diese Dynamik wurde an das aktuelle Vorkommen von Misteln, die in Nahal Saif auf *A. raddiana* leben, angepaßt (Tab. 1).

Feuchtigkeitszustand: In Nahal Saif haben 6,8% der subadulten und 14,1% der adulten *A. raddiana*-Bäume einen schlechten Feuchtigkeitszustand, d.h. viele vertrocknete Äste (Tab. 1). SAM nimmt an, daß der Feuchtigkeitszustand der Sämlinge gut ist, der Feuchtigkeitszustand der Bäume sich aber verschlechtern kann. Die Wahrscheinlichkeiten mit denen sich der Feuchtigkeitszustand verschlechtert, wurden an die aktuellen Felddaten (Tab. 1) angepaßt und hängen von dem langfristigen Wetter, der Anzahl der Bäume in den Nachbarzellen und dem Mistelbefall ab.

Mortalität: Die Mortalität der Bäume wurde mit Hilfe einer Vitalitätsfunktion modelliert. Die Vitalität eines Baumes nimmt mit großem Stammumfang (Alter), mit der Verschlechterung seines Feuchtigkeitszustandes und mit zunehmendem Mistelbefall ab. Im gesamten Wadi führt dies im Mittel zu einer halbjährlichen Mortalitätsrate von 0.87%, wie von WARD & ROHNER (1997) gemessen. Das mittlere Todesalter wurde auf 42 Jahre geschätzt (WARD & ROHNER 1997).

2.2.4 »Altern« und Entfernung toter Bäume

Einmal jährlich wird die Zeit seit dem Tod der toten Bäume aktualisiert. Tote Bäume bleiben in der Wüste Negev in Mittel 10 Jahre stehen (WARD & ROHNER 1997). Dies wurde in Modell dadurch realisiert, daß tote Bäume mit einer jährliche Wahrscheinlichkeit von 10% umfallen und damit aus SAM entfernt werden.

2.2.5 Samenproduktion und -infizierung

Samenproduktion: Die Samenproduktion sich reproduzierender Bäume in gutem Feuchtigkeitszustand und ohne Mistelbefall ist abhängig vom Stammumfang *U*. Eine Regression unveröffentlichter Daten (D.WARD) von Nahal Saif ergibt für die Anzahl der produzierten Samen *S*:

$$\log S = 3{,}65 + U * 1{,}19$$

SAM benutzt diese Regression, reduziert *S* aber für Bäume in schlechtem Feuchtigkeitszustand, für von Misteln befallene Bäume und für Bäume, die noch nicht die volle Reife erlangt haben (Subadulte).

Samenbefall: Der Befall von *A. raddiana* in der Wüste Negev durch Samenkäfer, hauptsächlich *Bruchidius albosparsus*, beträgt 98% ((HALEVY 1974; ROHNER & WARD 1998). Es wird vereinfachend angenommen, daß befallene Samen nicht keimfähig sind (aber siehe auch: HALEVY 1974; LAMPREY & al. 1974).

Samenverlust: Für afrikanische Akazien ohne Dehiszenz wurden sehr hohe Samenverluste berichtet (MILLER 1994). Akaziensamen können durch Fluten (HAUSER 1994) und durch Huftiere (HALEVY 1974; MILLER 1996; MURRAY 1986) aus dem Wadi heraustransportiert werden und von Nagetieren gefressene Samen werden zerstört (MILLER 1994). Da für Nahal Saif noch keine Werte bekannt sind, nehmen wir, den Untersuchungen von MILLER (1994) folgend, eine Samenverlustrate von 96% an.

2.3 Der Einfluß der Straße

Die Straße, die Nahal Saif in 2 Abschnitte unterteilt (Abb. 1), verändert das Flutregime im unteren Abschnitt. Ein Teil des Flutwassers fließt in den Straßengraben ab und verringert somit die Wasserverfügbarkeit der Bäume, die im unteren Wadiabschnitt wachsen und verändert dadurch die Samenverteilung. Weniger Wasser und somit weniger Samen fließen in den unteren Wadiabschnitt. Andererseits werden wegen des geringeren Wasserflusses weniger im unteren Wadi produzierte Samen aus dem modellierten Gebiet hinaus transportiert. Die Gesamtzahl der Samen wird jedoch reduziert. Außerdem verbleiben mehr Samen in der Nähe der samenproduzierenden Bäume.

Wie haben vier verschiedene Typen von Straßeneinflußszenarien untersucht – ein normales Szenarium, Feuchtigkeitsszenarien, Samenverteilungsszenarien und kombinierte Szenarien. Jeder der drei letzten Szenarientypen wurde in 4 »Härtestufen« untersucht (siehe Tab. 2). Im normalen Szenarium nehmen wir an, daß die Straße keinerlei Effekt auf die Populationsdynamik von *A. raddiana* hat. Die Feuchtigkeitsszenarien basieren auf der Annahme von SAM, daß Etablierung nur in guten Jahren stattfindet, d.h. in Jahren mit Fluten von ausreichender Stärke. Auch in einigen guten Jahren wird nur ungenügend Flutwasser die Straße überqueren. Deshalb unterscheiden wir zwischen Jahren, die für den gesamten Wadi und solchen, die nur den oberen Wadiabschnitt gut sind. Die Population flußabwärts der Straße erfährt einen reduzierten Langzeitwasserfluß, was zu einer höheren Wahrscheinlichkeit der Verschlechterung des Feuchtigkeitszustandes dieser Bäume führt. Die Samenverteilungsszenarien nehmen eine Abnah-

Tab. 2
Parameterwerte, gültig für Bäume des unteren Wadiabschnittes unter den verschiedenen, im Text beschriebenen, Szenarien in % (g: Verhältnis der Zahl von Jahren, die gut für den unteren Wadiabschnitt sind zur Zahl von Jahren, die gut für den gesamten Wadi sind; d: Samenverlustrate; c: Bruchteil der Samen, die unter den Bäumen liegen bleiben).

Table 2
Parameter values valid for trees in the downstream wadi section for the different scenarios described in the text, given in % (g: ratio of number of years good for the upper wadi to years good for the entire wadi; d: seed loss rate; c: percentage of seeds remaining beneath trees).

Szenarium		g	d	c	Beschreibung
normal		100	96.00	70.0	Straße unberücksichtigt
Feuchtigkeit	1	95	96.00	70.0	weniger gute Jahre im untere Wadi =>
	2	85	96.00	70.00	Keimungsereignisse seltener; Bäume
	3	70	96.00	70.00	mit schlechtem Feuchtigkeitszustand
	4	40	96.00	70.00	wahrscheinlicher
Samenverteilung	1	100	96.08	70.6	weniger Samen im unteren Wadi;
	2	100	96.20	71.5	mehr Samen verbleibt unter Bäumen
	3	100	96.40	72.5	
	4	100	96.80	76.0	
kombiniert	1	95	96.08	70.6	Annahmen des entsprechenden
	2	85	96.20	71.5	Feuchtigkeits- und Samenverteilungs-
	3	70	96.40	72.5	szenariums gleichzeitig
	4	40	96.80	76.0	

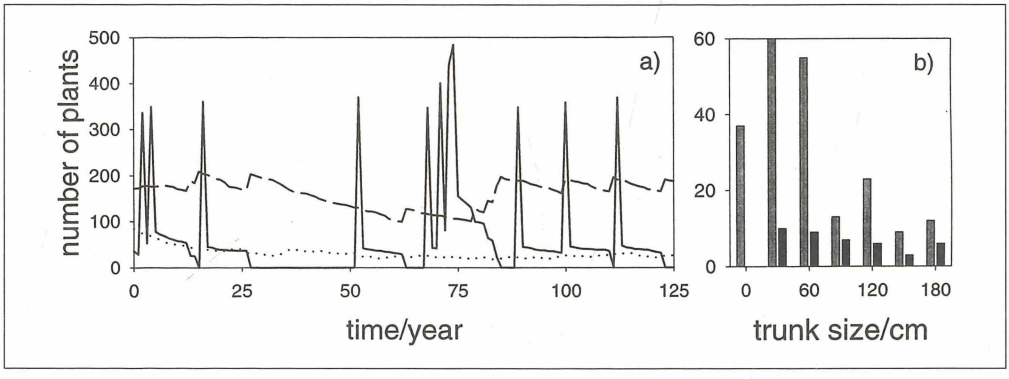

Abb. 2
a) **Typische Zeitreihe, die die Anzahl der Sämlinge (durchgezogen), der Bäume (gestrichelt) und der toten Bäume (gepunktet) im modellierten Gebiet von Nahal Saif zeigt. Normales Szenario. Startverteilung 1996.** b) **Größenverteilung. Anzahl der Sämlinge (dunkelgrau, Säule ganz links), der Bäume (dunkelgrau) und der toten Bäume (hellgrau) im Jahre 25 der in a) gezeigten Simulation.**

Fig. 2
a) **Typical time series showing the number of seedlings (solid), trees (dashed) and dead trees (dotted) in the modeled area of Nahal Saif for the normal scenario.** b) **Size distribution. The number of seedlings (dark gray, leftmost bar), trees (dark gray) and dead trees (light gray) is given at the year 25 of the simulation shown in a).**

me des Bruchteils der Samen an, der zufällig verteilt wird, anstatt in der Nähe der Bäume liegenzubleiben. Außerdem nehmen sie wegen des verringerten Sameneinganges aus dem oberen Wadiabschnitt eine höhere Samenverlustrate an. In den kombinierten Szenarien werden schließlich alle Annahmen der Feuchtigkeits- und der Samenverteilungsszenarien berücksichtigt. Die Parameterwerte können Tabelle 2 entnommen werden.

3 Ergebnisse

Für einzelne Simulationsläufe von SAM zeigt die Anzahl der Sämlinge über der Zeit hohe Peaks (Abb. 2a), die auf seltene Massenkeimungsereignisse zurückzuführen sind und bei allen Szenarien auftreten. Die Schwankungen der Zahl der Bäume sind wegen der hohen Überlebensrate von *A. raddiana* jeweils schwächer. Die Menge der toten Bäume ist im-

mer relativ konstant, denn die toten Bäume bleiben noch etwa 10 Jahre stehen, wodurch die Schwankungen in der Anzahl der Bäume abgepuffert werden. Die unregelmäßigen Größenverteilungen (Abb. 2b) sind den im Feld beobachteten Größenverteilungen ähnlich (Tab. 1).

Im flußabwärtigen Abschnitt von Nahal Saif (Mittelwert über 100 Simulationsläufe) verringert sich unter dem Feuchtigkeitsszenario die Zahl der Bäume (Abb. 3b). Schon kleine Parameteränderungen führen zu einer Verkleinerung der Populationsgröße. Auch für die Samenverteilungsszenarien stellen wir eine deutliche Abnahme der Bäume fest und zwar wiederum bereits bei der geringsten »Härtestufe« (Abb. 3a). In den kombinierten Szenarien werden die negativen Auswirkungen verstärkt. Dies führt in der geringen Härtestufe 1 innerhalb weniger Jahrhunderte zu einer Population, die nur etwa 75% der Bäume enthält, die ohne Straße zu erwarten wären (Abb. 3c).

4 Diskussion

Die in Abbildung 2a gezeigten Zeitreihen sind typisch für ereignisgetriebene Systeme (WIEGAND & al. 1995). Das Verhalten des Modells wird offensichtlich von der Annahme, daß Etablierungsereignisse (im Sinne des Modells) nur in guten Jahren stattfinden, dominiert. Diese Annahme wird indirekt gestützt durch verschiedene Felduntersuchungen, in denen keine oder nur sehr wenige Etablierungen festgestellt wurden (ASHKENAZI 1995; WARD & ROHNER 1997), weil diese Arbeiten offenbar keines der wenigen guten Jahre erfaßt haben. In SAM führen diese seltenen Massenkeimungsereignisse zu einer diskontinuierlichen Größenverteilung (Abb. 2b). Auch KENNENNI & VAN DER MAAREL (1990) fanden bei ihrer Untersuchung einer Population von *A. tortilis* eine diskontinuierliche Größenverteilung. Sie vermuten, daß diese Population aus einigen wenigen Kohorten besteht, die in Jahren mit sehr guten Bedingungen starteten, bemerken jedoch, daß dies sehr schwierig zu beweisen sei. In der vorliegenden Arbeit konnten wir zeigen, daß eine unregelmäßige Größenverteilung von Akazien auf seltene Etablierungsereignisse zurückgeführt werden kann. Jedoch könnte auch die Unterdrückung des Wachstums durch Herbivore einen wichtigen Einfluß haben (WARD & ROHNER 1997). Dies bedarf weiterer Untersuchungen.

In einem »normalen« Szenarium haben wir die Populationsdynamik von *A. raddiana* unter Vernachlässigung jeglichen Einflusses durch die Straße, die Nahal Saif kreuzt, untersucht. Die Populationsgröße blieb in etwa konstant. In den Feuchtigkeitsszenarien nahmen wir an, daß die Nahal Saif kreuzende Straße im flußabwärtigen Abschnitt die Zahl der guten Jahre

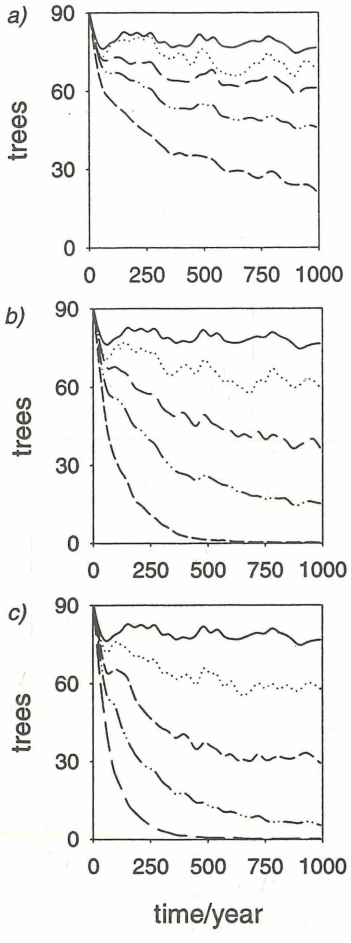

Abb. 3
Zahl von subadulten und adulten Bäumen im unteren Abschnitt von Nahal Saif über der Zeit gemittelt über 100 Simulationsläufe. a) Samenverteilungsszenarien, b) Feuchtigkeitsszenarien, c) kombinierte Szenarien. Alle Graphen zeigen als Vergleich das Ergebnis des normalen Szenariums (durchgezogene Linien). Die Parameterwerte der Szenarien werden in Tabelle 1 angegeben (1: gepunktet, 2: lange Striche, 3: strichpunktiert, 4: gestrichelt).

Fig. 3
Mean number of subadult and adult trees over 100 simulation runs in the downstream section of Nahal Saif over time. a) seed dispersal scenarios, b) moisture scenarios, c) combined scenarios. Each graph shows for comparison the result of the normal scenario (solid lines). Parameter values of the scenarios are given in Table 1 (1: dotted, 2: long dashes, 3: dash- dot-dotted, 4: dashed).

reduziert. Da bereits eine kleine Verringerung der Zahl der guten Jahre die Populationsgröße reduziert, wären Kanäle unter der Straße, die es ermöglichen würden, daß mehr Flutwasser die Straße kreuzt, von großem Wert für das Überleben von *A. raddiana*. Die Verteilung der Samen, die – wie wir zeigen konnten – ebenfalls sehr wichtig für die Populationsdynamik ist, könnte dabei jedoch ungünstig bleiben. Sehr viel Material bleibt in den Kanälen hängen und verringert den Durchfluß von Samen (WARD, pers. Beob.). Mögliche Kanalisierungseffekte durch die Röhren können das Fließregime modifizieren und damit auch Samentransport und –verteilung im unteren Wadiabschnitt beeinträchtigen. Das bedeutet, daß die Straße noch immer einen bemerkbaren negativen Einfluß auf die Populationsdynamik von *A. raddiana* hätte. Beim Design der Kanäle wäre Vorsicht geboten, um eine adäquate Verteilung des Wassers in dem Bereich flußabwärts der Straße zu gewährleisten. Die durch den gestörten Wasserfluß entstehenden Probleme mit der Samenverteilung könnten auch durch die Wiedereinführung von herbivoren Säugetieren, z.B. Kamelen verringert werden. Akaziensamen fressende Herbivore begünstigen die Keimung der Samen, weil sie die harte Samenhaut während der Verdauung schädigen und weil sie die Samen über verschiedene Regionen der Wadis verteilen (HALEVY 1974; MILLER & COE 1993; ROHNER & WARD 1998).

Wir haben erste Ergebnisse von SAM, einem räumlichen Modell für die Populationsdynamik von Akazien in ariden Gebieten, mit Hilfe einer Fallstudie vorgestellt. SAM faßt das in Felduntersuchungen gewonnene, aktuelle Wissen über die Populationsdynamik von *A. raddiana* im Negev zusammen. Die meisten Parameter sind recht gut bekannt, aber einige sind Abschätzungen, da sie nur in Langzeituntersuchungen gemessen werden können. Daher ermöglicht SAM zum gegenwärtigen Zeitpunkt nur qualitative Ergebnisse. Dennoch konnten wir, indem wir verschiedene Szenarien untersucht haben, ein tieferes Verständnis der Auswirkungen der Straße auf die Populationsdynamik von *A. raddiana* gewinnen.

Danksagung

Wir danken Iris Musil für ihre wertvolle Hilfe bei den Felduntersuchungen, Gisela Kohlmann für die Erstellung von Abbildung 1 und Christoph Rohner für viele wertvolle Diskussionen. Zwei anonyme Gutachter haben zur Verbesserung des Manuskripts beigetragen. Die Feldarbeit wurde finanziell von dem Keren Keyemet L'Israel (Stipendium an David Ward) und dem UFZ Leipzig unterstützt. Das UFZ und die Deutsche Forschungsgemeinschaft finanzierten Reisen von Kerstin Wiegand und Florian Jeltsch nach Israel.

Literatur

ALSTAD, G. & O. R. VETAAS, 1994: The influence of *Acacia tortilis* stands on soil properties in arid northern-eastern Sudan. – Acta Oecol. 15: 449–460.

ASHKENAZI, S. 1995: *Acacia* trees in the Negev and the Arava, Israel: a review following reported large-scale mortality (in Hebrew, with english summary). – Hakeren Hakayemet LeIsrael, Jerusalem: pp. 121 + XVII.

COUGHENOUR, M. B. & J. K. DETLING, 1986: *Acacia tortilis* seed germination responses to water potential and nutrients. – Afr. J. Ecol. 24: 203–205.

COX, J. R., A. DE ALBA-AVILA, R. W. RICE & J. N. COX, 1993: Biological and physical factors influencing *Acacia constricta* and *Prosopis velutina* establishment in the Sonoran Desert. – J. Range. Manage. 46: 43–48.

DEANGELIS, D. L. & L. J. GROSS, 1992: Individual-based models and approaches in ecology. – Chapman & Hall, New York: 525 S.

HALEVY, G. 1974: Effects of gazelles and seed beetles (Bruchidae) on germination and establishment of *Acacia* species. – Isr. J. Bot. 23: 120–126.

HALEVY, G. & G. ORSHAN, 1972: Ecological studies on *Acacia* species in the Negev and Sinai. I. Distribution of *Acacia raddiana*, *A. tortilis* and *A. gerrardii* ssp. negevensis as related to environmental factors. – Isr. J. Bot. 21: 197–208.

HAUSER, T. P. 1994: Germination,predation and dispersal of *Acacia albida* seeds. – Oikos. 71: 421–426.

HOWE, H. F. & J. SMALLWOOD, 1982: Ecology of seed dispersal. – Annu. Rev. Ecol. Syst. 13: 201–228.

JELTSCH, F., S. J. MILTON, W. R. J. DEAN & N. VAN ROOYEN, 1996: Tree spacing and coexistence in semiarid savannas. – J. Ecol. 84: 583–595.

KENNENNI, L. & E. VAN DER MAAREL, 1990: Population ecology of *Acacia tortilis* in the semi-arid region of the Sudan. – J. Veg. Sci. 1: 419–424.

KIYIAPI, J. L. 1994: Structure and characteristics of *Acacia tortilis* woodland on the Njemps Flats. – Adv. Geoecol. 27: 47–69.

LAMPREY, H. F., G. HALEVY & S. MAKACHA, 1974: Interactions between *Acacia*, bruchid seed beetles and large herbivores. – E. Afr. Wildl. J. 12: 81–85.

MILLER, M.F. 1994: The fate of mature African *Acacia* pods and seeds during their passage from the tree to the soil. – J. Trop. Ecol. 10: 183–196.

MILLER, M. F. 1994: The costs and benefits of *Acacia* seed consumption by ungulates. – Oikos. 71: 181–187.

MILLER, M. F. 1996: Dispersal of *Acacia* seeds by ungulates and ostriches in an African savanna. – J. Trop. Ecol. 12: 345–356.

MILLER, M. F. & M. COE, 1993: Is it advantageous for *Acacia* seeds to be eaten by ungulates? – Oikos. 66: 364–368.

MILTON, S. J. & W. R. J. DEAN, 1995: How useful is the keystone species concept, and can it be applied to *Acacia erioloba* in the Kalahari Desert? – Z.Ökologie.Naturschutz. 4: 147–156.

MURRAY, D. R. 1986: Seed dispersal. – Academic Press, San Diego: 322 S.

ROHNER, C. & D. WARD, 1998: Large mammalian herbivores and the conservation of arid *Acacia* stands in the Middle East. – Conserv. Biol., im Druck.

SMITH, T. M. & P. S. GOODMAN, 1986: The effect of competition on the structure and dynamics of *Acacia* savannas in Southern Africa. – J. Ecol. 74: 1013–1044.

STERN, E., Y. GRADUS, A. MEIR, S. KRAKOVER & H. TSOAR, 1986: Atlas of the Negev. – Dept. of Geography, Ben-Gurion University of the Negev, Beer-Sheva.

THIÉRY, J. M., D'HERBÉS, J.-M. & VALENTIN, C. 1995. A model simulating the genesis of banded vegetation patterns in Niger. J. Ecol. 83: 497–507.

WARD, D. & C. ROHNER, 1997: Anthropogenic causes of high mortality and low recruitment in three *Acacia* tree species in the Negev desert, Israel. – Biodivers.Conserv. 6: 877–893.

WIEGAND, T., S. J. MILTON & C. WISSEL, 1995: A simulation model for a shrub ecosystem in the semiarid Karoo, South Africa. – Ecology. 76: 2205–2221.

Adressen

Dipl. Phys. Kerstin Wiegand
Dr. Florian Jeltsch
UFZ Umweltforschungszentrum Leipzig-Halle
Sektion Ökosystemanalyse
PF 2
D-04301 Leipzig
EMail: kewi@oesa.ufz.de

Dr. David Ward
Blaustein Institute for Desert Research
Ben Gurion University of the Negev
IL-84990 Sede Boqer

ZOBODAT - www.zobodat.at

Zoologisch-Botanische Datenbank/Zoological-Botanical Database

Digitale Literatur/Digital Literature

Zeitschrift/Journal: Verhandlungen der Gesellschaft für Ökologie

Jahr/Year: 1997

Band/Volume: 28_1997

Autor(en)/Author(s): Jeltsch Florian, Wiegand Kerstin, Ward David

Artikel/Article: Untersuchungen zur Auswirkung von Straßen auf das Überleben der Akazien im Negev 499-506