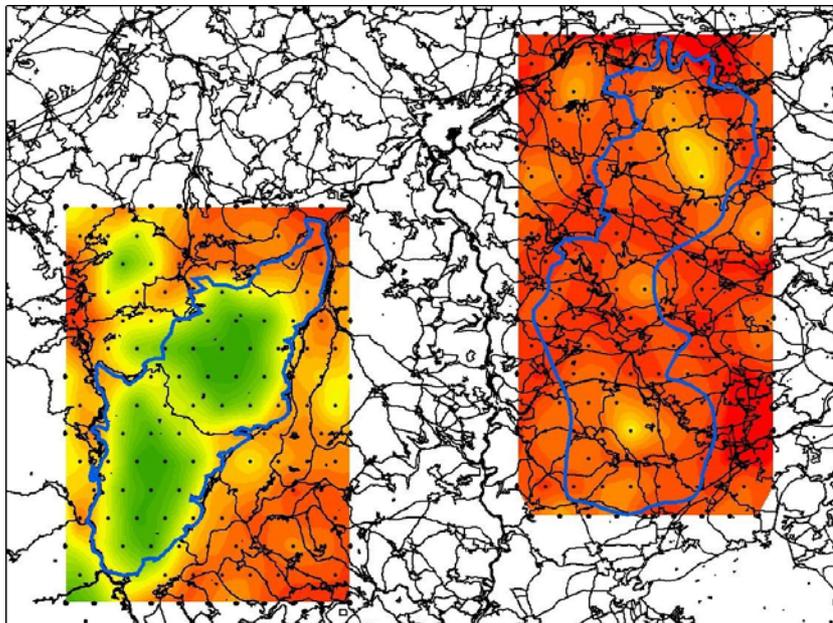


**Universität Stuttgart**  
Institut für Landschaftsplanung und Ökologie

**ARCGIS-TOOL ZUR ANALYSE DES  
LANDSCHAFTSZERSCHNEIDUNGSGRADES  
MIT DER MESSGRÖßE 'EFFEKTIVE MASCHENWEITE'**



**HANDBUCH**

Dipl.-Ing. (FH) / M. eng. Claudia Lang

Dr. Hans-Georg Schwarz – v. Raumer, Institut für Landschaftsplanung  
und Ökologie, Universität Stuttgart

Dipl.-Geogr. Heide Esswein, Institut für Landschaftsplanung und  
Ökologie, Universität Stuttgart

Juli 2008

## **Inhaltsverzeichnis**

1.	Grundlagen zur Anwendung des Meff-Tools .....	3
2.	Verwendung des meff-Tools für ArcGIS ArcMap.....	4
2.1.	Werkzeugleiste Meff-Tool .....	4
2.2.	Gesamtraumanalyse .....	5
2.3.	Teilraumanalyse .....	9
2.4.	Flächendeckende Analyse als Widerstandsoberfläche .....	14
3.	Methodischer Hintergrund .....	17
3.1.	Effektive Maschenweite als quantitative Messgröße des Zerschneidungsgrades .....	17
3.2.	Ermittlung der effektiven Maschenweite für Teilräume .....	19
3.3.	Flächendeckende Ermittlung der effektiven Maschenweite und Darstellung als Widerstandsoberfläche.....	21
3.3.1.	Aufbauende Analysen auf Grundlage der Widerstandsoberfläche.....	21
4.	Literaturliste.....	22

## **Abbildungsverzeichnis**

Abb. 1	Werkzeugleiste Meff-Tool .....	4
Abb. 2	Aufforderung, in die Datenansicht zu wechseln .....	4
Abb. 3	Formular Gesamtraumanalyse .....	5
Abb. 4	Hinweise zur Gesamtraumanalyse .....	5
Abb. 5	Dialogfeld zur Auswahl eines Polygon Layers.....	5
Abb. 6	Dialogfeld zum Hinzufügen einer Polygon Feature Class .....	6
Abb. 7	Rückfrage bei fehlender oder fehlerhafter Feature Class Auswahl.....	6
Abb. 8	Dialogfeld zur Auswahl eines Verzeichnisses .....	6
Abb. 9	Rückfrage bei fehlender oder ungültiger Eingabe im Textfeld Gesamtfläche .....	7
Abb. 10	Meldung, dass die Berechnung beendet ist. ....	7
Abb. 11	Ergebnistabelle Gesamtraumanalyse ohne statistische Werte.....	7
Abb. 12	Ergebnistabelle Gesamtraumanalyse mit statistischen Werten.....	8
Abb. 13	Formular Teilraumanalyse .....	9
Abb. 14	Hinweise zur Teilraumanalyse.....	9
Abb. 15	Warnmeldung bei Änderung der Option 'Temporäre Daten löschen' .....	10
Abb. 16	Ergebnistabelle Teilraumanalyse ohne statistische Werte .....	11
Abb. 17	Ergebnistabelle Teilraumanalyse Methode (1) bis (4) mit statistischen Werten .....	11
Abb. 18	Ergebnistabelle Teilraumanalyse Methode (5) oder (6) mit statistischen Werten.....	12
Abb. 19	Temporäre Daten der Teilraumanalyse mit den Analysemethoden (1) und (2) .....	12
Abb. 20	Temporäre Daten der Teilraumanalyse mit den Analysemethoden (3) und (4) .....	13
Abb. 21	Formular Widerstandsoberfläche .....	14
Abb. 22	Hinweise zur flächendeckenden Analyse .....	14
Abb. 23	Widerstandsoberfläche in Graustufen gestreckt mit 2facher Standardabweichung .....	16
Abb. 24	Widerstandsoberfläche klassifiziert mit Farbskala.....	16

## **1. Grundlagen zur Anwendung des Meff-Tools**

Grundlage für die Ermittlung der effektiven Maschenweite mit einem geografischen Informationssystem ist die so genannte 'Zerschneidungsgeometrie'. Die zerschneidenden Elemente müssen im Vorfeld einer Analyse definiert werden. Alle Zerschneidungselemente werden im GIS überlagert (s. Esswein et al. 2002) und man erhält eine Zerschneidungsgeometrie, die alle unzerschnittenen Räume zwischen den Barrieren, also die 'Maschen' in einer Polygon Feature Class abbildet.

Das hier beschriebene Meff-Tool für ArcGIS ist eine Weiterentwicklung einer ArcView-Erweiterung (Schwarz-v. Raumer et al. 2006 unveröff.). Es entstand im Rahmen einer Masterarbeit an der FH Mainz. Neben der Weiterentwicklung von ArcView zu ArcGIS enthält es zusätzliche Funktionen zur Erstellung einer Widerstandsoberfläche basierend auf der Zerschneidungsgeometrie und einige verbesserte, benutzerfreundlichere Abfragefunktionen.

Das Werkzeug wurde mit Visual Basic für Applications (VBA) entwickelt und liegt als VBA-Makro vor, welches in ein .mxd-Dokument (ArcMap-Dokument) eingebettet wird. Der Benutzer des Werkzeugs ist darauf angewiesen, zur Verwendung des Werkzeugs das bereitgestellte .mxd-Dokument herunter zu laden, mit ArcMap zu öffnen und entsprechend den in Kapitel 2 dieser Anleitung erläuterten Anweisungen anzuwenden.

Im Folgenden wird die Anwendung des Meff-Tools für ArcGIS detailliert beschrieben. Im Anhang gibt es noch zusätzliche Informationen zum fachlichen Hintergrund. Ansonsten wird hier auch auf die weiterführende Literatur zum Thema verwiesen.

Bei Fragen zu technischen Details nehmen Sie bitte Kontakt mit Frau Claudia Lang<sup>1</sup> auf.

Bei thematischen Fragen wenden Sie sich bitte an Frau Heide Esswein<sup>2</sup> oder Herrn Schwarz-v. Raumer<sup>2</sup>.

---

<sup>1</sup> claudia.lang\_arcgismefftool@arcor.de

<sup>2</sup> he@ilpoe.uni-stuttgart.de, svr@ilpoe.uni-stuttgart.de

## 2. Verwendung des meff-Tools für ArcGIS ArcMap

### 2.1. Werkzeuggestreife Meff-Tool

Das Tool für ArcGIS 9 wird bereitgestellt als ArcMap-Dokument. Wenn die .mxd-Datei in ArcMap geöffnet wird, erscheint die Werkzeuggestreife Meff-Tool mit den drei Befehlschaltflächen für Gesamttraumanalyse, Teilraumanalyse und Widerstandsoberfläche.

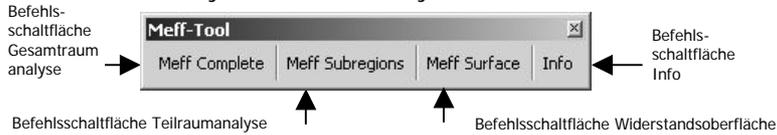


Abb. 1 Werkzeuggestreife Meff-Tool

Ein Mausklick auf eine der Schaltflächen öffnet das jeweilige Formular für die Auswahl von Dateien, Verzeichnissen und Optionen sowie die Eingabe von benutzerdefinierten Werten.

Bestimmte Funktionen des Werkzeugs funktionieren nur, wenn die Datenansicht aktiv ist. Daher wird diese Bedingung vor Öffnen eines der Benutzerformulare überprüft. Ist die Datenansicht nicht aktiv, erhält der Benutzer eine Aufforderung, in die Datenansicht zu wechseln.

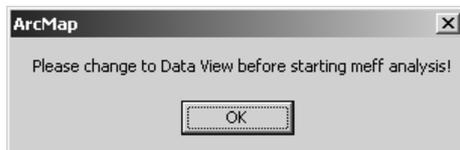


Abb. 2 Aufforderung, in die Datenansicht zu wechseln

Befehlschaltfläche Info öffnet ein Formular mit Angaben zum Autor und Urheberrecht.

## 2.2. Gesamtraumanalyse

Die Gesamtraumanalyse berechnet die effektive Maschenweite für eine komplette Zerschneidungsgeometrie.

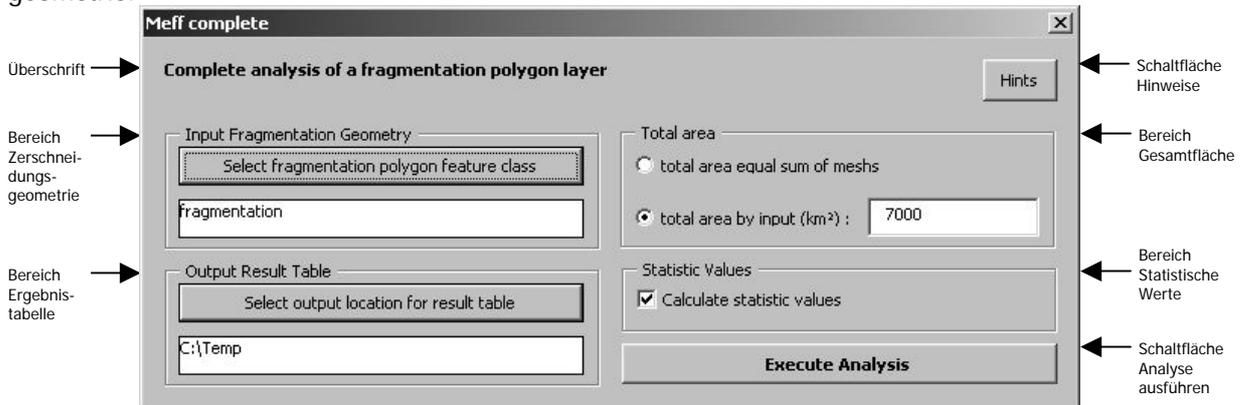


Abb. 3 Formular Gesamtraumanalyse

### Schaltfläche Hinweise

Bei Klick auf die Hinweis-Schaltfläche erscheint ein weiteres Formular, das kurz erläutert, welche Ergebnisse das Programm produzieren wird. Dies ist vor allem für die erste Benutzung des Tools hilfreich.

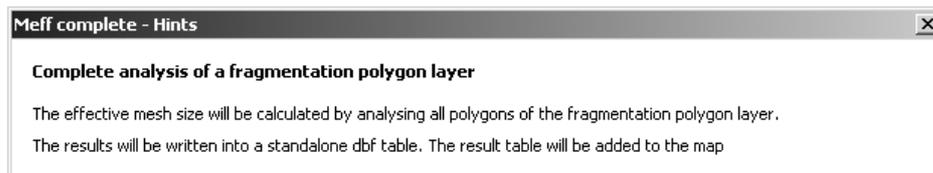


Abb. 4 Hinweise zur Gesamtraumanalyse

### Bereich Zerschneidungsgeometrie

Im Bereich Zerschneidungsgeometrie kann die Polygon Feature Class ausgewählt werden, die die Zerschneidungsgeometrie enthält. Bei Klick auf die Schaltfläche öffnet sich ein Auswahldialog. Es kann entweder ein bereits geladener Layer aus dem Inhaltsverzeichnis gewählt oder eine Feature Class aus einer Geodatabase oder als Shapefile neu hinzugefügt werden.

Der Benutzer kann die notwendigen Geometrien innerhalb des Auswahldialogs einfügen. Es ist nicht erforderlich, dass die Daten bereits geladen sind, wenn das Tool ausgeführt wird.

Das Listenfeld zur Auswahl einer Polygon Feature Class zeigt die bereits in der Karte geladenen Layer entsprechend der Reihenfolge des Inhaltsverzeichnisses an. Für Rasterlayer und Layergruppen wird der betreffenden Zeile ein Hinweis hinzugefügt, dass das Datenformat nicht unterstützt wird.

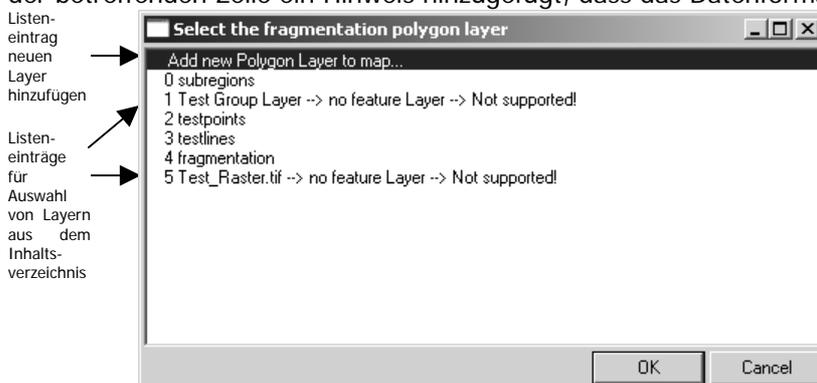


Abb. 5 Dialogfeld zur Auswahl eines Polygon Layers

Zusätzlich enthält die erste Zeile eine Verknüpfung zu einem Browserfenster über das ein neuer Layer hinzugefügt werden kann.

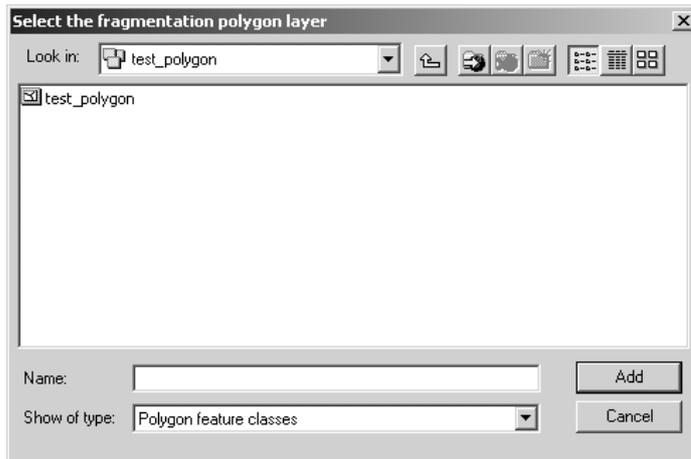


Abb. 6 Dialogfeld zum Hinzufügen einer Polygon Feature Class

Es werden nur Feature Classes vom Geometrietyp Polygon angezeigt, so dass keine Rasterdaten oder Vektordaten eines anderen Geometrietyps eingefügt werden können. Wenn die Karte noch keine Layer enthält, wird beim Click auf die Schaltfläche zur Auswahl der Geometrie sofort das Browserfenster zum Hinzufügen eines Layers geöffnet.

Sofern eine der anderen Zeilen ausgewählt wird, wird überprüft, ob der ausgewählte Layer vom Geometrietyp Polygon ist. Ist dies der Fall wird der Layername als Textstring übernommen. Handelt es sich um eine Layergruppe, einen Rasterlayer oder um einen Vektorlayer von einem falschen Geometrietyp, erscheint eine Meldung mit der Rückfrage, ob ein anderer Layer ausgewählt werden oder die Analyse abgebrochen werden soll. Auch bei Click auf die Abbrechen-Schaltfläche im Listenfeld oder im Browserfenster erscheint diese Rückfrage. Ein Fehler in der Ausführung des Programms wegen fehlender oder ungültiger Ausgangsdaten wird so vermieden

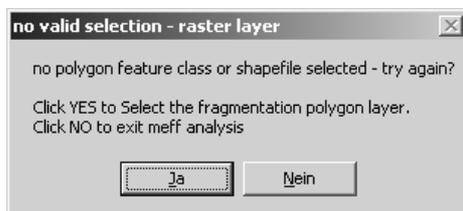


Abb. 7 Rückfrage bei fehlender oder fehlerhafter Feature Class Auswahl

### Bereich Ergebnistabelle

Ein Klick auf die Schaltfläche im Bereich Ergebnistabelle öffnet einen Browserdialog, in dem das Verzeichnis ausgewählt werden kann, in dem die Ergebnistabelle gespeichert werden soll. Innerhalb des Dialogs können auch neue Verzeichnisse erstellt werden.

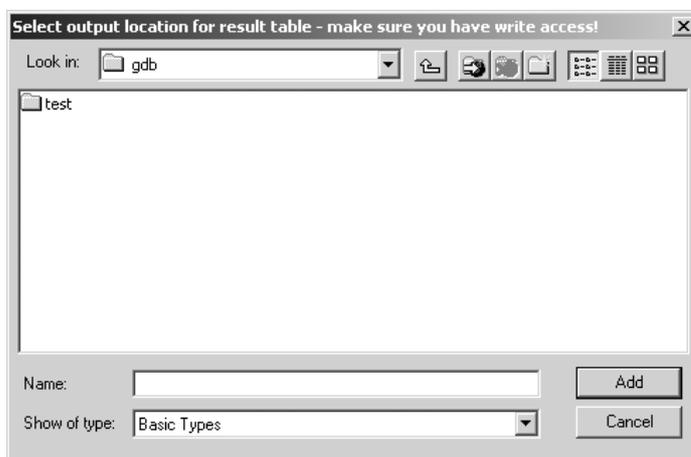


Abb. 8 Dialogfeld zur Auswahl eines Verzeichnisses

Wenn ein Verzeichnis ausgewählt wurde, wird der entsprechende Pfad als Textstring übernommen.

Falls der Dialog über die Abbrechen-Schaltfläche beendet wird, erscheint eine Rückfrage, ob in einem neuen Anlauf ein Verzeichnis ausgewählt werden oder die Analysefunktion abgebrochen werden soll.

Der Name des ausgewählten Layers sowie der Pfad des ausgewählten Verzeichnisses werden in dem jeweiligen weißen Bezeichnungsfeld im Bereich Zerschneidungsgeometrie bzw. Ergebnistabelle angezeigt.

Bereich Gesamtfläche

Der Bereich Gesamtfläche stellt die zwei Optionen 'Gesamtfläche entspricht Summe der Einzelflächen' und 'Gesamtfläche per Eingabe' zur Auswahl. Wird erstere gewählt, geht die Summe der Flächeninhalte der einzelnen Zerschneidungspolygone als Gesamtfläche in die Berechnung von  $m_{eff}$  ein. Bei der zweiten Variante muss die Gesamtfläche vom Benutzer eingegeben werden.

Bereich statistische Werte

Im Bereich statistische Werte kann ausgewählt werden, ob statistische Werte wie kleinste, und größte Einzelfläche etc. berechnet werden sollen.

Schaltfläche 'Analyse ausführen'

Ein Klick auf die Schaltfläche 'Analyse ausführen' startet den Berechnungsprozess.

Zunächst wird jedoch geprüft, ob alle erforderlichen Angaben zur Ausführung des Analyseprogramms vorhanden sind. Fehlt eine Layer- oder Verzeichnis-Auswahl, erscheinen die bereits oben beschriebenen Rückfrage-Meldungen.

In allen Fällen, wo Eingaben des Benutzers notwendig sind, wird überprüft, ob das jeweilige Textfeld eine gültige Eingabe enthält. Sofern der eingegebene Textstring nicht, wie erforderlich in einen numerischen Wert umgewandelt werden kann oder der numerische Wert nicht größer als Null ist, erscheint eine Meldung mit der Rückfrage, ob die Eingabe korrigiert bzw. wiederholt werden oder die Analyse abgebrochen werden soll.

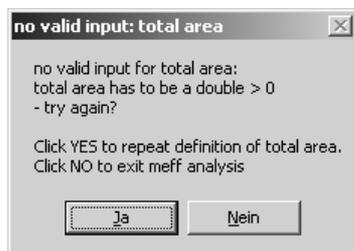


Abb. 9 Rückfrage bei fehlender oder ungültiger Eingabe im Textfeld Gesamtfläche

Sobald die Berechnung beendet ist erscheint eine Meldung.

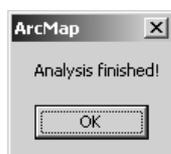


Abb. 10 Meldung, dass die Berechnung beendet ist.

Ergebnis

Das Ergebnis wird als Tabelle im .dbf-Format gespeichert. Im ausgewählten Verzeichnis wird ein Unterverzeichnis angelegt, dessen Namen aus der Zeichenfolge "meff\_complete\_" sowie dem aktuellen Datum im Format yyyyymmdd-hhmmss besteht. In diesem Verzeichnis wird die Tabelle gespeichert und dem aktuellen ArcMap Dokument hinzugefügt.

OID	ID	meff	totArea	count_F
0	0	20,278257	6919,817659	6850

Abb. 11 Ergebnistabelle Gesamttraumanalyse ohne statistische Werte

OID	ID	meff	totArea	count_F	sum_Fi	min_Fi	max_Fi	ave_Fi
0	0	20,045977	7000	6850	6919,817659	0,000003	146,670796	1,010192

Record: 0 Show: All Selected Records (of 1) Options

Abb. 12 Ergebnistabelle Gesamttraumanalyse mit statistischen Werten

Die Ergebnistabelle der Gesamttraumanalyse enthält nur eine Zeile. Sofern nicht die Option 'Statistische Werte berechnen' ausgewählt wurde, enthält sie neben dem automatisch generierten Feld OID nur 4 Felder für die Standardwerte:

- ID: Standardwert 0
- meff: effektive Maschenweite
- totArea: zur Berechnung herangezogene Gesamtfläche (dient der Nachvollziehbarkeit, ob mit einer eingegebenen Fläche oder der Summe der Einzelflächen gerechnet wurde)
- count\_F: Anzahl der einbezogenen Zerschneidungsflächen.

Sofern statistische Werte berechnet wurden, sind weitere 4 Felder enthalten:

- sum\_Fi: Summe der Flächengrößen der Einzelflächen
- min\_Fi: kleinste Flächengröße der Einzelflächen
- max\_Fi: größte Flächengröße der Einzelflächen
- ave\_Fi: durchschnittliche Flächengröße der Einzelflächen

### 2.3. Teilraumanalyse

Die Teilraumanalyse berechnet die effektive Maschenweite für einen oder mehrere Teilräume auf Grundlage einer Zerschneidungsgeometrie.

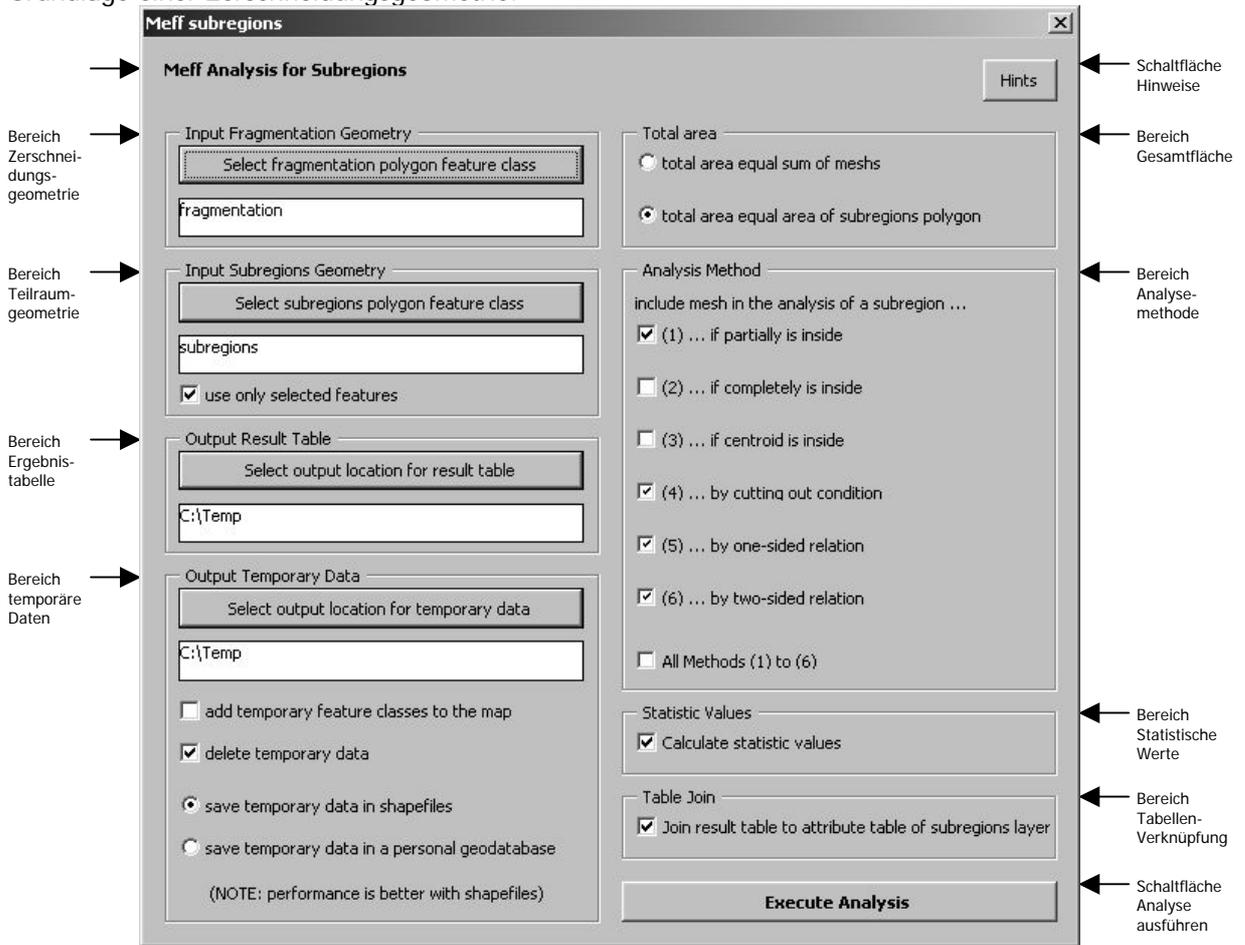


Abb. 13 Formular Teilraumanalyse

#### Schaltfläche Hinweise

Nähere Informationen erhält der Benutzer bei Klick auf die Schaltfläche Hinweise.

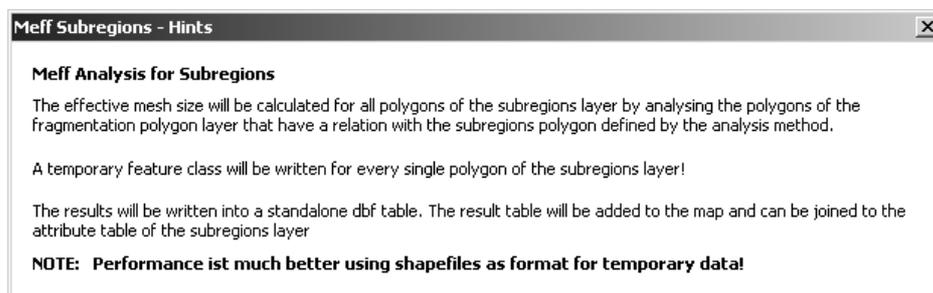


Abb. 14 Hinweise zur Teilraumanalyse

#### Bereich Zerschneidungsgeometrie

Wie bei der Gesamttraumanalyse ist die Zerschneidungsgeometrie auszuwählen.

#### Bereich Teilraumgeometrie

Zusätzlich muss im Bereich Teilraumgeometrie eine Polygon Feature Class ausgewählt werden, die ein oder mehrere Teilraumpolygone enthält. Es kann angegeben werden, ob alle oder nur die selektierten Teilraumpolygone verwendet werden sollen. Wenn der Haken gesetzt ist, aber keine Polygone ausgewählt sind, werden alle Teilräume in die Analyse mit einbezogen.

### Bereich Ergebnistabelle

Wie bei der Gesamtraumanalyse ist ein Verzeichnis für die Speicherung der Ergebnistabelle auszuwählen.

### Bereich Temporäre Daten

Im Bereich Temporäre Daten wird ein Verzeichnis ausgewählt, in dem die während der Analyse entstehenden temporären Feature Classes gespeichert werden sollen. Es kann ausgewählt werden, ob die temporären Feature Classes gelöscht oder dem Kartendokument hinzugefügt werden sollen. Im Normalfall werden die Daten gelöscht, weil je nach Größe und Anzahl der Teilräume eine große Datenmenge produziert werden kann. Es kann außerdem bestimmt werden, ob die temporären Daten in Shapefiles oder in einer Personal Geodatabase gespeichert werden. Standard ist die Speicherung in Shapefiles, weil sich herausgestellt hat, dass die Performance vor allem bei großen Rechengebieten besser ist.

Wenn die als Standard gesetzte Option, dass diese Dateien gelöscht werden sollen, geändert wird, erscheint eine Warnmeldung. Diese muss mit Ja quittiert werden, damit sich der Benutzer bewusst darüber ist, dass eine größere Anzahl an Feature Classes und eine entsprechende Datenmenge erzeugt werden kann.

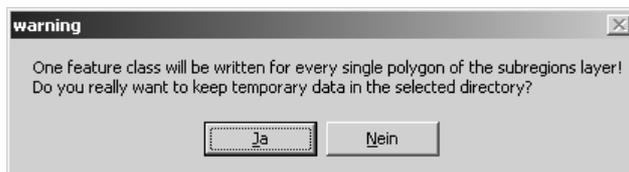


Abb. 15 Warnmeldung bei Änderung der Option 'Temporäre Daten löschen'

Ebenso erscheint bei Auswahl der Option, dass die temporären Feature Classes der Karte hinzugefügt werden sollen, eine Warnmeldung.

### Bereich Gesamtfläche

Als Gesamtfläche für die Berechnung der effektiven Maschenweite kann entweder die Flächengröße des Teilraums oder die Summe der dem Teilraum zugeordneten Maschen ausgewählt werden.

### Bereich Analysemethode

Es muss mindestens eine der sechs zur Verfügung stehenden Analysemethoden ausgewählt werden. Die Analysemethode bestimmt zum einen, welche räumliche Beziehung zwischen Teilraum und Einzelfläche bestehen muss, damit die Einzelfläche in die Berechnung der effektiven Maschenweite des Teilraums einbezogen wird. Zum anderen bestehen Unterschiede in der Berechnungsformel:

- (1) Das Zerschneidungspolygon wird einbezogen, wenn sie eine gemeinsame Schnittfläche mit dem Teilraumpolygon besitzt
- (2) Das Zerschneidungspolygon wird einbezogen, wenn es vollständig innerhalb des Teilraumpolygons liegt
- (3) Das Zerschneidungspolygon wird einbezogen, wenn sein Zentrum (Schwerpunkt) innerhalb des Teilraumpolygons liegt.
- (4) Die gemeinsame Schnittfläche des Zerschneidungspolygons mit dem Teilraumpolygon wird einbezogen. Es kommt die Standardformel zur Anwendung
- (5) In die Berechnung fließen alle Flächenanteile ein, die der Teilraum anschneidet. Es wird die Berechnungsformel des einseitigen Beziehungsverfahrens verwendet.
- (6) In die Berechnung fließen alle Flächenanteile ein, die der Teilraum anschneidet. Es kommt die Berechnungsformel des zweiseitigen Beziehungsverfahrens zur Anwendung.

Wenn mehrere Analysemethoden ausgewählt sind, werden die Berechnungen nacheinander ausgeführt und in separaten Ergebnistabellen ausgegeben.

### Bereich statistische Werte

Es kann im Bereich 'statistische Werte' bestimmt werden, ob die Ergebnistabellen statistische Werte enthalten.

### Bereich Tabellenverknüpfung

Die Ergebnistabelle wird mit der Attributtabelle der Teilraumgeometrie verknüpft, wenn die entsprechende Option gewählt wird. Werden mehrere Analysemethoden ausgewählt, wird jedoch nur die erste Ergebnistabelle mit der Attributtabelle verknüpft.

### Schaltfläche Analyse ausführen

Die Analyse wird über einen Mausklick auf die Schaltfläche rechts unten gestartet. Auch hier wird zunächst überprüft, ob alle erforderlichen Angaben zur Ausführung des Analyseprogramms vorhanden sind. Fehlt eine Layer- oder Verzeichnis-Auswahl, erscheinen die bereits oben beschriebenen Rückfrage-Meldungen.

Das Ende der Berechnungen wird wie bei der Gesamttraumanalyse durch eine Meldung bestätigt.

### Ergebnis

Im ausgewählten Verzeichnis wird ein Unterverzeichnis angelegt, dessen Namen aus der Zeichenfolge "meff\_subregions\_" sowie dem aktuellen Datum im Format yyymmdd-hhmmss besteht. In diesem Verzeichnis wird die Ergebnistabelle im .dbf-Format gespeichert und dem aktuellen ArcMap Dokument hinzugefügt.

Die Ergebnistabelle der Teilraumanalyse enthält eine Zeile für jedes Polygon der Teilraumgeometrie. Sie enthält standardmäßig nur 4 Felder, abgesehen vom OID-Feld. Dabei wird in das Feld 'ID' die OID der Attributtabelle der Teilraumgeometrie übernommen. Wenn gewünscht, wird die Tabelle über dieses Feld mit der Attributtabelle verknüpft.

OID	ID	meff	totArea	count_F
0	1	4,513146	158,992465	114
1	2	9,841875	127,810038	52
2	3	12,434550	169,893772	67
3	4	6,275800	114,867259	125
4	5	6,187905	281,802372	162
5	6	1,860633	52,148414	69
6	7	84,247875	192,661271	57
7	8	0,002038	0,873513	3

Abb. 16 Ergebnistabelle Teilraumanalyse ohne statistische Werte

Sofern statistische Daten berechnet wurden, kommen für die Analysemethoden (1) bis (4) weitere 4 Felder für statistische Daten hinzu, wie bei der Gesamttraumanalyse beschrieben.

OID	ID	meff	totArea	count_F	sum_Fi	min_Fi	max_Fi	ave_Fi
0	1	4,513146	158,992465	114	133,625613	0,000009	11,069612	1,172155
1	2	9,841875	127,810038	52	123,181195	0,000398	16,167590	2,368869
2	3	12,434550	169,893772	67	165,879855	0,000002	20,485167	2,475819
3	4	6,275800	114,867259	125	96,048637	0,000206	15,231063	0,768389
4	5	6,187905	281,802372	162	262,142569	0,000071	18,067014	1,618164
5	6	1,860633	52,148414	69	40,495441	0,000351	6,463636	0,586890
6	7	84,247875	192,661271	57	191,651079	0,000006	90,011377	3,362300
7	8	0,002038	0,873513	3	0,059793	0,000136	0,030251	0,019931

Abb. 17 Ergebnistabelle Teilraumanalyse Methode (1) bis (4) mit statistischen Werten

Da in die Berechnung entsprechend einseitigem und zweiseitigem Beziehungsverfahren auch die ursprünglichen Flächen der Zerschneidungspolygone vor der Verschneidung mit dem Teilraumpolygon eingehen, kommen für die statistischen Daten der Analysemethoden (5) und (6) weitere 4 Felder hinzu:

- sum\_FiErg: Summe der Flächengrößen Einzelflächen vor Verschneidung
- min\_FiErg: kleinste Flächengröße der Einzelflächen vor Verschneidung
- max\_FiErg: größte Flächengröße der Einzelflächen vor Verschneidung
- ave\_FiErg: durchschnittliche Flächengröße der Einzelflächen vor Verschneidung

OID	ID	meff	totArea	count_F	sum_Fi	min_Fi	max_Fi	ave_Fi	sum_FiErg	min_FiErg	max_FiErg	ave_FiErg
0	1	5,390657	158,992465	114	133,625613	0	11,069612	1,172155	150,682146	0	11,997373	1,321773
1	2	13,618072	127,810038	52	123,181195	0,000398	16,167590	2,368869	201,923874	0,000398	23,727102	3,883151
2	3	15,688568	169,893772	67	165,879855	0,000002	20,485167	2,475819	246,328724	0,000147	25,948774	3,676548
3	4	6,763103	114,867259	125	96,048637	0,000206	15,231063	0,768389	107,075287	0,000206	15,242622	0,856602
4	5	7,620477	281,802372	162	262,142569	0,000071	18,067014	1,618164	377,156106	0,000339	18,073932	2,328124
5	6	2,985083	52,148414	69	40,495441	0,000351	6,463636	0,586890	80,000319	0,000462	17,128923	1,159425
6	7	127,426549	192,661271	57	191,851079	0,000006	90,011377	3,362300	515,161166	0,000250	140,082403	9,037915
7	8	0,462878	0,873513	3	0,059793	0,000136	0,030251	0,019931	6,841442	0,017125	4,013750	2,280481

Abb. 18 Ergebnistabelle Teilraumanalyse Methode (5) oder (6) mit statistischen Werten

Die Ergebnistabelle kann entweder innerhalb von ArcMap weiterverarbeitet werden, oder in externe Tabellenverarbeitungsprogramme exportiert werden. Dort sind weitere Auswertungen zum Vergleich der verschiedenen Teilräume, aber auch zum Vergleich unterschiedlicher Analysemethoden möglich. Wenn Zerschneidungsgeometrien derselben Teilräume für unterschiedliche Bezugszeitpunkte vorliegen, können zeitliche Vergleiche angestellt und Entwicklungsprognosen aufgestellt werden.

Temporäre Daten

Auch für die temporären Daten wird ein Unterverzeichnis angelegt, dessen Namen aus der Zeichenfolge "meff\_complete\_" sowie dem aktuellen Datum im Format yyyyymmdd-hhmmss besteht. Sofern für temporäre Daten und Ergebnisdaten dasselbe Verzeichnis ausgewählt wurde, wird nur ein Unterverzeichnis angelegt, in dem sowohl temporäre als auch resultierende Daten geschrieben werden.

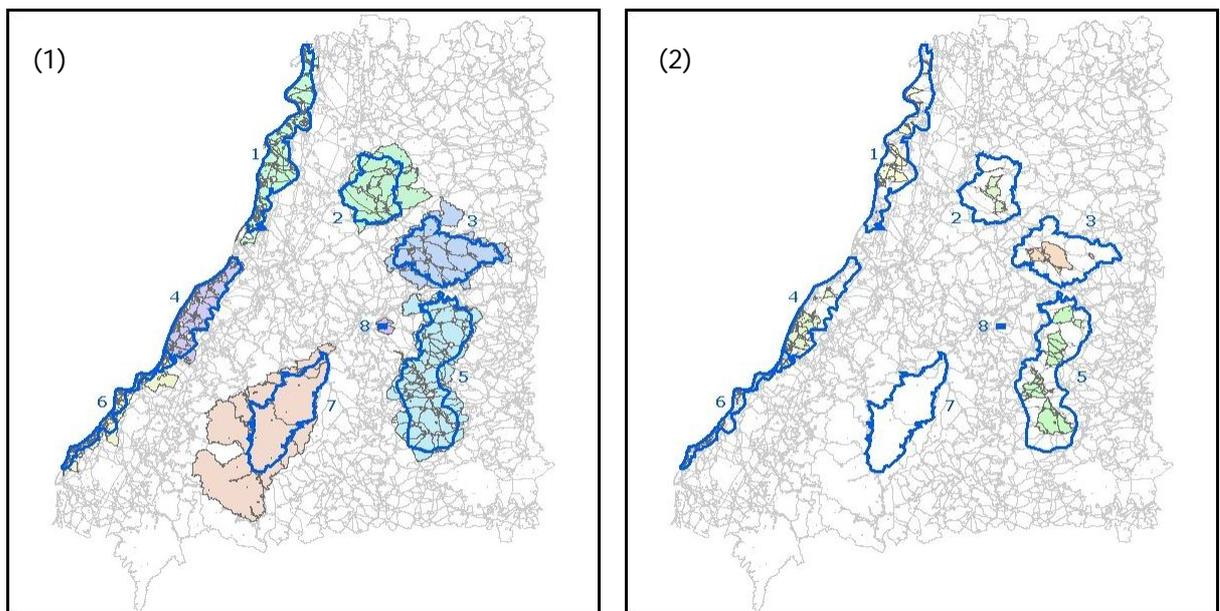


Abb. 19 Temporäre Daten der Teilraumanalyse mit den Analysemethoden (1) und (2)

Um nachzuvollziehen, welche Zerschneidungspolygone in die Berechnung eingeflossen sind, können die während des Analysevorgangs erstellten temporären Feature Classes ebenfalls dem ArcMap Dokument hinzugefügt werden. In den Abbildungen 19 und 20 ist dargestellt, wie sich die Auswahl je nach Analysemethode unterscheidet. Grau hinterlegt ist jeweils die ursprüngliche Zerschneidungsgeometrie, blau umgrenzt sind die Teilräume, pastellfarben die jeweilige Auswahl.

Bei Analysemethode (1) werden alle Polygone der Zerschneidungsgeometrie ausgewählt, die vom jeweiligen Polygon der Teilraumgeometrie angeschnitten werden. Für Teilraum 7 werden hier Maschen ausgewählt, die sich fast komplett außerhalb des Teilraums befinden. Im Bereich der aneinandergrenzenden Teilräume 4 und 6 fließen die auf der Grenze beider Teilräume liegenden Maschen in beide Berechnungen ein.

Analysemethode (2) wählt alle Polygone der Zerschneidungsgeometrie aus, die vollständig innerhalb des jeweiligen Polygons der Teilraumgeometrie liegen. Für Teilraum 7 und 8 werden daher keine Maschen ausgewählt, hier kann keine effektive Maschenweite berechnet werden. Bei den anderen Teilräumen geht nur ein Bruchteil der Gesamtfläche in die Berechnung ein.

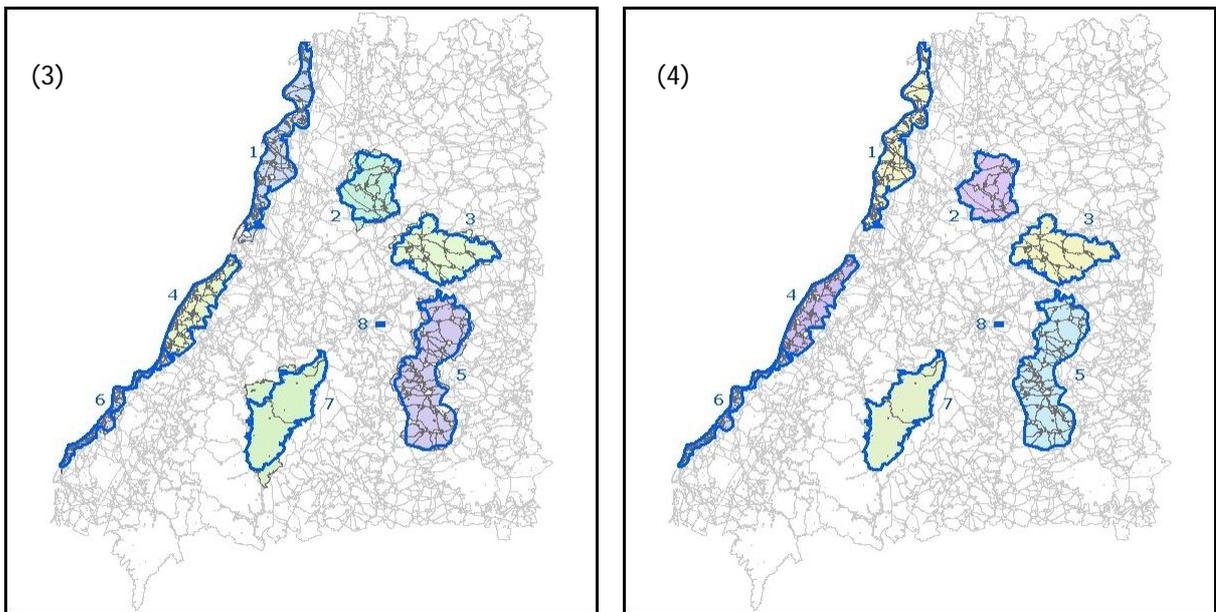


Abb. 20 Temporäre Daten der Teilraumanalyse mit den Analysemethoden (3) und (4)

Bei Analysemethode (3) werden alle Polygone der Zerschneidungsgeometrie ausgewählt, deren geometrischer Schwerpunkt (centroid) innerhalb des jeweiligen Polygons der Teilraumgeometrie liegt. Dabei können unter Umständen auch Zerschneidungspolygone in die Berechnung einfließen, die vollständig außerhalb des Teilraums liegen.

Analysemethode (4) wählt alle Polygone der Zerschneidungsgeometrie aus, die vom jeweiligen Polygon der Teilraumgeometrie geschnitten werden. Die Polygone der Zerschneidungsgeometrie, wurden an der Teilraumgrenze beschnitten.

Die Analysemethoden (5) und (6) ergeben identische temporäre Daten wie die Methode (4).

## 2.4. Flächendeckende Analyse als Widerstandsoberfläche

Diese Form der Analyse berechnet die effektive Maschenweite für Umgebungspolygone von Punkten auf einem regelmäßigen Stichprobengitter. Aus diesen diskreten Werten wird durch Interpolation eine flächendeckende Oberfläche der  $m_{eff}$  -Werte erstellt.

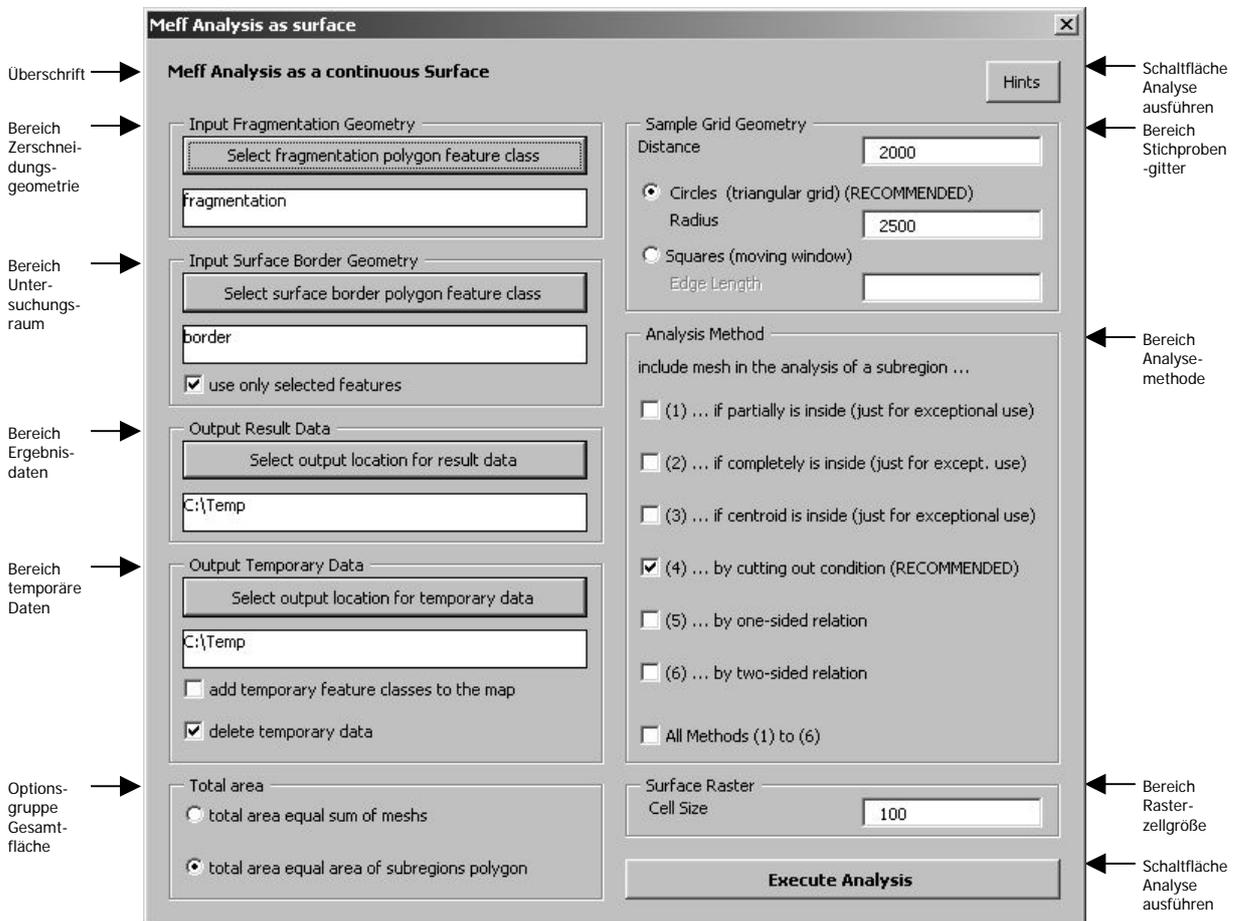


Abb. 21 Formular Widerstandsoberfläche

### Schaltfläche Hinweise

Nähere Informationen erhält der Benutzer bei Klick auf die Schaltfläche Hinweise.

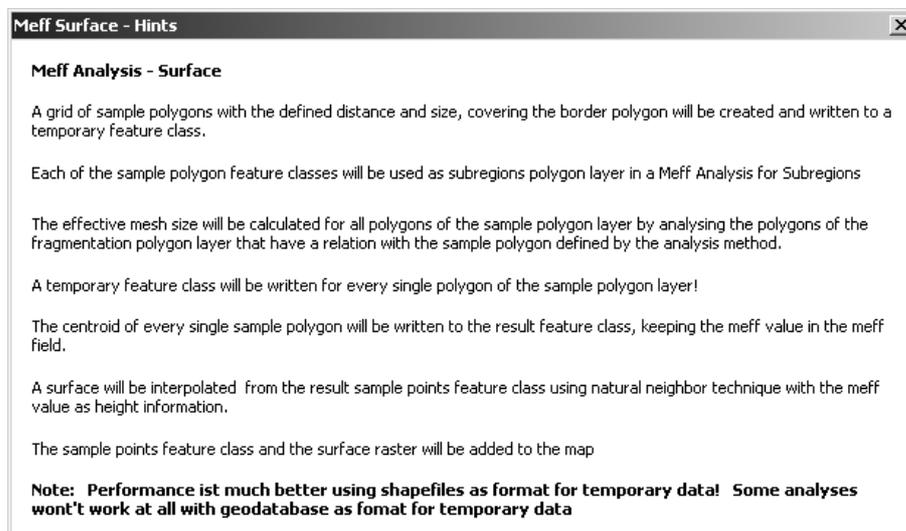


Abb. 22 Hinweise zur flächendeckenden Analyse

### Bereich Zerschneidungsgeometrie

Grundlage für die Berechnung ist wie bei den anderen Formen der Analyse eine Zerschneidungsgeometrie, die aus den im Kartendokument vorhandenen Layern ausgewählt werden oder neu hinzugefügt werden kann.

### Bereich Untersuchungsraum

Als Grenze für die Erstellung des Stichprobengitters und der resultierenden Widerstandsoberfläche muss eine Feature Class ausgewählt werden, die ein oder mehrere rechteckige oder unregelmäßig geformte Polygone enthält. Diese können als Untersuchungsräume bezeichnet werden. Für jeden Untersuchungsraum wird ein separates Stichprobengitter und eine Oberfläche erstellt. Sofern nicht alle Untersuchungsraum-Polygone verwendet werden sollen, können die erwünschten Flächen vorab selektiert werden. Wenn der Haken in dem Kontrollkästchen im Bereich Untersuchungsraum gesetzt ist, wird nur für die selektierten Polygone eine Oberfläche erstellt.

### Bereiche Ergebnistabelle / temporäre Daten

Auch hier ist ein Verzeichnis für die Speicherung der Ergebnisse auszuwählen.

### Bereiche temporäre Daten

Da bei dieser Form der Analyse noch mehr temporäre Daten entstehen als bei der Teilraumanalyse, sollte ein Verzeichnis mit ausreichend Speicherplatz gewählt werden und die Standard-Einstellungen für den Umgang mit temporären Daten nicht leichtfertig geändert werden. Es entsteht für jedes Untersuchungsraumpolygon eine temporäre Polygon Feature Class, die die auf dem Gitter angeordneten Umgebungspolygone enthält und für jedes Umgebungspolygon eine Feature Class, die entsprechend der Teilraumanalyse die ihm zugeordneten Zerschneidungspolygone enthält.

### Bereich Gesamtfläche

Als Gesamtfläche für die Berechnung der effektiven Maschenweite kann entweder die Flächengröße des Teilraums oder die Summe der dem Teilraum zugeordneten Maschen ausgewählt werden.

### Bereich Analysemethode

Eine oder mehrere Analysemethoden können entsprechend dem Formular für die Teilraumanalyse ausgewählt werden. Für die Berechnung der Widerstandsoberfläche wird hier das Ausschneideverfahren empfohlen.

### Bereich Stichprobengitter

Im Bereich Stichprobengitter muss der Abstand der Gitterpunkte definiert werden. Die Punkte des Stichprobengitters können entweder regelmäßig-dreieckig angeordnet sein oder in einem quadratischen Raster. Im ersten Fall werden Kreise als Umgebungspolygone verwendet, um eine möglichst gleichmäßige Flächenabdeckung zu erzielen. Im zweiten Fall werden quadratische Umgebungspolygone verwendet. Die Größe der Umgebungspolygone muss als Kreisradius oder Kantenlänge des Quadrats definiert werden. Die effektive Maschenweite wird für jeden der Gitterpunkte berechnet, indem für das ihm zugeordnete Umgebungspolygon eine Teilraumanalyse durchgeführt wird.

### Schaltfläche Analyse ausführen

Die Analyse wird über einen Mausklick auf die Schaltfläche rechts unten gestartet. Auch hier wird zunächst überprüft, ob alle erforderlichen Angaben zur Ausführung des Analyseprogramms vorhanden sind. Fehlt eine Layer- oder Verzeichnis-Auswahl, erscheinen die bereits oben beschriebenen Rückfrage-Meldungen. Das Ende der Berechnungen wird durch eine Meldung bestätigt.

### Ergebnis

Für jeden Untersuchungsraum entsteht als Ergebnis zum einen ein Stichprobengitter, das in einer Punkt Feature Class gespeichert und dem Kartendokument hinzugefügt wird. Zum anderen wird die Widerstandsoberfläche als Rasterdatei im TIFF-Format erstellt, deren Pixel- / Rasterzellgröße durch Eingabe im Formular definiert werden kann. Diese wird ebenfalls in das ArcMap-Dokument geladen.

Die Rasterdateien werden standardmäßig zunächst in Graustufen dargestellt, wobei Werte mit der doppelten Standardabweichung gestreckt werden, um einen besseren Kontrast zu erzielen.

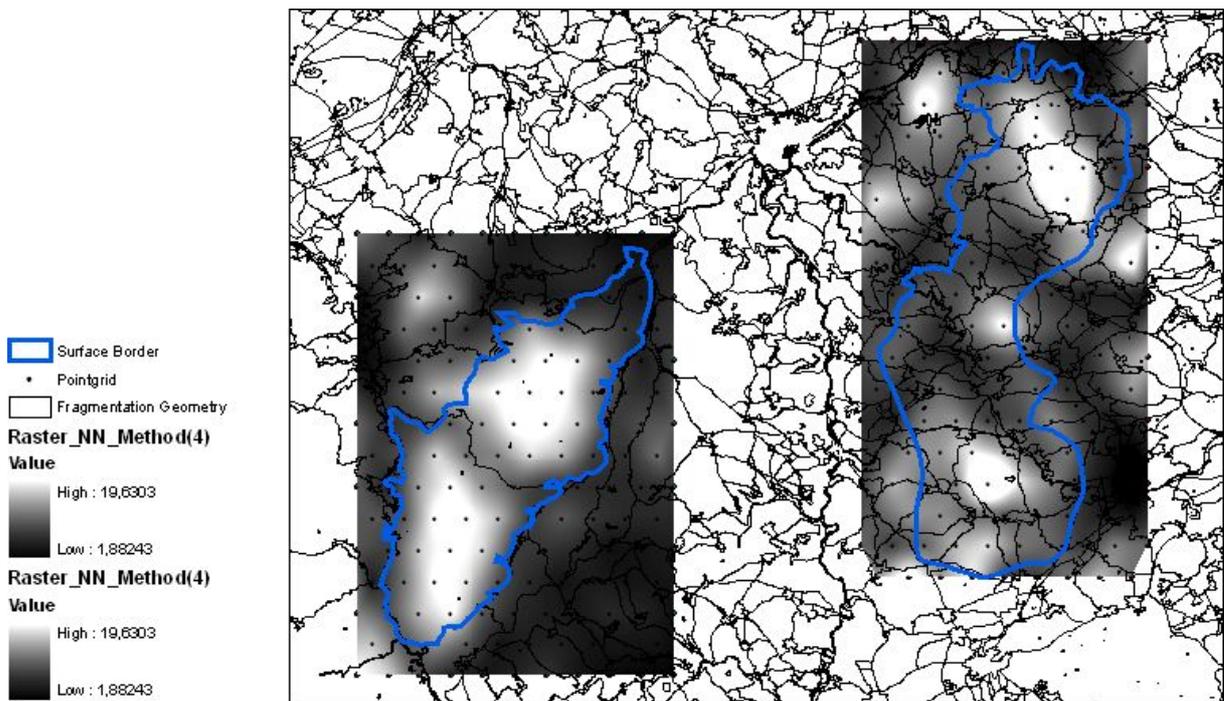


Abb. 23 Widerstandsoberfläche in Graustufen, gestreckt mit 2facher Standardabweichung

Um die Darstellung mehrerer Rasterbilder miteinander vergleichbar zu machen, sollte eine einheitliche Skalierung verwendet werden. Dazu ist eine Klassifizierung der Einzelwerte notwendig. Anschaulicher wird die Darstellung durch Verwendung einer Farbskala.

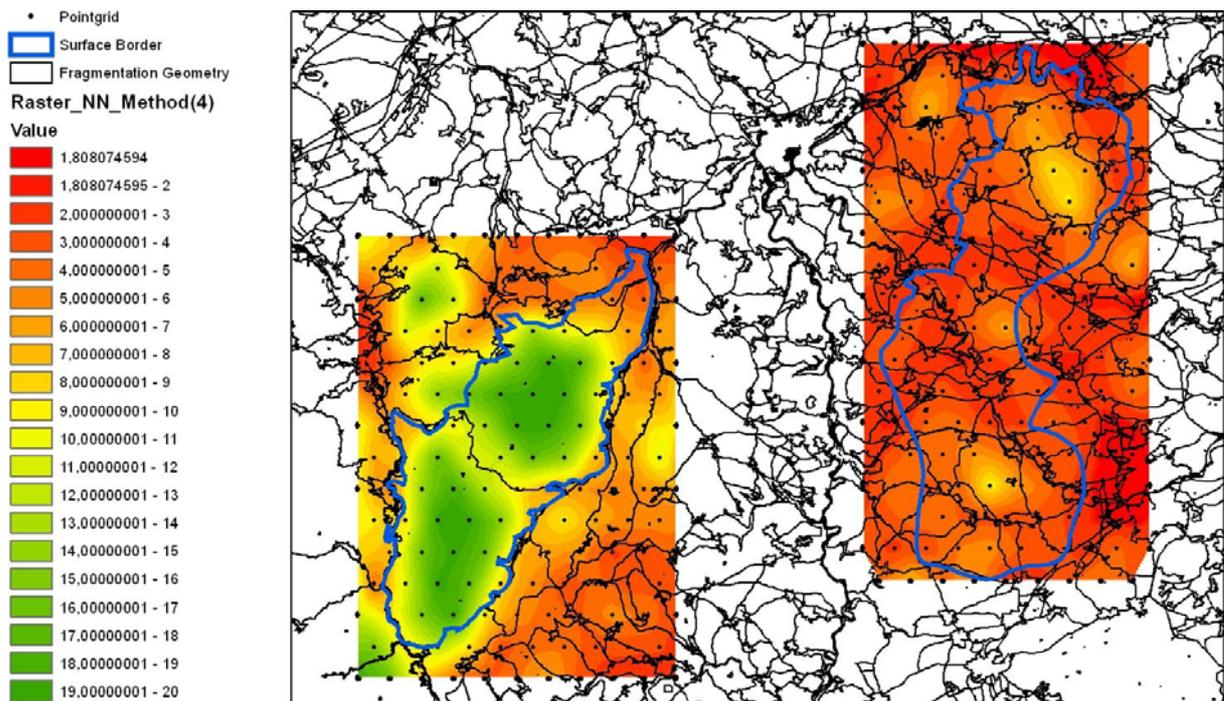


Abb. 24 Widerstandsoberfläche klassifiziert mit Farbskala

Die Ergebnisse mehrerer Rasterbilder verschiedener Untersuchungsräume oder mit unterschiedlichen Methoden und Parametern erstellte Oberflächen können so miteinander verglichen werden.

### 3.

## Methodischer Hintergrund

### 3.1. Effektive Maschenweite als quantitative Messgröße des Zerschneidungsgrades

Um den Grad der Landschaftszerschneidung zu analysieren und Erheblichkeitskriterien zu definieren wird eine quantitative Messgröße benötigt. "Als Grundlage für planerische Zielfestlegungen werden geeignete, vergleichbare Daten über den aktuellen Zustand der Landschaftszerschneidung benötigt, möglichst im historischen Vergleich und im Vergleich von landschaftsbezogenen Raumkategorien" (Jaeger et al. 2001). Für die Beobachtung und Abschätzung von Umweltbelastungen im Rahmen eines Umwelt-Monitoring werden vorwiegend hoch aggregierte Messgrößen, so genannte Orientierungsmaße ('proxy measures') eingesetzt.

Jaeger (2000) führt drei neue Maße zur Quantifizierung der Landschaftszerschneidung ein:

- Zerteilungsgrad D (degree of landscape division),
- Zerstückelungsindex S (splitting index) oder effektive Maschenzahl (effective mesh number),
- effektive Maschengröße  $m_{\text{eff}}$  (effective mesh size).

Er stellt einen systematischen Vergleich mit 19 bestehenden Zerschneidungsmaßen an. Die herangezogenen Eignungskriterien leiten sich dabei aus den zuvor definierten Zielen der Quantifizierung her.

Die drei von Jaeger (2000) eingeführten Maße "drücken auf unterschiedliche Weise denselben zugrunde liegenden Gedanken aus: dass zwei Tiere, die an zwei verschiedenen Orten irgendwo in der betrachteten Region ausgesetzt werden, einander mit einer bestimmten Wahrscheinlichkeit begegnen können oder nicht. Je mehr Barrieren in die Landschaft eingefügt werden, umso geringer wird die Begegnungswahrscheinlichkeit". Alle drei Größen lassen sich daher ineinander umwandeln.

In den folgenden mathematischen Definitionen bezeichnet  $F_g$  jeweils die Größe der gesamten Fläche in der die Tiere ausgesetzt werden können;  $n$  ist die Anzahl der Flächen,  $F_i$  bezeichnet die Größen der einzelnen Teilflächen mit  $i$  von 1 bis  $n$ .

Der Kohärenzgrad  $C$  drückt die Wahrscheinlichkeit aus, dass sich die beiden ausgesetzten Tiere in derselben Restfläche befinden. Der Kohärenzgrad berechnet sich somit wie folgt:

$$C = \sum_{i=1}^n \left( \frac{F_i}{F_g} \right)^2$$

"Der Zerteilungsgrad  $D$  ist definiert als die Wahrscheinlichkeit, dass zwei zufällig ausgewählte Orte nicht innerhalb derselben Fläche  $F_i$  liegen".

$$D = 1 - \sum_{i=1}^n \left( \frac{F_i}{F_g} \right)^2$$

Kohärenzgrad und Zerteilungsgrad liegen stets zwischen 0 und 100%. Es gilt  $D + C = 1$ . Da in beide Größen nicht die Gesamtfläche sondern nur die Anteile der unzerschnittenen Restflächen an der Gesamtfläche eingehen, ist ein Vergleich unterschiedlicher Gebiete nur bei gleicher Gesamtgröße sinnvoll.

"Der Zerstückelungsindex (oder die effektive Maschenzahl)  $S$  ist definiert als die Anzahl  $S$  von Flächen gleicher Größe (von je  $F/S$ ), in die das Gebiet  $F$  zu zerteilen wäre, so dass sich die selbe Wahrscheinlichkeit dafür ergibt, dass zwei zufällig ausgewählte Orte in der selben Teilfläche liegen", wie für die betrachtete Menge der Teilflächen.  $S$  berechnet sich somit wie folgt:

$$S = \frac{1}{\sum_{i=1}^n \left( \frac{F_i}{F_g} \right)^2}$$

Die effektive Maschengröße / Maschenweite  $m_{\text{eff}}$  ist definiert als die Größe der Flächen, die man erhält, wenn das Gebiet in lauter gleich große Flächen zerteilt würde, so dass sich die selbe Wahrscheinlichkeit  $C$  dafür ergibt, dass zwei zufällig ausgewählte Orte in der selben Fläche liegen, wie für die zu untersuchende Zerschneidungssituation. Für die effektive Maschenweite gilt somit:

$$m_{\text{eff}} = \frac{1}{F_g} \sum_{i=1}^n F_i^2$$

Als Gesamtfläche  $F_g$  kann entweder die Summe der unzerschnittenen Einzelflächen herangezogen werden oder die Fläche des Gesamtraums, die dann zusätzlich auch die Flächen der zerschneidenden Strukturen (z.B. Siedlungen, Straßen, Gewässer) beinhaltet.

Während der Zerstückelungsindex umso größer wird, je stärker ein Gebiet zerschnitten ist, wird die effektive Maschenweite umso kleiner. Der kleinstmögliche Wert von  $S$  ist 1 für ein unzerstückeltes Gebiet.  $m_{\text{eff}}$  ist dann gleich der Größe des Gebietes.

Vorteile der effektiven Maschenweite als quantitative Messgröße des Landschaftszerschneidungsgrades sind:

- es handelt sich um einen einzigen, leicht erfassbaren Wert,
- das Aussetzen von zwei Individuen ist eine möglichst einfache und nachvollziehbare Modellvorstellung
- $m_{\text{eff}}$  ist interpretierbar als ein Faktor, der die Überlebensfähigkeit von Tieren beeinflussen kann, weil die Begegnungsmöglichkeit von Tieren Voraussetzung für deren Fortpflanzung und den Genaustausch ist
- $m_{\text{eff}}$  ist für den Vergleich unterschiedlich großer Gebiete geeignet und relativ unempfindlich gegenüber kleinen Restflächen
- sämtliche Flächen zwischen den Barrieren fließen mit ihrer tatsächlichen Größe in die Berechnung ein
- die Methode ist wissenschaftlich begründet (im systematischen Vergleich mit anderen quantitativen Maßen)
- Im Gegensatz zu anderen Maßen reagiert  $m_{\text{eff}}$  auch auf die räumliche Anordnung der Zerschneidenden Strukturen; eine Bündelung von Verkehrsstrassen wirkt sich z.B. positiv aus.
- Durch einfache Modifikation kann auch die 'Barriesterärke' mit berücksichtigt werden

### 3.2. Ermittlung der effektiven Maschenweite für Teilräume

Häufig ist es notwendig, die effektive Maschenweite für bestimmte Bezugsräume (z.B. administrative Einheiten, Naturräume, etc.) zu ermitteln, um diese miteinander zu vergleichen. Da die Grenzen der Bezugsräume in der Regel nicht mit den Grenzen der Maschen übereinstimmen, muss definiert werden, wie die Maschen den Teilräumen zugeordnet werden. Für die Teilraumanalyse stehen mehrere Methoden zur Verfügung, deren Vorteile und Nachteile im Folgenden erläutert werden (zusammengefasst aus Jaeger et al. (2001) und Schwarz - v. Raumer & Esswein (2006), Moser et al. (2007)).

(1) Alle Flächen, die eine gemeinsame Schnittfläche mit dem Bezugsraum besitzen, werden der Bezugsfläche zugeordnet.

Es findet keine eindeutige Zuweisung der Flächen statt, da die auf den Grenzen liegenden Flächen mehreren Teilräumen zugeordnet werden. Es können Inkonsistenzen entstehen, da die Maschenweite größer werden kann als die größte einbezogene Fläche.

(2) Alle Flächen, die vollständig vom Bezugsraum eingeschlossen sind, werden der Bezugsfläche zugeordnet.

Es findet keine vollständige Zuordnung der Flächen statt, da die auf den Grenzen liegenden Flächen keinem Bezugsraum zugeordnet werden.

(3) 'Mittelpunktverfahren': Alle Flächen, deren Mittelpunkt (Centroid) im Bezugsraum liegt, werden der Bezugsfläche zugeordnet.

Diese Methode liefert eine eindeutige Zuordnung der Flächen zu Bezugsräumen. Das Verfahren eignet sich am besten für große Teilräume. Es kann bei kleinen Bezugsräumen zu ungenauen Ergebnissen führen, vor allem wenn diese große unzerschnittene Flächen berühren.

(4) 'Ausschneideverfahren': Die Flächen werden mit dem Bezugsraum verschnitten, d.h. die Grenze des Bezugsraum dient als zusätzliche flächenbildende Grenzlinie. Die neu entstehenden Flächen werden dem Bezugsraum zugeordnet in dem sie vollständig enthalten sind.

Auch hier findet eine eindeutige Zuordnung der Flächen zu Bezugsräumen statt. Die Methode wird vor allem für die historische Analyse empfohlen, da die Grenzen zu allen Zeitpunkten stabil bleiben. Allerdings werden künstliche Grenzen geschaffen, so dass die Werte der effektiven Maschenweite immer etwas niedriger sind als in der realen Situation.

Für die Methoden 1 bis 4 wird  $m_{\text{eff}}$  für den jeweiligen Teilraum nach der in Kap. 4.1.2 genannten Formel unter Heranziehung der ausgewählten bzw. ausgeschnittenen 'Maschen' berechnet.

(5) 'Einseitiges Beziehungsverfahren': In die Berechnung fließen alle Flächenanteile ein, die der Teilraum anschneidet. Die von mehreren Teilräumen angeschnittenen Flächen werden anteilig jedem Teilraum zugeordnet.

Moser et al. (2007) beschäftigen sich mit der Problematik der Verfälschung der Ergebnisse durch die Schaffung neuer Grenzen beim Ausschneideverfahren. Sie führen eine neue Methode ein, die sie 'cross-boundary connections' nennen. Bei Schwarz - v. Raumer und Esswein (2006) wird dieses Methode 'Einseitiges Beziehungsverfahren' genannt.

Sofern  $m_{\text{eff}}$  nach dem 'Einseitigen Beziehungsverfahren' berechnet wird, werden Beziehungen zwischen einem zufällig gewählten Punkt innerhalb des Bezugsraums mit einem anderen zufällig gewählten Punkt innerhalb der vom Bezugsraum geschnittenen Maschen, also auch innerhalb der Teile der Maschen, die außerhalb des Bezugsraums liegen, berücksichtigt. Somit kann  $m_{\text{eff}}$  interpretiert werden, als die voraussichtliche Größe der Fläche, die erreichbar ist, wenn eine Bewegung an einem zufälligen Punkt innerhalb des Bezugsraums gestartet wird (Moser et al., 2007).

Die effektive Maschenweite berechnet sich somit wie folgt:

$$m_{\text{eff}} = \frac{1}{F_g} (F_1 \cdot F_1^{\text{erg}} + F_2 \cdot F_2^{\text{erg}} + \dots + F_n \cdot F_n^{\text{erg}})$$

(6) 'Zweiseitiges Beziehungsverfahren': Dies stellt eine Erweiterung des einseitigen Beziehungsverfahrens dar, die von Dr. Schwarz - v. Raumer am Institut für Landschaftsplanung und Ökologie der Universität Stuttgart entwickelt wurde. "Es werden ... zusätzlich zu den Wegen die aus der Teilfläche in den angrenzenden Bereich des unzerschnittenen Raumes führen, auch Wege einbezogen, die außerhalb der Teilfläche beginnen und in diese hineinführen" (Schwarz - v. Raumer & Esswein, 2006)

Die effektive Maschenweite berechnet sich dann wie folgt:

$$m_{eff} = \frac{1}{F_g} \left( 2 \cdot F_1 \cdot F_1^{erg} - F_1^2 + 2 \cdot F_2 \cdot F_2^{erg} - F_2^2 + \dots + 2 \cdot F_n \cdot F_n^{erg} - F_n^2 \right)$$

Das Verfahren eignet sich besonders gut für tierökologische Fragestellungen, führt jedoch zu mathematischen Inkonsistenzen, wenn es für direkt aneinander grenzende Teilräume verwendet wird.

Für die Berechnungsformeln der Methoden 5. und 6. gilt:

$F_1, F_2, \dots, F_n$  = Größe der Fläche 1, 2, ... n, die innerhalb des Bezugsraums liegt

$F_1^{erg}, F_2^{erg}, \dots, F_n^{erg}$  = Größe der Flächen 1, 2, ... n, wobei diese über die Teilraumgrenze hinaus fortgesetzt werden, bis sie von einer realen Barriere begrenzt werden. Für Flächen, die nicht die Teilraumgrenze berühren, gilt  $F_1^{erg} = F_1$  usw.

### 3.3. Flächendeckende Ermittlung der effektiven Maschenweite und Darstellung als Widerstandsoberfläche

Die Ermittlung der effektiven Maschenweite für Teilräume ermöglicht in einem weiteren Schritt die flächendeckende Darstellung des Landschaftszerschneidungsgrads. Schwarz - v. Raumer et al. (2006) beschreiben ein Verfahren, um mit Hilfe der effektiven Maschenweite "eine Widerstandsoberfläche hinsichtlich der Durchwanderbarkeit der Landschaft zu generieren". Auf dieser Grundlage können dann Lebensraumkorridore abgegrenzt werden. Solche Korridore dienen der Gewährleistung ausreichender Migrationsmöglichkeiten für Tierarten mit hohem Raumanspruch. Ergebnisse der Verbundkorridoranalyse können in Planwerke der Raumordnung und übergeordneten Landschaftsplanung z.B. in einen Regionalplan einfließen. Ziel der Planung kann sein, diese Korridore von weiteren Barrieren frei zu halten oder etwa bestehende Barrieren abzubauen bzw. Querungsmöglichkeiten für Tiere zu schaffen.

Erster Schritt in der flächendeckenden Analyse der Landschaftszerschneidung ist die Erstellung eines Stichprobengitters mit regelmäßigen Abständen. Für jeden Gitterpunkt erfolgt dann die Berechnung der effektiven Maschenweite, indem ein Polygon um diesen Punkt generiert wird, für das eine Teilraumanalyse durchgeführt wird. Dieses Polygon kann entweder ein Kreis mit vorgegebenem Radius sein, dann ist ein regelmäßig-dreieckiges Punktegitter zu verwenden. Alternativ können im Sinne eines 'Moving-Window' quadratische Polygone verwendet werden, die auf einem quadratischen Gitter angeordnet werden.

Die Größe des verwendeten Umgebungspolygons und der Abstand der Gitterpunkte können variieren. Eine hohe Dichte der Gitterpunkte ist zwar im Hinblick auf die Genauigkeit wünschenswert, verursacht jedoch lange Rechenzeiten. Der Radius bzw. die Kantenlänge kann im Hinblick auf artspezifische Analysen spezifiziert werden.

Durch ein räumliches Interpolationsverfahren wird aus den diskreten  $m_{\text{eff}}$ -Werten des Punktegitters eine kontinuierliche Werteoberfläche erzeugt. Diese kann als Widerstandsoberfläche interpretiert werden. Je niedriger die effektive Maschenweite, desto höher der Raumwiderstand.

#### 3.3.1. Aufbauende Analysen auf Grundlage der Widerstandsoberfläche

Auf Basis der Ergebnisse der Widerstandsoberfläche kann eine 'Least-Cost-Path'-Analyse den Korridor bzw. Pfad zwischen zwei Punkten (Pfadenden) auf der Oberfläche ermitteln, der mit der geringsten Widerstandssumme verbunden ist. Diese Analyse greift auf ArcGIS eigene Analysemethoden zurück und ist nicht mehr Bestandteil des Meff-Tools.

Für jede einzelne Rasterzelle wird dabei zunächst berechnet, auf welchem der vielen möglichen Wege zum Pfadende die geringsten Kosten auflaufen, indem die Kosten- / Widerstandswerte der durchwanderten Zellen addiert werden. Aus der Widerstands / Kostensumme der Zellen wird eine neue Summen-Oberfläche erstellt. Werden die Summenoberflächen für beide Pfadenden addiert, erhält man für jede Rasterzelle die Gesamtkosten des die beiden Enden verbindenden Pfades durch die jeweilige Zelle. Diese Gesamtkosten-Oberfläche stellt Korridore relativ geringen Widerstands anschaulich dar. Außerdem lässt sich der absolut kostengünstigste / widerstandsgeringste Pfad konstruieren.

Anhand der Widerstandsoberfläche lassen sich auch zeitliche Entwicklungen analysieren. Liegen Widerstandsoberflächen vor, die mit gleichen Parametern für dieselben Teilbereiche auf Grundlage von Zerschneidungsgeometrien unterschiedlicher Bezugszeitpunkte erstellt wurden, können durch Bildarithmetik Veränderungen dargestellt werden. Subtrahiert man die Pixel- / Zellwerte eines Rasters A von einem Raster B, ergeben sich Nullwerte, wo die beiden Bilder die gleichen Werte haben. Es entstehen negative Werte, wo B höhere Werte hat und positive Werte, wo A höhere Werte hat. Es kann also festgestellt werden, in welchen Bereichen  $m_{\text{eff}}$  kleiner bzw. größer geworden ist. Auf diese Weise lassen sich auch Prognosen für geplante Verkehrsstrassen und Siedlungsentwicklungen veranschaulichen.

#### 4. Literaturliste

Esswein, H., Jaeger, J., Schwarz-v. Raumer, H.-G., Müller, M. (2002): Landschaftszerschneidung in Baden-Württemberg. - Zerschneidungsanalyse zur aktuellen Situation und zur Entwicklung der letzten 70 Jahre mit der effektiven Maschenweite. Arbeitsbericht Nr. 214. Akademie für Technikfolgenabschätzung, Selbstverlag, Stuttgart.

Jaeger, J.; Esswein, H.; Schwarz-v. Raumer, H.-G. & M. Müller (2001): Landschaftszerschneidung in Baden-Württemberg - Ergebnisse einer landesweiten räumlich differenzierten quantitativen Zustandsanalyse. - Naturschutz und Landschaftsplanung 33(10): 305-317

Jaeger, J.A. (2000): Landscape division, splitting index, and effective mesh size: new measures of landscape fragmentation. - Landscape Ecology 15(2): 115-130

Moser, B., Jaeger, J.A.G., Tappeiner, U., Tasser, E., Eiselt, B. (2007): Modification of the effective mesh size for measuring landscape fragmentation to solve the boundary problem. – Landscape Ecology 22(3): 447-459

Schwarz-v. Raumer, H.-G., Esswein, H., Jaeger, J., 2006: Die effektive Maschenweite als Grundlage zur Abgrenzung von Korridoren. In: Naturschutz und Landschaftsplanung, Heft 10-11/2006: 315-353.

Schwarz-v. Raumer, H.-G., Esswein, H. 2006: Technische Anleitung „Effektive Maschenweite“. Online: [http://www.lubw.baden-wuerttemberg.de/servlet/is/20280/meff\\_tool.pdf?command=downloadContent&filename=meff\\_tool.pdf](http://www.lubw.baden-wuerttemberg.de/servlet/is/20280/meff_tool.pdf?command=downloadContent&filename=meff_tool.pdf)