
Fuzzy Logic basiertes Durchlässigkeitsmodell zur Analyse der Habitatvernetzung von Rotwild¹

Roland GRILLMAYER, Franz SUPPAN, Mark WÖSS,
Hermann SCHACHT, Christian HOFFMANN

Zusammenfassung

Im Rahmen des interdisziplinären Forschungsprojektes „Wildökologische Korridore“ wurde ein Durchlässigkeitsmodell für Rotwild (*Cervus hippelaphus*) entwickelt. Ziel dieses Modells war es, Zonen unterschiedlicher Durchlässigkeit auszuweisen, noch vorhandene Wanderkorridore zu erkennen und deren mögliche Beeinflussung durch zukünftige räumliche Landschaftsentwicklungen zu bestimmen. Die Umsetzung dieses räumlich-komplexen Sachverhaltes erfolgte mittels GIS. GIS wurde hierbei nicht nur als deskriptives Werkzeug verwendet, sondern tatsächlich zur Erarbeitung von „freien“ Planungsvarianten. Die Quantifizierung des Expertenwissens erfolgte durch Anwendung von Fuzzy-Logic-Regeln. Aus einer Vielzahl von Möglichkeiten kann dadurch eine „optimale“ Planungsvariante erarbeitet werden. Die Ergebnisse der Modellierung verdeutlichen die Bedeutung bestehender Gehölzstrukturen für die Migration von Wildtierarten und erleichtern die politisch-administrative Umsetzung von Schutzmaßnahmen.

Einleitung

Zur langfristigen Sicherung überlebensfähiger Populationen bedarf es eines Austauschs von Individuen zwischen Teilpopulation. Durch dieses Austauschpotential wird die genetische Variabilität erhöht und es kommt zur Bildung stabiler lokaler Populationsgrößen. In großflächigen Lebensräumen, wie sie in früheren Jahren der einheimischen Fauna zur Verfügung standen, konnten sich die Wildtiere über weite Strecken ausbreiten und überlebensfähige Populationen bilden. Diese Lebensräume werden heute zunehmend zerschnitten (z.B. Straßen) oder in ihrer Fläche minimiert (Siedlungsdruck, intensive Landnutzung).

Das Untersuchungsgebiet wurde in einem international wildökologisch besonders interessanten Teilareal in der Agrarlandschaft zwischen dem Leithagebirge und dem Nationalpark Donauauen südöstlich von Wien gewählt. Hier verläuft auch die mittlerweile bereits mehrfach durchtrennte Alpen-Karpaten-Achse (Wildtier-Korridor), wo erhebliche Investitionen zur Nachrüstung von Autobahnen und Schnellstrassen mit Grünbrücken für Wildtiere erforderlich werden (VÖLK et al. 1999), um die Funktion wiederherzustellen.

Aufgrund der hohen Kosten, die bei der Errichtung dieser Grünbrücken aus öffentlichen Mittel aufgebracht werden müssen (eine Grünbrücke kostet zwischen 8 und 12 Millionen

¹ Diese Arbeit wurde mit Mitteln des FWF finanziert: Grant-Nr. P14662-INF.

Euro), ist die Entwicklung eines nachvollziehbaren Verfahrens für die bestmögliche Standortfindung unumgänglich. Das in den folgenden Kapiteln beschriebene Durchlässigkeitsmodell stellt einen ersten Versuch dar, dieser Anforderung gerecht zu werden.

Datengrundlage

Ein Schwerpunkt im Rahmen des Forschungsprojektes war die Entwicklung einer kostengünstigen und zeiteffizienten Erhebungsmethodik. Die im weiteren beschriebene Bereitstellung einer kostengünstigen Erhebungs- und Kartierungsmethode stellt somit einen wichtigen Beitrag zur Integration wildökologischer Fragestellungen in umweltrelevanten Planungsprozessen dar.

Nach eingehender Literaturstudie erfolgte eine Typisierung der Landschaftselemente mit Leitfunktion (z.B. Gehölzstreifen, Waldinseln sowie ähnliche Landschaftselemente die eine ausreichende Deckung bieten bzw. zur Orientierung der untersuchten Wildtierarten beitragen) und der barrierewirksame Landschaftselemente (z.B. Gewässer, Straßen, Böschungen, Zaunflächen usw.) nach wildökologischen Kriterien. Um die Erhebung dieser Landschaftselemente zu vereinfachen, wurden praxisrelevante „Klassen“ von Attributen abgeleitet.

Aufgrund der Größe des Untersuchungsgebietes ist die günstigste Erhebungsvariante eine Kombinationsverfahren, bei dem die zu erhebenden Daten mittels automatisierter Satellitenbildklassifikation, Luftbildinterpretation und terrestrischen Kartierung gewonnen werden (siehe Tabelle 1).

Tab. 1: Landschaftselemente und deren zugehörige Informationsebenen der Erhebung

| Datengrundlage | Informationsebene | Informationsgewinn |
|--------------------------|--------------------------|--|
| Satellitenbildauswertung | 1:50000 | Abgrenzung und Klassifizierung der landwirtschaftlichen Nutzflächen |
| Luftbildinterpretation | 1:25000 | Abgrenzung der Gehölzkorridore und Landschaftselemente mit Barrierewirkung und Bestimmung der luftbildsichtbaren Attribute |
| Freilanderhebung | 1:1 | Erhebung der nicht luftbildsichtbaren Attribute sowie Kontrolle von kritischen Landbedeckungsklassen |

In einem ersten Arbeitsschritt wurde eine automatisierte Satellitenbildklassifizierung durchgeführt, bei der die im Rahmen des Forschungsprojektes „SINUS - Study of Structural Features of Landscape Ecology as Indicators for Sustainable Land Use“ entwickelten Segmentierungs- und Klassifizierungsalgorithmen zur Anwendung kamen

(SUPPAN et al. 1998). Durch diese Vorgangsweise konnten bereits 75% aller zu kartierenden Flächen abgegrenzt und deren Attribute zugewiesen werden.

In weiterer Folge wurde eine Luftbildinterpretation durchgeführt, bei der das Hauptaugenmerk auf die im Satellitenbild nicht identifizierbaren wildökologisch relevanten Landschaftselemente gerichtet wurde. Diese Landschaftselemente sind schmale Gehölzstreifen, kleinflächige Vegetationsstrukturen (Komplexlandschaften) sowie sämtliche Landschaftselemente, die eine Barrierewirkung für die untersuchten Wildtierarten darstellen.

Bei der abschließenden terrestrischen Erhebung mußten nur noch wenige Landschaftselemente, die am Luftbild aufgrund ihrer räumliche Ausdehnung bzw. durch die Überschirmung von Baumkronen nicht identifiziert werden konnten, erhoben werden. (z.B. Zäune, Lärmschutzmauern, Unterführungen usw.)

Eine ausführliche Beschreibung und Kostenrechnung der entwickelten Erhebungsmethodik sind Inhalt der Diplomarbeit „Gewinnung von Information über wildökologische Korridore aus Fernerkundungsdaten“ (HOFFMANN 2001).

Modellansatz

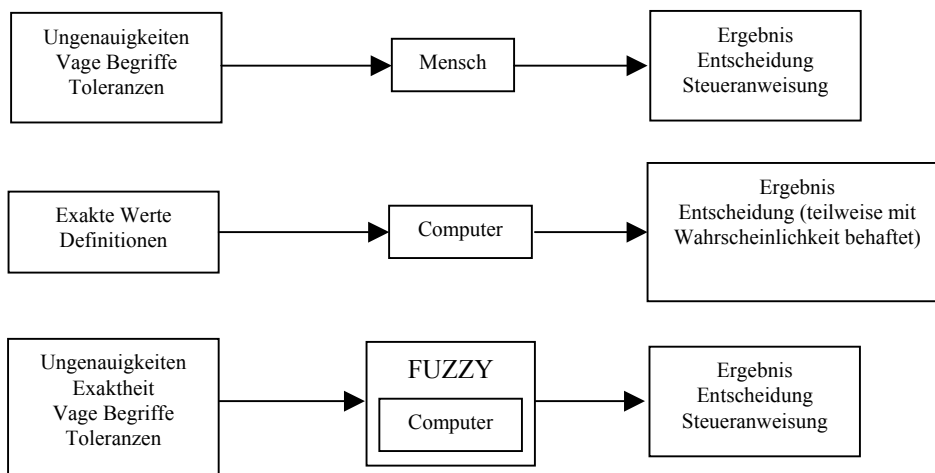


Abb. 1: Dem menschlichen Gehirn bereitet es keine Schwierigkeiten mit vagen, toleranzbehafteten Aussagen umzugehen. Durch den Einsatz der Fuzzy Logic können umgangssprachliche Begriffe und Schlussfolgerungen für den Computer verständlich gemacht werden (TRAEGER 1994).

Das Konzept der Fuzzy-Logic eröffnet die Möglichkeit der Umsetzung von qualitativ (linguistisch) formuliertem Wissen (Sprachebene des Menschen) in Werte, die durch unscharfe Mengen auf einer numerischen Skala definiert sind (Sprachebene des Computers). Formal ist somit eine (inhaltliche) Brückenfunktion zwischen menschlichem

Wissen und einer maschinenmäßigen Darstellung geschaffen (GRAUL 1995). Das Konzept der Fuzzy-Logic ermöglicht somit wildökologisches Expertenwissen in ein numerisches System überzuführen. Durch den Einsatz des Fuzzy-Logic Konzeptes in GIS-Technologien können die Zusammenhänge, die zwischen der Landschaftsausstattung und dem Migrationsverhalten von Wildtieren bestehen, räumlich dargestellt und analysiert werden.

Wildökologische Durchlässigkeitswerte

Das entwickelte Durchlässigkeitsmodell weist einen Wertebereich zwischen 0 und 1 auf, wobei der Wert 1 einen optimalen Lebensraum/Verbindungskorridor und der Durchlässigkeitswert 0 eine absolute Barriere (z.B. gezäunte Fläche oder nicht überwindbarer Niveausprung) kennzeichnet. Da Landschaftselemente entweder einen positiven, negativen oder neutralen Beitrag zur Lebensraumvernetzung leisten, wird je nach Landschaftselement entweder ein Korridorwert (positiver Beitrag), ein Barrierewert (negativer Beitrag) oder ein Lebensraumwert (positiver bis neutraler Beitrag) dem jeweiligem Landschaftselement zugewiesen.

Tab. 2: Zusammenhang zwischen numerischen Barrierewerten und deren verbalen Beschreibungen

| Barrierewert | Verbale Beschreibung des Barrierewiderstandes |
|---------------------|--|
| 1.0 | Absolute Barriere, keine Querung möglich |
| 0.8 | Schwer überwindbare Barriere |
| 0.6 | Überwindbare Barriere (wird z.B. überwunden um Nahrungsangebot zu erschließen (z.B. Maisfeld, Zuckerrübenfeld usw.)) |
| 0.4 | Leicht überwindbare Barriere |
| 0.2 | Sehr leicht überwindbare Barriere |
| 0 | Keinerlei Beeinflussung durch Landschaftselement zu erwarten |

Beispielsweise werden Straßen oder Siedlungen Barrierewerte zugewiesen, Wäldern und Gehölzstreifen werden Korridorwerte zugewiesen. Zur Veranschaulichung wird in Tabelle 2 der Zusammenhang zwischen Barrierewerten und deren verbalen Beschreibungen dargestellt, mit deren Hilfe es den Wildbiologen/-ökologen möglich ist, die unterschiedlichen Barrierearten zu bewerten.

Formulierung des Regelwerkes

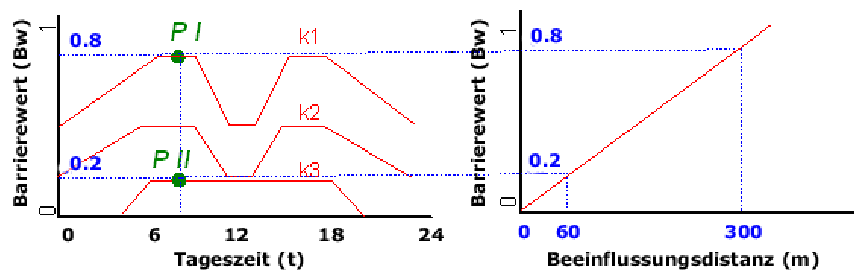
Die jeweilige Zuweisung des Barriere-, Korridor- bzw. Lebensraumwertes soll anhand des Landschaftselementes „Straßenflächen“ und der für diese Kategorie ermittelten Fuzzy – Membership - Funktion dargestellt werden.

Für dieses Landschaftselement wurden die Parameter Straßenkategorie (3 Kategorien) und Verkehrsdichte in Abhängigkeit von der Uhrzeit bei der Zuweisung der Barrierewerte berücksichtigt. Wie aus Abbildung 2 ersichtlich, variieren die Barrierewerte im Tagesverlauf. Durch diese Variation der Barrierewerte wird die tagesabhängige Verkehrsdichte (morgendlicher und abendlicher Pendlerverkehr) sowie das artspezifische

Migrationsverhalten (erhöhte Migrationsaktivität in den Abend- und Nachtstunden) berücksichtigt. Durch dieses Verhalten kommt es in den frühen Morgen- und Abendstunden zu maximalen Barrierewerten der Straßenkategorie k1 (Straßen mit überregionaler Bedeutung, Autobahnen und Schnellstraßen) sowie der Straßenkategorie k2 (Straße mit regionaler Bedeutung, Bundesstraßen). Straßen untergeordneter Bedeutung (Kategorie k3) weisen hingegen im Tagesverlauf einheitliche Barrierewerte auf, da bei diesen mit einer gleichmäßigen Verteilung des Verkehrsaufkommens gerechnet wird.

Sowohl Straßen als auch einige andere Barrieren weisen jedoch eine nicht scharf abgrenzbare lokale Barrierewirkung (und damit verbundenen Barrierewert) auf, sondern beeinflussen auch die umliegenden Gebiete. Untertags wird die Distanz, ab welcher keinerlei Störung durch Straßen (Beunruhigung durch Lärm und bewegte Objekte, bewegte Schatten, usw.) zu erwarten ist, mit 300 Meter definiert. Mit abnehmendem Barrierewert verringert sich auch die Beeinflussungsdistanz. Zur Vereinfachung der Berechnung wird angenommen, daß der Barrierewert linear mit dem Abstand zur Straße abnimmt.

Für den Punkt P I (Autobahn um 7:00 Uhr morgens) ergibt sich somit ein Barrierewert von 0.8 (= schwer überwindbare Barriere), die Distanz der maximalen Beeinflussung beträgt 300 Meter. Für den Punkt P II (Straße untergeordneter Bedeutung um 7:00 Uhr morgens) ergibt sich hingegen ein Barrierewert von 0.2 (= sehr leicht überwindbare Barriere), die maximale Störungsdistanz beträgt 60 Meter.



- k1...Straßenkategorie1, Straßen mit überregionaler Bedeutung
- k2...Straßenkategorie2, Straßen mit regionaler Bedeutung
- k3...Straßenkategorie3, Straßen untergeordneter Bedeutung

Abb. 2: Fuzzy-Membership-Funktion für das Landschaftselement „Straße“

Ermittlung des Gesamtwiderstandes des Untersuchungsgebietes

Wie für das oben beschriebene Landschaftselement „Straße“ werden für jedes Landschaftselement Fuzzy-Membership-Funktionen definiert. In einem ersten Arbeitsschritt werden die **Korridorwerte (Kw)** und **Lebensraumwerte (LRw)** additiv (Mittelwertbildung) verknüpft (= Bewertung jener Landschaftselemente die einen positiven bzw. neutralen Beitrag zur Lebensraumvernetzung leisten). Das Ergebnis dieser Verknüpfung stellt die Bewertung der unterschiedlichen Gehölzstrukturen (Wälder, Waldinseln sowie Gehölzstreifen) und aktuellen Landbedeckung (Ackerkulturen, Wiesen, Weingärten usw.) dar. Um die barrierewirksamen Landschaftselemente zu berücksichtigen, wurde dieses Zwischenergebnis mit dem **Barrierewert (Bw)** multiplikativ verknüpft.

$$D_w = \frac{K_w + LR_w}{2} \times (1 - BW)$$

Das Resultat dieser Verknüpfung repräsentiert die **Durchlässigkeit (D_w)** der Landschaft und wird unterstützend für die wildökologischen Detailanalyse des Untersuchungsgebietes herangezogen.

Festlegung von Grenzwerten

Zur Feststellung des Schwellenwertes, ab dem der Wechsel des Rotwildes eingeschränkt bzw. unterbunden wird, erfolgte eine Fährtenkartierung entlang von vorgegebenen Traktlinien. Durch die Verschneidung des Durchlässigkeitsmodells mit der Fährtenkartierung konnte ein Schwellwert kleiner 0.5 definiert werden. In Gebieten, die Durchlässigkeitswerte kleiner 0.5 aufweisen, konnte kein Rotwildnachweis erbracht werden. Zwölf der vierzehn Beobachtungen liegen in einem Wertebereich zwischen 1.0 und 0.6, die restlichen zwei Nachweise liegen bei Werten zwischen 0.5 und 0.6. Eine ähnliche Verteilung weisen die Fährtenhebungen von Schwarzwild auf.

Durch die Festlegung dieser Schwellwerte wird ein Überblick gegeben, welche Landschaftsteile ein hohes Störungspotential aufweisen und ob eine Migration der Wildtiere vom Nationalpark Donauauen in die Leithaaunen noch möglich ist. Wie aus Abbildung 3 ersichtlich, ist die Bewegungsachse zwischen diesen beiden NATURA2000 Gebieten unterbrochen und in einigen Bereichen auf ein schmales Migrationsband reduziert. Im Bereich dieser Engstellen können bereits geringfügige Störungen zu einer Unterbrechung der Migrationsachse führen.

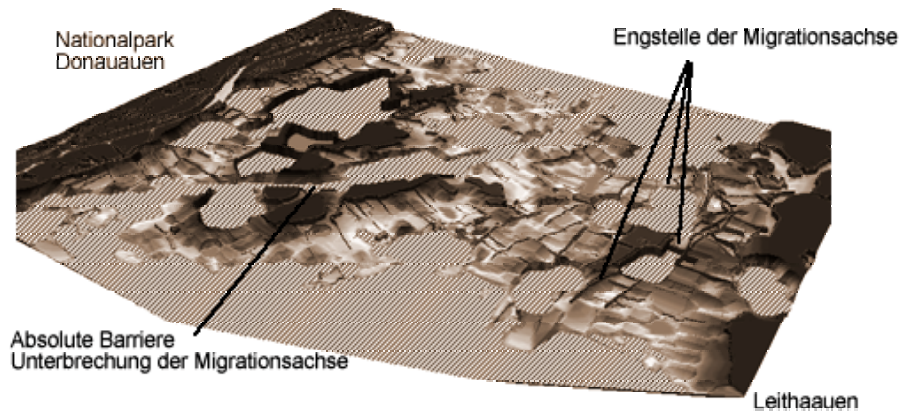


Abb. 3: Landschaftsteile mit erhöhtem Störungspotential (schraffiert, Durchlässigkeitswert kleiner 0.5) unterbrechen bzw. reduzieren die Migrationsachse auf schmale Restflächen. Je dunkler die Fläche umso höher ist der Durchlässigkeitswert und damit das Vernetzungspotential bzw. desto hochwertiger ist der Lebensraum.

Ausweisung der wahrscheinlichsten Migrationsachse

Für die Berechnung der wahrscheinlichsten Migrationsachse zwischen dem Nationalpark Donauauen und dem Leithagebirge wurden die im ArcInfo zur Verfügung stehenden cost-distance-functions verwendet. Das beste Resultat liefert hierbei die ArcInfo-Funktion „corridor“. Durch den corridor-Befehl wird die Summe der akkumulierten Widerstandswerte gebildet. Die Akkumulation erfolgt hierbei entlang des Weges des minimalen Widerstandes von einem Quellgebiet (Donauauen) in ein Zielgebiet (Leithaaunen). Das Ergebnisbild zeigt 10 Zonen unterschiedliche Durchlässigkeit (Abbildung 4). Die Evaluierung des Ergebnisbildes erfolgte anhand der Fährtenkartierung. Sieben der vierzehn Rotwildnachweise liegen in der Durchlässigkeitszone 1, vier in der Durchlässigkeitszone 2, zwei in der Durchlässigkeitszone 3 und einer in der Durchlässigkeitszone 4. In den restlichen Durchlässigkeitszonen konnten keine Nachweise erbracht werden.

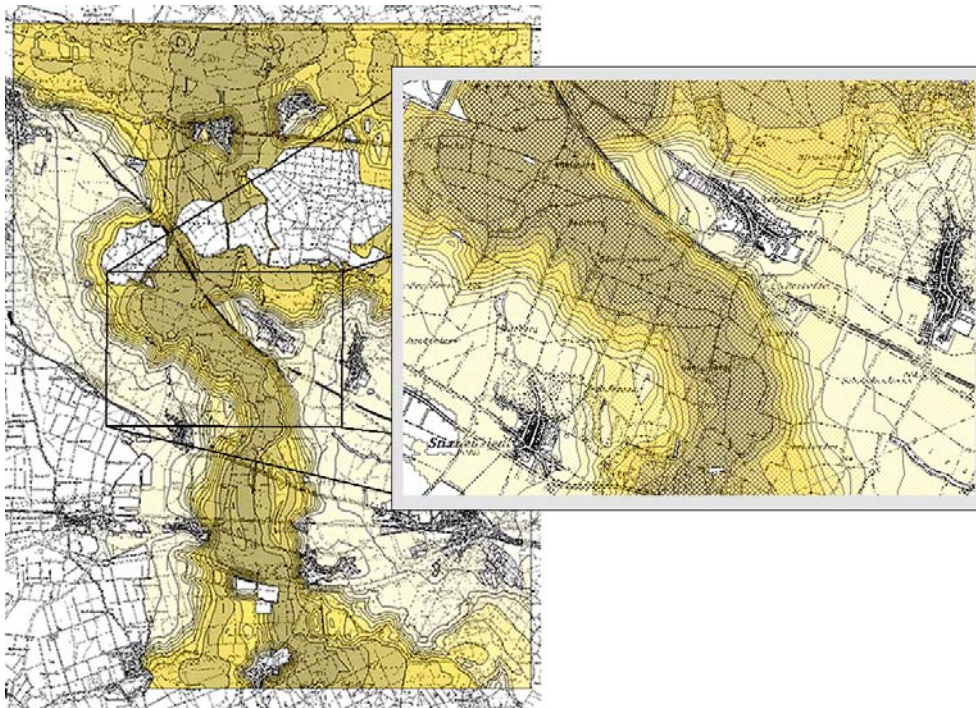


Abb. 4: Räumliche Abgrenzung der Zonen unterschiedlicher Durchlässigkeit (je niedriger der Grauwert desto höher ist die Durchlässigkeit). Die tiefsten Grauwerte repräsentieren der Bereich der wahrscheinlichste Migrationsachse im Untersuchungsgebiet.

Das Besondere an dieser Art der Modellierung ist die „freie Identifizierung potentieller Korridore“ (BLASCHKE 2000). Hier wurden nicht nur vorgegebene Planungsvarianten bewertet, sondern das Modell ist in der Lage, auf Veränderungen zu reagieren und „optimale“ Planungsvarianten zu entwerfen. Diese Fähigkeit des vorgestellten Modells ist daher von höchstem Interesse für den Einsatz von GIS als explizites Werkzeug in der Planung und hebt sich damit eindeutig vom GIS-Einsatz als rein deskriptives Werkzeug ab.

Anwendungsbereiche der Modellierung

Das Modell ermöglicht eine nachvollziehbare, räumliche Abgrenzung der wahrscheinlichsten Migrationsachse. Erst durch diese räumliche Abgrenzung wird die Berücksichtigung der wildökologisch relevanten Vernetzungsstrukturen in zukünftigen, raumwirksamen und damit wildökologisch relevanten Planungsprozessen möglich. Als Beispiel sei an dieser Stelle die Errichtung einer Windkraftanlage in der Region rund um

Stixneusiedel angeführt. Bei der Standortwahl der Windkraftanlage kommen die im Rahmen des Projektes erstellten Planungsgrundlagen zur Anwendung.

Ein weiteres Anwendungsbeispiel des Durchlässigkeitsmodells ist die Bestimmung optimaler Standorte von Grünbrücken. Die Notwendigkeit einer Grünbrücke im Bereich des Ellender Waldes wird durch die Studie „Kostenreduktion bei Grünbrücken durch deren rationellen Einsatz“ bestätigt (VÖLK et al. 2001).

Die im Rahmen der Widerstandsmodellierung ausgewiesenen Zonen unterschiedlicher Durchlässigkeit untermauern die Standortwahl der Experten (siehe Abbildung 5) und tragen somit zu einer Transparenz der Entscheidungsfindung bei.

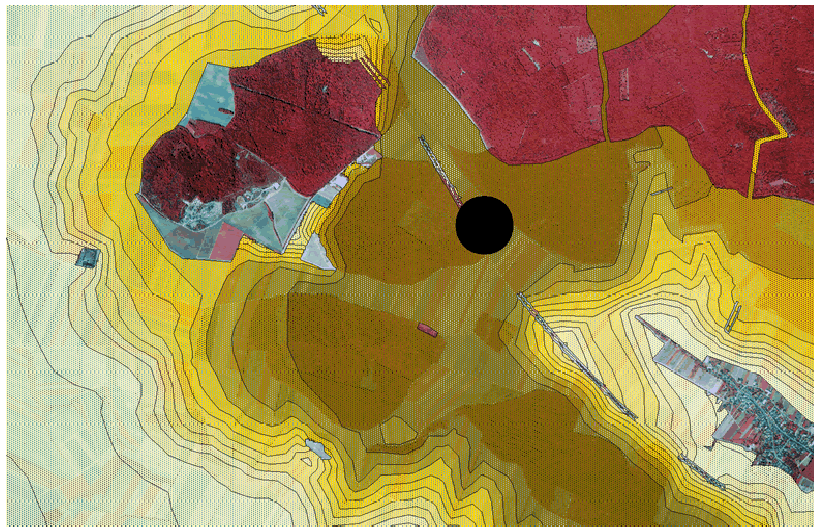


Abb. 5: Einsatzmöglichkeiten der Durchlässigkeitsmodellierung zur Standortfindung von Grünbrücken. (Kreisfläche = Standortempfehlung der Experten)

Ausblick

Der Spruch „*Ein Bild sagt mehr als tausend Worte*“ ist auch eine in den unterschiedlichen Naturschutzdisziplinen gültige Weisheit. Eine Vielzahl naturschutzrelevanter Fragestellungen und deren Integration in Planungsprozesse scheitern an der Nichtumsetzung des meist vorhandenen Expertenwissens in Planungsgrundlagen, die einen räumlichen Bezug aufweisen. Die Integration des Konzepts der Fuzzy-Logic in bestehende GIS-Technologien stellt eine Möglichkeit dar, dieser Problematik entgegen zu wirken.

Die Entwicklung von Methoden und Modellen, die eine Integration des vorhandenen Expertenwissens ermöglichen und damit zu nachvollziehbaren Planungsgrundlagen beitragen, wird auch in Zukunft eines der wesentlichen Aufgabenfelder jener

Wissenschaftler darstellen, deren Aufgabenbereich die Umsetzung naturschutzorientierter Anwendungen in GIS-Technologien ist.

Literaturliste

- BLASCHKE, T. 2000. Die Vernetzung von Landschaftselementen - Die Rolle von GIS in der Landschaftsplanung. *Geoinformationssysteme* 6/00, pp. 17 – 26
- GRAUL, A. 1995. *Fuzzy-Logic: Einführung in die Grundlagen mit Anwendungen*. BI - Wissenschaftsverlag, Mannheim.
- HOFFMANN, C. 2001. Gewinnung von Information über wildökologische Korridore aus Fernerkundungsdaten, Diplomarbeit, Universität für Bodenkultur Wien, Wien.
- SUPPAN, F., J. Steinwendner, B. RENATE, and W. SCHNEIDER. 1998. Landscape structure derived from satellite images as indicator for sustainable landuse. Pages 119-127 *in* G. J. A. Nieuwenhuis and R. A. Molenaar, (editors), *EARSel Symposium - Operational remote sensing for sustainable development*, A.A Balkema, Enschede.
- TRAEGER, D. H. 1994. *Einführung in die Fuzzy-Logic*. B. G. Teubner, Stuttgart.
- VÖLK, F., G. I, and R.-E. V. 1999. Motorways in Austria - a barrier for big game migratons and mobility? Criteria, evaluation and requirements for defragmentation projects. pp. 159 - 173 *in* *Laboratoires des voies de circulation (LAVOC)*, Ecole polytechnique federale de Lausanne, Lausanne.
- VÖLK, F., G. IRENE, and M. WÖSS. 2001. Kostenreduktion bei Grünbrücken durch deren rationellen Einsatz. Band 513, Bundesministerium für Verkehr, Innovation und Technologie, Straßenforschung, Wien.